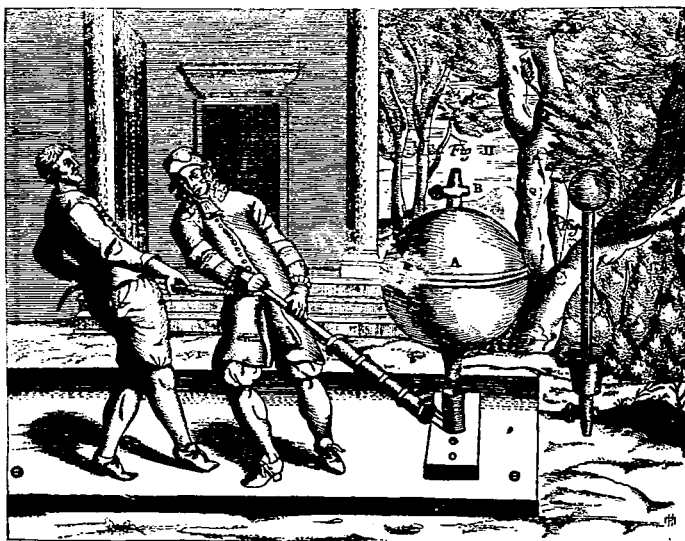


П. Лакуръ и Я. Анпель

Историческая Физика



Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціей
„Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики“.



Одесса, 1908 г.

Историческая Физика.



ТОМЪ I

Мірозданіе, до 1630—Свѣтъ до Ньютона—

Сила—Мірозданіе, послѣ 1630 г.—Природа

свѣта—Спектральный анализъ =====

=====

Съ 419 рисунками и портретами въ
текстѣ, звѣздной картой и таблицей
спектровъ Бунзена и Кирхгоффа.

Предисловіе авторовъ

Для того чтобы изложить какую-нибудь науку въ возможно сжатой формѣ, обыкновенно обращаются къ систематическому изложенію ея, т. е. сперва приводятъ общіе законы, а затѣмъ даютъ нѣсколько примѣровъ, поясняющихъ и подтверждающихъ эти общіе законы. Но къ познанію этихъ законовъ мы обыкновенно приходимъ прямо противоположнымъ путемъ: мы сначала знакомимся съ отдѣльными явленіями, а затѣмъ уже открываемъ ихъ внутреннюю связь.

Первый способъ обыкновенно ведетъ къ цѣли скорѣе, но тотъ путь, который прилегаеть возможно близко къ пути историческаго опыта, несомнѣнно имѣть на своей сторонѣ преимущество гораздо большей основательности.

Что касается преподаванія естествознанія, то преподаватель, умѣющій правильно пѣнить методъ историческаго опыта, никогда не забудетъ сначала напомнить ученикамъ знакомыя явленія или познакомить ихъ съ менѣе извѣстными, а потомъ уже укажетъ самый законъ. Это несомнѣнно даетъ иногда возможность извѣстнымъ образомъ возбудить слушателя и сдѣлать его воспримчивымъ къ объясненію, котораго при такихъ условіяхъ онъ будетъ внимательно ждать, но которое, пожалуй, вовсе не заинтересовало бы его безъ такой предварительной подготовки. Однако, чтобы заставить слушателя понять цѣнность и значеніе даннаго закона и надлежащимъ образомъ возбудить его вниманіе, двухъ—трехъ фактовъ часто будетъ недостаточно.

Но пусть изучающій пойдетъ той дорогой, которая привела къ открытію закона на самомъ дѣлѣ, пусть онъ, такъ сказать, самъ найдетъ этотъ законъ—и тогда найденное станетъ такой его духовной собственностью, какой никогда не можетъ стать законъ, предлагаемый ему въ готовомъ видѣ.

Противъ такого метода есть только одно возраженіе. Именно, онъ требуетъ больше времени, чѣмъ способъ систематическій. Но въ области общаго образованія, гдѣ этотъ унрекъ дѣлается чаще всего, онъ не имѣетъ никакого основанія.

Кто хорошо знакомъ съ началами естествознанія или математики, тотъ, пожалуй, дѣйствительно расширить свои познанія быстрѣе всего систематическимъ путемъ. Но почему большинство людей, обладающихъ нѣкоторыми общими свѣдѣніями по физикѣ, такъ плохо понимаютъ явленія природы, когда встрѣчаются съ ними въ жизни? Просто потому, что они познакомились съ законами природы, о которыхъ они, пожалуй, даже много слышали и читали, не тѣмъ способомъ, который отвѣчаетъ исторической дѣйствительности.

Поэтому для большинства время, конечно, не пропадетъ даромъ, если работа будетъ идти безъ излишней спѣшки. Для дальнѣйшаго изученія природы лучше со-

новательно познакомиться съ немногими ея явленіями, чѣмъ механически заучить длинный перечень положеній, не переработавъ ихъ основательно.

Учитель долженъ думать прежде всего о томъ, чтобы идти въ преподаваніи впередъ съ необходимымъ спокойствіемъ, не портя наслажденія предметомъ у учениковъ и не рискуя успѣхомъ преподаванія. Употребляя выигранное время на повтореніе, вреда не поправишь, такъ какъ повтореніе состоитъ чаще всего въ усвоеніи учебнаго матеріала одною памятью.

Нельзя, конечно, сомнѣваться въ томъ, что не одинъ добросовѣстный учитель отнимаетъ у себя время, выискивая побольше такихъ примѣровъ, чтобы вызвать въ своихъ слушателяхъ надлежащую воспримчивость и возбудить ихъ желательнымъ образомъ. Какъ ни отрадны таюя явленія, но все же это лишь отдѣльныя личныя стремленія. Если такой учитель составитъ даже собственный учебникъ съ огромной массой примѣровъ, его методъ не станетъ общимъ, такъ какъ онъ не сможетъ достигнуть того, чтобы его личный методъ былъ безусловно принятъ всѣми учителями.

Есть только одинъ методъ, авторитетъ котораго долженъ быть признанъ всѣми безъ исключенія. Это тотъ именно методъ, который выработали не отдѣльные авторы, а все человѣчество — методъ историческій. И если автору или учителю при помощи этого метода не удастся иной разъ сдѣлать завоеванія человѣчества вполне доступными своимъ читателямъ и ученикамъ, то, несомнѣнно, вина будетъ лежать только на немъ самомъ и этотъ недостатокъ вполне устранимъ. Что человѣчество дѣлало свои великіе шаги впередъ не какимъ-нибудь неестественнымъ путемъ, а также, что наше поколѣніе не можетъ выполнить своей роли наслѣдника прошлаго лучше, какъ принявъ наслѣдство отъ отцовъ исторически, все это такъ же достовѣрно, какъ и то, что мы обязаны знать великія имена, о которыхъ говоритъ исторія физики. — Настоящая книга, строго говоря, не исторія физики; это только попытка ввести въ физику начинающаго тѣмъ путемъ, который предуказанъ историческимъ развитіемъ науки, и авторы льстятъ себя надеждой, что имъ удалось придти къ этой цѣли вѣрной дорогой.

Общій историческій фонъ настоящаго изложенія физики предполагается вообще извѣстнымъ. Преподаваніе общей исторіи, благодаря такому историческому введенію въ физику, получаетъ важное дополненіе, до сихъ поръ еще не цѣнимое достаточно, несмотря на то, что отношеніе человѣка къ силамъ природы играло важную роль въ исторіи и въ культурной жизни. Но прежде всего преподаваніе самой физики получаетъ при этомъ естественную педагогическую основу. Такимъ образомъ, эту книгу въ сущности можно считать также учебникомъ физики и пользоваться ею, какъ учебникомъ.

Если она по формѣ, пожалуй, и отличается отъ систематическихъ учебниковъ физики, то все же въ ней, можетъ быть, окажется та систематичность, которая обязательна во всякомъ преподаваніи.

Содержаніе

§§ 1—74. Мірозданіе; до 1630 г.	<i>Стр.</i>
Древнѣйшіе культурные народы	3
Греки	18
Арабы	44
Зарожденіе астрономіи въ Западной Европѣ	46
§§ 75—111. Свѣтъ	
Отъ древнѣйшихъ временъ до Ньютона	71
§§ 112—270. Сила	
Равновѣсіе твердыхъ тѣлъ	109
Движеніе	144
Часы	151
Другія криволинейныя движенія	159
Параллелограммъ силъ	167
Ударъ	170
Энергія	174
Жидкости	175
Удѣльный вѣсъ	189
Приборы, основанные на свойствахъ воды и воздуха	194
Воздушный океанъ	214
§§ 271—333. Мірозданіе; послѣ 1630 г.	
Земной шаръ	249
Скорость свѣта	256
Исаакъ Ньютонъ	268
Неподвижныя звѣзды	304
§§ 334—377. Звукъ	
Звукъ	321
§§ 378—420. Природа свѣта	
Свѣта	367
§§ 421—442. Спектральный анализъ	
Спектральный анализъ	409
Алфавитный указатель	431

Систематическій обзоръ еодержанія I тома

Мірозданіе

Вспомогательныя средства: математика 4, 18, 19, 48, 116—118, 194, 270, 276, 278; обсерваторіи 4, 57—58, 62, 259, 260; инструменты 4, 11, 12, 24, 28, 29, 31, 51, 57, 60, 99, 250, 251, 271, 312; глобусъ 7, 24; звѣздныя карты 5; измѣреніе отдаленности недоступныхъ предметовъ 18, 25—27, 39, 288—292, 314—316; метръ и граммъ 113—114, 255—256; черченіе картъ 56—39.

Астрологія: предсказанія 3, 55, 66.

Земной шаръ: возрѣнія древнихъ 20, 21; шарообразность 20—22, 50—51; широта и долгота 34—36; размѣры земли 23, 39, 45, 249—254; триангуляція 249; форма земли (градусныя измѣренія) 249—255; движенія земли 23—25, 40, 48, 276, 278; прелессія 32—34, 300—301; центробѣжная сила на экваторѣ 253; вѣсъ земли 284—287, 300; тяжесть 299; разстояніе земли отъ солнца 26—27, 39, 289—290; приливы и отливы 301—303; преломленіе лучей въ атмосферѣ 41—42.

Солнце: видимый путь 6, солнцестоянія и равноденствія 7—8, 11; эклиптика 7—8; точка Овна 8, 32—34; наклонъ эклиптики 13; мѣсто солнца на эклиптикѣ 30, 48; время обращенія 11, 32, 33; солнечныя часы 31; разстояніе солнца отъ земли 26—27, 39, 289—290; величина солнца 27, 291; масса солнца 283, 291; солнечныя затменія 18, 20; солнечныя пятна 140, 290, 425; солнечныя факелы 425; протуберанцы 425 и сл.; строеніе солнца 424 и сл.

Луна: видимый путь 6, время обращенія 8, фазы луны 8, орбита 8, 272, 283; лунныя затменія 17, 21, 40; поверхность 139, 292, 293; масса 283; приливы и отливы 301—303.

Планеты: видимое движеніе 9, 48, 53—54; дѣйствительное движеніе 65; разстояніе отъ солнца 65, 288—291; время вращенія 290, 303; прохожденія Венеры 289; массы 283—284, 291; возмущенія 287—288; фазы Венеры 140; время обращенія 291; Марсъ 140, 291, 293—295; спутники Юпитера 138, 258—259; Сатурнь 140, 155—156, 291—292, 306; Уранъ 287, 291, 306; Нептунъ 287—288; спектры планеть 430.

Кометы: 9, 297—299, 430.

Неподвижныя звѣзды: звѣздное небо 5, 307; кругъ незаходящихъ звѣздъ 5; зенитъ и надиръ 12; полюсы міра 5, 6; ориентировка 9, 10; звѣздная карта 5; созвѣздія 6; каталоги звѣздъ 28, 42; вращеніе небеснаго свода 5, 6, 21—22; дневныя и ночныя дуги 6; опредѣленіе мѣста звѣзды 12; при помощи меридианнаго круга 28—30, 59—60; преломленіе лучей въ атмосферѣ 41—42; параллаксъ 25, 62, 260, 308, 314—316; аберація 260—263; величина 308, 317; двойныя звѣзды 309—310; звѣздныя скопленія и туманности 311; Млечный Путь 139, 310—311; новыя звѣзды 56; свѣта звѣздъ 311; невидимыя звѣзды 317; спектры неподвижныхъ звѣздъ 429.

Время: подраздѣленіе времени 4; солнечныя и звѣздныя сутки 30—31; солнечныя часы 31; уравненіе времени 31; универсальное время 36; длина года 11, 31—32; календарь 14—17, 48, 75, 259; мѣсяцы 15—18; недѣля 16—17.

Системы и законы: древнія системы 19—21; Аристархъ 23—28; теоріи эпицикловъ 42—44; система Птолемея 42—44; система Коперника 52—54, 141; система Тихо 63; законы Кеплера 65; законъ притяженія Ньютона 272—288.

С в ѣ т ь

Прямолинейность распространенія: законъ 71; направленіе лучей 73—74, 389; перспектива 72; тѣнь 73; камера-обскура 74—75, 94—95; законъ убыванія яркости съ разстояніемъ 77; фотометрія 78—79.

Отраженіе: законъ 80—81, 386, 390; кратчайшій путь 80—81; оптическіе обманы 81—83; калейдоскопъ 83; вогнутое зеркало 83—87; выпуклое зеркало 87—88; полное внутреннее отраженіе 100.

Преломленіе: законъ 41, 88—90, 99—100, 386, 390; стеклянныя пластинки 90; призма 90; собирательная линза 91—93; разсѣивающая линза 93—94; камера-обскура съ линзой 94; *Laterna magica* 95; зрительная труба 96—98; увеличительное стекло 93, 98; микроскопъ 98—99; очки 102.

Двойное преломленіе: 383—385, 397, 403; Николева призма 404.

Глазъ: глазъ есть камера-обскура 102; свойства глаза 102—104, 373; стереоскопъ 105; глазное зеркало 344—345; цвѣтовое ощущеніе 381—382; длительность его 382.

Цвѣта: призматическіе цвѣта 367; спектръ Ньютона 368, 409; въ бѣломъ свѣтѣ содержатся всѣ цвѣта 368—372; ахроматическая линза 373—374; радуга 374—378; цвѣта предметовъ 379—380, 392; флуоресценція 380—381; основные, дополнительные и контрастные цвѣта 381—382; Ньютоновы кольца 387, 393—395; интерференціонные цвѣта 383, 396.

Теоріи свѣта: теорія Демокрита 385; Ньютонова теорія истеченія 385—388, 391; опытъ Гримальди 382—383; волнообразная теорія Гука 383; волнообразная теорія Гюйгенса 389—390; интерференція 396, 401—402, 413—415; длины волнъ 395; эфиръ 389, 402—403; свѣтъ и магнитизмъ 405.

Поляризація: поляризованный свѣтъ 397; уголь поляризаціи 400; колебанія въ поляризованномъ лучѣ 403; вращеніе плоскости поляризаціи 404.

Спектральный анализъ: чистый спектръ 409; Фраунгоферовы линіи 410, 411, 418, 424, 428; спектроскопъ 420—423; дифракціонный спектроскопъ 423; спектральныя линіи 416, 418—425, 426—429; причина Фраунгоферовыхъ линій 418—420, 424; спектры металловъ 422; спектръ водорода 423; различные типы спектровъ 423; спектры звѣздъ 429; спектры планетъ и кометъ 430.

С и л а

Равновѣсіе твердыхъ тѣлъ: рычагъ 109, 118—119; статическій моментъ 126; центръ тяжести 119—125; безмень 112—113; устойчивое, неустойчивое и безразличное равновѣсіе 123—124; начало возможныхъ перемѣщеній или скоростей 129—132; вѣсы Роберваля 130; блокъ и полспасть 114—129; другія простыя машины 114; 130—134; равновѣсіе на наклонной плоскости 133—134.

Движеніе: законъ инерціи 144; сложеніе движеній и сила 145, 160—162, 167—170; свободное паденіе 135—137, 145—147; бросаніе вертикально вверхъ 147—148; паденіе по наклонной плоскости 148—149, 167—168; маятникъ 134, 149—150, 156—158; водяныя и песочныя часы 151—153; старыя часы съ гириями 153—154; часы съ маятникомъ 156—157; циклоидальный маятникъ 158; часы съ балансиромъ 158; движеніе брошеннаго тѣла 161—163; центробѣжная сила 164—166; ударъ 170—173; энергія 174—175; машины и двигатели 208; водяныя и вѣтряныя мельницы 205—214.

Равновѣсіе жидкостей: давленіе въ жидкостяхъ 181, 183—187; гидравлическій прессъ 188; потеря вѣса въ водѣ 180, 189—190; давленіе вверхъ на тѣло въ жидкости 18; плаваніе тѣлъ 179, 181—182; сообщающіеся сосуды 182; удѣльный вѣсъ 180, 189—193; ареометръ 190—192; водочерпалки 178; клапанъ и кранъ 201—202; водяныя и вѣтряныя мельницы 205—214; истеченіе жидкостей 219.

Воздухъ: пустота 195—197, 214—218, 221, 224—228, 232—233; воздухъ 196; вѣсъ воздуха 228, 238—239; расширеніе воздуха 232, 235—236; сжимаемость воздуха 215, 234; законъ Бойля 234—237; барометръ 218; давленіе воздуха 218, 223; 228, 234; воздушный океанъ 218, 222; измѣреніе высотъ при помощи барометра 237—238; сифонъ 197—198, 200, 222; шпетка 199; Героновъ шаръ 202; сосудъ Мариотта 239; пожарный насосъ 204—205; нагнетательный насосъ 204—205, 239; всасывающій насосъ 205; воздушный или пневматическій насосъ 225—233; насосъ для сжиганія воздуха 230—243; воздухъ въ жидкостяхъ 230—231; двигатели съ сжатымъ воздухомъ 240—241; водолазный колоколь 241—243; воздухоплаваніе 243—246; парусное судно 213; вѣтряная мельница 207—208, 213—214.

З в у к ъ

Звукъ: звуки производятся колебаніями 323; высота тона 323; колебанія струнъ 323, 340—342; біенія 324; абсолютное число колебаній 325; тоны Тартини 325; распространеніе волнъ въ водѣ 326; распространеніе звука 323—326; распространеніе волнъ въ воздухѣ 331; скорость звука въ воздухѣ 331—333, въ другихъ тѣлахъ 333—335; форма воздушныхъ волнъ 335—336; вліяніе вѣтра 336; отраженіе и преломленіе звуковыхъ волнъ 336—338, сложеніе звуковыхъ волнъ 339; интерференція звуковыхъ волнъ 339—340; симпатическіе тоны 340; основной тонъ и обертоны 342; фигуры на звучащихъ пластинкахъ 342—344; резонаторы 345—347; звучанія трубы 321, 323, 346—347, 354—355; созвучія 348—350; интервалы 348—352; сирена 353; голосъ 355—356; гласныя 356—358; согласныя 358; фонографъ 359—360; ухо 360—363.

Мірозданіе

Свѣдѣнія и открытія до 1630 г.

Древнѣйшіе культурные народы

1. На обширных равнинах Востока, где климат мягокъ и где почва оплодотворяется большими рѣками и ихъ разливами, человѣчество рано достигло той ступени умственнаго развитія и такихъ условій общественной жизни, которыя позволили ему отдаться высшимъ интересамъ, позволили удовлетворять врожденному стремленію челоуѣка заниматься вопросами, на первый взглядъ далекими отъ его матеріальныхъ нуждъ. И часто оказывалось, что это стремленіе вѣрнѣе вело къ удовлетворенію его нуждъ, чѣмъ дѣятельность, непосредственно направленная къ этой цѣли.

Египтяне на Нилѣ, халдеи на Евфратѣ и Тигрѣ, индусы на Индѣ, Гангѣ и Брампутрѣ и китайцы на Гоанго и Янцзеангѣ жили въ такихъ благопріятныхъ условіяхъ, что дѣятельность ихъ могла не ограничиваться исключительно пропитаніемъ и войной и обращалась на многія другія задачи. У всѣхъ этихъ народовъ мы находимъ классъ людей, который обыкновенно называютъ жреческимъ сословіемъ и силы котораго посвящались особымъ занятіямъ. Сюда, само собою разумѣется, относились прежде всего религіозныя обязанности, но кромѣ того и многіе другіе виды дѣятельности, которыми теперь занимаются врачи, судьи, писатели, архитекторы и др. Въ тѣ времена люди были очень консервативны и ихъ дѣятельность регулировалась обыкновенно разъ навсегда установленными правилами, выполнение которыхъ дѣлалось священнымъ долгомъ, хотя бы дѣло нило даже о совершенно внѣшнихъ вещахъ, напримѣръ, о формѣ зданій и др. А потому и прогрессъ могъ идти лишь медленно; но то, что было разъ пріобрѣтено, тѣмъ лучше закрѣплялось долгимъ повтореніемъ и испытаніемъ.

Нужно думать, что жреческое сословіе занималось также и исканіемъ болѣе глубокой связи между явленіями природы, чѣмъ та, которая обнаруживается непосредственно. Народы древности, во всякомъ случаѣ, смутно чувствовали такую связь, хотя и составляли себѣ о ней совершенно невѣрное представление. Такъ, они думали, что явленія природы предназначены давать указанія относительно будущаго. Они строили свои предсказанія на наблюденіи внутренностей жертвенныхъ животныхъ, на полетѣ птицъ, на движеніи облаковъ, на измѣненіи песочныхъ фигуръ при ударѣ по диску, на которомъ онѣ были нарисованы и т. д. Остатки подобныхъ суевѣрій сохранились и до нашего времени. Такъ, по цвѣту грудной кости гуся, свѣтлому или темному, заключаютъ о томъ, будетъ ли зимою много снѣга или мало.

Немногимъ иначе обстоило дѣло и съ объясненіемъ движеній и вида небесныхъ свѣтилъ. Предсказаніе по звѣздамъ, составленіе гороскопа, т. е. опредѣленіе судьбы какого-либо лица на основаніи расположенія свѣтилъ въ моментъ его рожденія, составляло одну изъ важныхъ частей науки о звѣздахъ не только въ древности, но

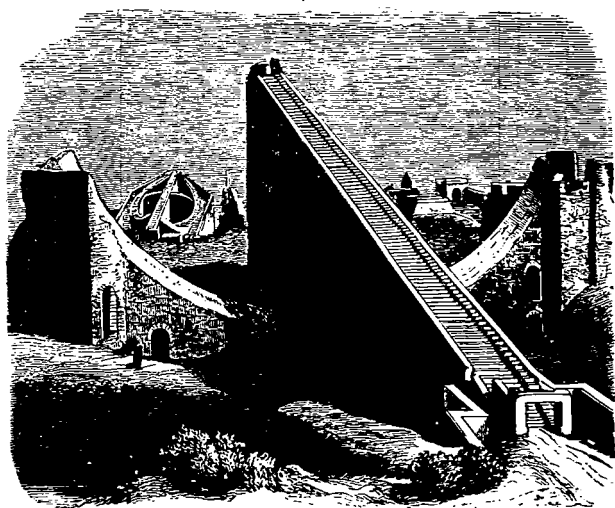
даже и до новыхъ временъ; оно существуетъ въ нѣкоторыхъ странахъ, напримѣръ, въ Китаѣ, еще и теперь.

Хотя такія предсказанія имѣли столь же мало цѣны, какъ и тѣ, о которыхъ мы упоминали выше, но эти стремленія представляютъ въ извѣстной мѣрѣ исходную точку или подготовку настоящаго изслѣдованія природы. Именно, движеніе свѣтилъ наблюдалось съ религіозной добросовѣстностью.

У названныхъ народовъ условія для этихъ наблюденій были особенно благоприятны. Въ ихъ странахъ звѣздное небо сіяетъ съ такой красотой и съ такимъ блескомъ, какого мы не знаемъ въ нашемъ воздухѣ, всегда болѣе или менѣе туманномъ, при нашихъ свѣтлыхъ лѣтнихъ ночахъ. Въ тѣхъ странахъ ночное небо всегда достаточно темно, а ночной воздухъ всегда мягокъ и позволяетъ долго оставаться подъ открытымъ небомъ; и горизонтъ въ большихъ равнинахъ обыкновенно очень чистъ.

Къ этому нужно прибавить, что при установившихся уже условіяхъ общественной жизни возникаетъ потребность въ правильномъ подраздѣленіи времени, а

Рис 1



Индійская обсерваторія въ Дели.

протекающія правильной чередой небесныя явленія, какъ скоро было замѣчено, оказываются для этого наиболѣе пригодными.

Въ силу всего этого люди старались съ величайшей точностью наблюдать, измѣрять и опредѣлять положенія и движеніе свѣтилъ. Они дѣлали инструменты, часто въ видѣ огромныхъ построекъ съ опредѣленными визирными линіями; они изобрѣтали методы наблюденія и положили начало математикѣ, которую суждено было позднѣе усовершенствовать грекамъ и которая, вмѣстѣ съ измѣрительными приборами, составляетъ необходимую основу всякаго изслѣдованія природы, достигающаго извѣстной степени совершенства.

Такимъ образомъ звѣздное небо стало учителемъ человѣчества. Если мы теперь странствуемъ по далекимъ морямъ и по сѣти желѣзныхъ дорогъ при помощи пара, если мы умѣемъ телеграфировать и т. п., то въ основѣ всего этого лежитъ развитіе культуры, которое можно прослѣдить вплоть до начатковъ древней астрономіи. Если древніе въ своихъ наблюденіяхъ добивались совершенно иныхъ цѣлей, то это доказываетъ только, что стремленіе углубляться въ тѣ вопросы, непосредственную пользу которыхъ нелѣгко видѣть, заслуживаетъ глубокаго почтенія. Нельзя смотрѣть пренебрежительно на работы древнихъ и прежде всего на ихъ наблюденія звѣзднаго неба, которыя стали не только основой нашего господства надъ силами природы, но которыя и сами по себѣ имѣютъ что-то притягательное для насъ, какъ и для древнихъ, несмотря на то, что мы знаемъ уже, что сама земля есть только незначительная часть вселенной.

2. Мы обратимъ наше вниманіе прежде всего на звѣздное небо, которое, въ существенныхъ чертахъ, имѣетъ у насъ тотъ же видъ, какой оно имѣетъ въ другихъ странахъ, какой оно имѣло въ древности. Куда бы мы ни направлялись, всюду и всегда мы находимъ эту неизмѣнную картину звѣзднаго неба. Съ помощью звѣздной карты, приложенной къ этой книгѣ, легко познакомиться съ важнѣйшими звѣздами.

При нѣкоторомъ вниманіи можно скоро замѣтить, что звѣзды всегда сохраняютъ одно и то же положеніе другъ относительно друга, что въ этомъ смыслѣ онѣ неподвижны (fixae). Каждому, конечно, извѣстны тѣ семь звѣздъ, которыя составляютъ Большую Медвѣдицу или Небесный Возъ, состоящий изъ четырехугольника (колось) и дуги (дышла).

Созвѣздіе Большой Медвѣдицы не остается, однако, всегда на одномъ и томъ же мѣстѣ неба, а движется вокругъ нѣкоторой точки сѣвернаго неба, такъ называемаго полюса міра, вблизи котораго находится Полярная звѣзда (рис. 6). Последняя лежитъ на линіи, проходящей черезъ два заднихъ колеса Воза, а разстояніе ея отъ Воза приблизительно равно его длинѣ. Полярная звѣзда является крайней въ дышлѣ Малаго Воза или Малой Медвѣдицы. Это созвѣздіе также состоитъ изъ семи звѣздъ, образующихъ четырехугольникъ и дугу.

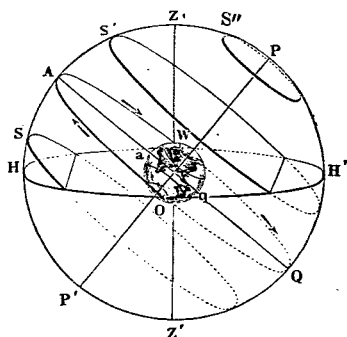
Теперь не трудно замѣтить, что всѣ другія звѣзды—совершенно такъ же, какъ Возъ—въ теченіе сутокъ совершаютъ оборотъ вокругъ небеснаго полюса, не мѣняя своего относительнаго положенія (рис. 2).

Звѣзды, которыхъ разстояніе отъ полюса меньше, чѣмъ разстояніе PH' (рис. 2) полюса отъ горизонта HN' , какъ легко видѣть, никогда не заходятъ. Таюя звѣзды, напр. S' , называются незаходящими звѣздами. Нѣсколько болѣе далекія отъ полюса звѣзды, напр. S , заходятъ лишь немного подъ сѣверную часть горизонта. Онѣ исчезаютъ въ какой-нибудь точкѣ между сѣверомъ и западомъ и восходятъ въ какой-нибудь точкѣ между сѣверомъ и востокомъ. Время, въ теченіе котораго ихъ не видно, тѣмъ короче, чѣмъ ближе онѣ къ полюсу, слѣдовательно, чѣмъ дальше къ сѣверу онѣ заходятъ и восходятъ.

Тѣ звѣзды, которыя удалены отъ сѣвернаго полюса настолько, что восходятъ какъ разъ на востокъ O и заходятъ какъ разъ на западъ W , остаются на небѣ въ продолженіе двѣнадцати часовъ. Кругъ, описываемый такими звѣздами, носить названіе небеснаго экватора, $OAWQ$.

Звѣзды, лежащая еще дальше отъ сѣвернаго полюса, восходить между востокомъ и югомъ, а заходить между западомъ и югомъ. Онѣ поднимаются на небѣ не высоко и, если представлять себѣ небо въ видѣ полной сферы, то нетрудно вообразить неподвижную точку, которая лежитъ настолько же ниже южной части горизонта, насколько сѣверный полюсъ лежитъ выше сѣверной его части. Эту точку P' называютъ южнымъ полюсомъ неба.

Рис. 2



Вращение небеснаго свода.

которая лежитъ около южнаго полюса и которой древнѣе не знали, попадаютъ и современныя названія, какъ, напримѣръ, Воздушный Насосъ и Электрическая Машина.

Для изученія свѣтилъ съ помощью звѣздной карты удобно начинать съ Большой Медвѣдницы или Полярной звѣзды. Если взять эту карту такъ, чтобы ея центръ закрылъ Полярную звѣзду, и затѣмъ повернуть ее такъ, чтобы изображеніе Большой Медвѣдницы помѣщалось въ той сторонѣ, гдѣ въ этотъ моментъ видно само созвѣздіе, то эта карта дастъ изображеніе и остального неба. Позднѣе ночью или въ томъ же часу, но въ болѣе позднее время года на востокѣ восходятъ звѣзды, которыя раньше были подлѣ горизонтомъ, между тѣмъ какъ другія звѣзды исчезаютъ на западѣ.

3. Познакомившись сперва съ звѣздами и обративъ затѣмъ свое вниманіе на тѣ звѣзды, между которыми въ какой-нибудь вечеръ находится луна, мы замѣтимъ на слѣдующій вечеръ, что луна, конечно, приняла участіе въ общемъ движеніи свода съ востока на западъ, но что она, кромѣ того, передвинулась между звѣздами на замѣтное разстояніе къ востоку. Итакъ, луна не неподвижна, она движется въ направленіи, противоположномъ направленію общаго движенія. Приблизительно въ 28 дней луна совершаетъ такимъ образомъ полный оборотъ. Это дало поводъ китайцамъ и индусамъ раздѣлить звѣзды на 28 группъ, изъ которыхъ каждая простиралась отъ полюса до полюса и занимала на экваторѣ одну двадцать восьмую часть его окружности. Этотъ способъ раздѣленія неподвижныхъ звѣздъ на такъ называемыя „лунные дома“ у насъ не удержался.

Вслѣдствіе своего движенія въ направленіи къ востоку луна восходитъ съ каждымъ днемъ позднѣе.

4. Солнце и звѣзды не бываютъ видимы одновременно, однако древнѣе скоро замѣтили, что солнце также не неподвижно. Оно также движется между непо-

Пути звѣзды по видимому небу называется ея дневной дугой, остальная часть ея суточного пути—ночной дугой. Соответственно этому экваторіальныя звѣзды имѣютъ 12-часовую дневную дугу. Для звѣздъ къ сѣверу отъ экватора дневная дуга больше 12 часовъ, для звѣздъ къ югу отъ экватора она меньше 12 часовъ.

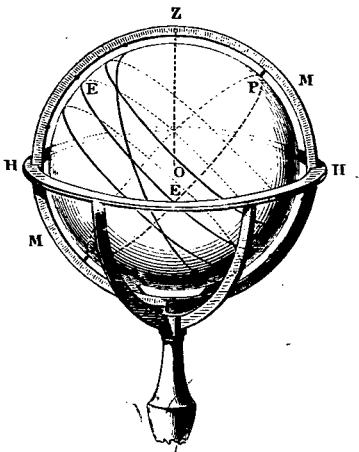
Такъ называемая созвѣздія, тѣ фигуры, которыя фантазія древнихъ нарисовала около различныхъ звѣздныхъ группъ, а также названія, которыми мы еще теперь обозначаемъ эти группы и даже отдѣльныя звѣзды, происходятъ большей частью изъ Халдеи, Египта, Греціи. Однако, и именно въ той части неба,

движными звѣздами и почти по тому самому пути, что и луна, но только не такъ скоро. Для полного оборота ему нуженъ цѣлый годъ.

Еслибы какая-нибудь звѣзда въ извѣстное время находилась приблизительно въ томъ же направленіи, какъ и солнце, т. е. восходила бы одновременно съ нимъ и потому была бы невидима, то впослѣдствіи, съ движеніемъ солнца дальше къ востоку, эта звѣзда въ извѣстный утренній часъ появится на восточной сторонѣ неба за нѣсколько времени до восхода солнца. Это такъ называемый геллакической (helios=солнце) восходъ звѣзды. Такимъ образомъ древніе египтяне замѣтили, что Сиріусъ, самая яркая неподвижная звѣзда на всемъ небѣ, которую въ нашихъ краяхъ можно видѣть зимою въ южной части неба, въ тѣ времена становилась видимой въ лучахъ утренней зари за нѣсколько недѣль до наступленія разлитія Нила. Отсюда, по аналогіи съ чуткой собакой, она получила названіе Песей Звѣзды. Другая группа звѣздъ вблизи нея получила названіе Малаго Пса.

5. Тотъ путь, который солнце описываетъ на небѣ, хотя и не удаляется значительно отъ экватора, но не вполнѣ совпадаетъ съ нимъ. Именно, лѣтомъ солнце движется сѣвернѣе экватора, слѣдовательно, по сѣверному полушарію неба, а зимою къ югу отъ экватора, слѣдовательно, по южному полушарію неба. Солнце переходитъ черезъ экваторъ 21 марта и 23 сентября. Въ эти дни дневная дуга солнца достигаетъ 12 часовъ. Такова же и его ночная дуга. Эти дни носятъ названіе равноденствій—весенняго и осенняго. Тѣ же дни, когда солнце находится всего дальше къ сѣверу или къ югу, называются соответственно лѣтнимъ солнцестояніемъ и зимнимъ солнцестояніемъ (солнцеворотъ).

Рис. 3



Небесный глобусъ. *НН* горизонтъ, *НЗМН* меридианъ, *PQ* ось мѣра, *ЕЕ* экваторъ.

Тогда какъ неподвижныя звѣзды можно нарисовать на поверхности шара разъ навсегда въ томъ относительномъ положеніи, какое онѣ всегда занимаютъ на небѣ, солнце пришлось бы наносить каждый день на другомъ мѣстѣ. Путь, который солнце описываетъ такимъ образомъ между неподвижными звѣздами въ теченіе года, представляетъ собою кругъ, плоскость котораго наклонена къ плоскости экватора и который получилъ наименованіе зодіака или эклиптики. Рис. 3 представляетъ небесный глобусъ. Онъ можетъ вращаться на двухъ шипахъ *P* и *Q*, представляющихъ полюсы мѣра; одна половина этого шара лежитъ выше кольца *НН*, представляющаго горизонтъ. При вращеніи шара экваторъ *ЕЕ* очевидно движется въ своей собственной плоскости, такъ что не только полюсы мѣра, но и небесный экваторъ занимаютъ всегда одно и то же мѣсто. Напротивъ, эклиптика (на нашемъ рисункѣ кругъ, который пересѣкаетъ экваторъ подъ острымъ угломъ) движется такъ, что въ извѣстное время сутокъ она стоитъ высоко надъ горизонтомъ, а 12 часовъ спустя гораздо ближе къ горизонту.

Созвѣздія зодіака, по которымъ названы отдѣльныя части его, имѣютъ доисто-

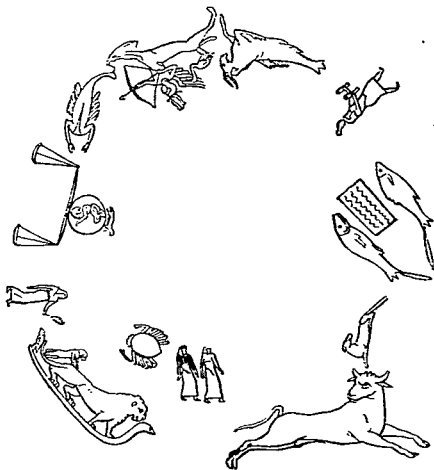
рическое происхождение. Изображение зодиака, найденное в Дендера, в Египтѣ (рис. 4), которое сначала относили къ эпохѣ за 12000—16000 лѣтъ тому назадъ, принадлежитъ, вѣроятно, времени Нерона. Созвѣздіе Вѣсовъ, кажется, было приравнено Греками послѣднимъ. Съ нимъ число зодиакальныхъ созвѣздій дошло до 12, такъ что солнце въ каждомъ изъ нихъ остается приблизительно въ продолженіе мѣсяца. Символы (знаки) этихъ созвѣздій можно найти иногда въ календаряхъ. Ихъ порядокъ нетрудно запомнить при помощи слѣдующихъ двухъ стиховъ:

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Capet, Amphora, Pisces.

Точка пересѣченія эклиптики съ экваторомъ, въ которой солнце находится во время весенняго равноденствія, носить названіе точки весенняго равноденствія или точки Овна.

6. Величина освѣщенной части луны, фаза, зависитъ, какъ легко убѣдиться при нѣкоторомъ вниманіи, не отъ положенія луны между звѣздами, а отъ ея положенія относительно солнца. Когда луна находится приблизительно въ томъ же мѣстѣ, гдѣ и солнце, она невидима и мы имѣемъ „новолуніе“. Когда затѣмъ луна черезъ

Рис. 4.



Зодіакъ въ Дендера.

нѣсколько дней перемѣстится къ востоку такъ, что станетъ заходить нѣсколько позднее солнца, то она имѣетъ форму серпа. Когда она отходитъ отъ солнца приблизительно на четверть круга, она представляетъ намъ „первую четверть“. Когда она заканчиваетъ половину оборота и находится на сторонѣ неба, противоположной солнцу, слѣдовательно, восходитъ въ то время, когда солнце заходитъ, то мы имѣемъ „полнолуніе“. Спустя еще одну четверть оборота, мы имѣемъ „послѣднюю четверть“. Наконецъ, она снова нагоняетъ солнце; но такъ какъ солнце само ушло уже на нѣкоторое разстояніе къ востоку, то ихъ соединеніе происходитъ не на томъ мѣстѣ между звѣздами, гдѣ было передъ этимъ, а нѣсколько дальнѣе къ востоку; такимъ образомъ лунѣ послѣ того, какъ она сдѣлаетъ полный оборотъ между звѣздами, нужно еще около двухъ сутокъ, чтобы снова нагнать солнце. Поэтому мы различаемъ два періода обращенія луны: сидерическій, относительно звѣздъ, и синодическій, относительно солнца. Практическое значеніе имѣетъ только синодическій мѣсяць, такъ какъ имъ обусловлена смѣна лунныхъ фазъ. Время сидерическаго оборота луны составляетъ $27^{\circ} 7' 48'' 11.3^c$, приблизительно $27\frac{1}{3}$ сутокъ, а синодическаго $29^{\circ} 12' 44'' 2.9^c$, приблизительно $29\frac{1}{2}$ сутокъ.

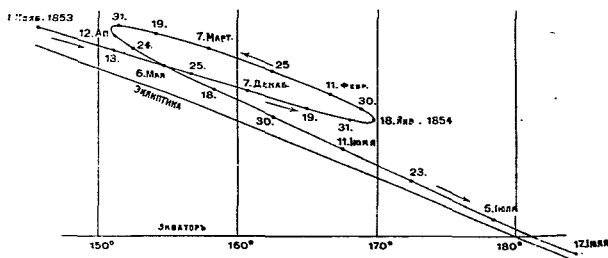
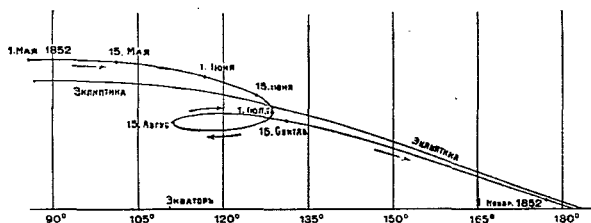
7. Путь луны не совпадаетъ съ эклиптикой совершенно точно, но все же онъ лежитъ настолько близко къ ней, что при многихъ разсужденіяхъ можно вовсе не

принимать въ расчетъ этого отступленія. Во время лѣтняго солнцестоянія луна при полнолуніи должна находиться приблизительно тамъ, гдѣ солнце бываетъ во время зимняго солнцестоянія. Значитъ, она должна стоять на небѣ низко и должна имѣть малую дневную дугу. Во время весенняго равноденствія луна въ первой четверти должна находиться тамъ, куда солнце придетъ черезъ четверть года, слѣдовательно, она должна быть далеко къ сѣверу отъ экватора. Въ это время она стоитъ высоко на небѣ и имѣетъ большую дневную дугу.

Примѣры для упражненія. Какъ высоко стоитъ луна въ первой и послѣдней четверти въ сентябрѣ мѣсяцѣ? Объясните, почему осенью луна во время полнолунія заходитъ линь немного позднѣе, чѣмъ наканунѣ.

8. Древніе наблюдали на небѣ еще пять болѣе или менѣе яркихъ свѣтилъ, которыя также не остаются неподвижными относительно звѣздъ, а движутся по зодіаку,

Рис. 5



Части видимаго пути Венеры и Марса.

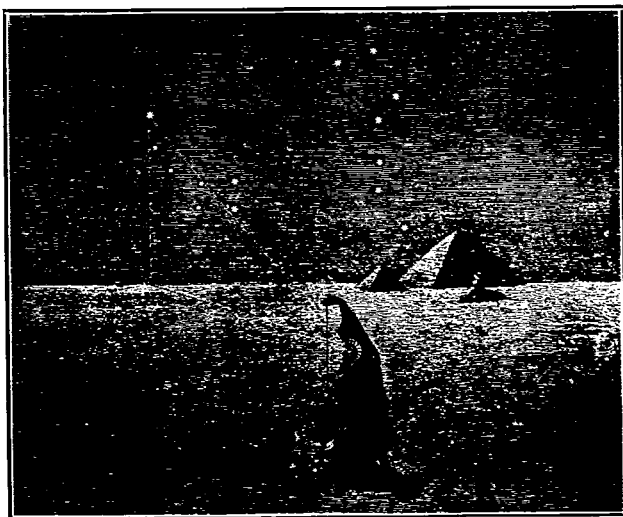
какъ солнце и луна. Но путь, который они описываютъ между неподвижными звѣздами, гораздо неправильнѣе. Иногда они движутся къ востоку, иногда къ западу и въ то же время поочередно то по одну (сѣверную), то по другую (южную) сторону эклиптики, такъ что иногда они описываютъ на небѣ настоящія петли (рис. 5). вмѣстѣ съ греками мы называемъ ихъ планетами, блуждающими звѣздами. Наконецъ, иногда неожиданно появляются свѣтила съ длинными хвостами, извѣстныя подъ греческимъ названіемъ кометъ. И онѣ движутся между неподвижными звѣздами неправильно.

9. Какъ тщательно древніе наблюдали свѣтила, видно между прочимъ изъ той точности, съ которой направлены относительно странъ свѣта зданія египтянъ. При изслѣдованіи развалинъ этихъ зданій было найдено, что главныя линіи ихъ плана идутъ съ востока на западъ и съ сѣвера на югъ. Египетская надпись на стѣнѣ

развалинь одного храма доказываетъ также, что египтяне считали точную разбивку плана храма¹⁾ чрезвычайно важнымъ дѣломъ.

Повидимому, въ древнѣйшія времена удовлетворялись, главнымъ образомъ, опредѣленіемъ визирныхъ точекъ на горизонтѣ; при этомъ имѣло большое значе-

Рис. 6



Проектированіе линіи сѣвера.

ніе, что названные народы жили въ плоскихъ странахъ съ довольно открытымъ горизонтомъ.

Если отмѣтить себѣ точно ту точку горизонта, въ которой звѣзда восходитъ, и ту, въ которой она заходитъ, то, какъ нетрудно видѣть, сѣверная точка горизонта будетъ лежать какъ разъ по срединѣ между этими двумя.

Кромѣ того, названные народы древности, имѣвше хоронихъ архитекторовъ, безъ сомнѣнія умѣли пользоваться отвѣсомъ для того, чтобы проектировать мѣсто звѣзды на горизонтѣ. Если держать шнуръ отвѣса такъ, чтобы онъ закрывалъ для глаза какую-нибудь звѣзду, то нижній конецъ отвѣса укажетъ точку горизонта, которая лежитъ какъ разъ подъ звѣздой. Такое опредѣленіе сѣвера можно сдѣлать довольно точно при помощи Полярной звѣзды, такъ какъ она движется только по очень малому кругу. Если провести отвѣсныя линіи въ тѣ моменты, когда Полярная звѣзда наиболѣе удалена вправо и когда она наиболѣе удалена влево, или взять эти отвѣсныя линіи для любыхъ двухъ положеній Полярной съ промежуткомъ въ 12 ча-

¹⁾ Въ Халдеѣ зданія располагались скорѣе такъ, что по четыремъ странамъ свѣта направлялись ихъ углы. Эта ориентировка, однако, выполняется далеко не съ той точностью, съ какой выполнялась она у египтянъ; отсюда выводили заключеніе, что халдеи не умѣли наблюдать такъ точно, какъ египтяне. Однако, это заключеніе нельзя считать вѣрнымъ, такъ какъ неизвѣстно, придавали ли вообще халдеи большое значеніе точной ориентировкѣ.

совъ между ними, то точка сѣвера будетъ лежать какъ разъ по срединѣ между найденными такимъ образомъ точками горизонта.

10. Гораздо труднѣе для древнихъ была задача опредѣленія высоты звѣзды или солнца надъ горизонтомъ. Изъ свѣдѣній и рисунковъ, дошедшихъ до насъ, ясно, что всѣ названные народы древности дѣлали это посредствомъ отвѣсной палки, которою пользовались также греки, называвшіе ее гномономъ.

Одна китайская лѣтопись Чей-Пей, относящаяся, повидимому, къ одиннадцатому вѣку до Р. Х., содержитъ очень интересное наблюдение, сдѣланное при помощи этого простого прибора. Авторъ этого сочиненія наблюдалъ возлѣ Лоянга длину тѣни, которую отбрасывалъ въ полдень отвѣсный шестъ въ 8 футовъ длиной, и при томъ одинъ разъ, когда солнце было въ лѣтнемъ солнцестояніи, а другой разъ при зимнемъ солнцестояніи, т. е. при наибольшей и наименьшей полуденной высотѣ солнца. Въ первомъ случаѣ длина тѣни была $1\frac{13}{21}$ фута, во второмъ $1\frac{1}{8}$ фута. Какъ мы увидимъ ниже, съ теченіемъ тысячелѣтій высота, которой солнце достигаетъ лѣтомъ и зимой, нѣсколько измѣняется. И если сдѣлать расчетъ, исходя изъ нашего времени, то, какъ оказывается, за 1100 лѣтъ до Р. Х. солнце въ Лоянгѣ должно было стоять какъ разъ на такой высотѣ, что тѣни имѣли указанныя въ этомъ сочиненіи длины. Это указываетъ на то, что данное сочиненіе не поддѣлка, что при китайскихъ данныхъ иногда требуетъ подтвержденія.

11. Длину тѣни палки можно, конечно, употребить для опредѣленія положенія солнца, но длину тѣни нельзя собственно назвать мѣрой высоты солнца. Короткая тѣнь указываетъ, конечно, что высота солнца велика, а длинная тѣнь, что эта высота мала. Но длиною тѣни можно было бы пользоваться, какъ мѣрою, если бы двойной линіи тѣни отвѣчала вдвое меньшая высота солнца. Однако на самомъ дѣлѣ это не такъ.

Только халдеи создали дѣйствительно удовлетворительную мѣру для такого рода вещей. Имѣя въ виду, что солнце въ теченіе года совершаетъ полный оборотъ между звѣздами, халдеи нашли цѣлесообразнымъ принять за единицу мѣры дугу, которую солнце проходитъ въ сутки. Эта дуга составляетъ $1:365\frac{1}{4}$ полного круга, такъ какъ годъ имѣетъ $365\frac{1}{4}$ сутокъ. Но они округлили эту дробь въ $\frac{1}{360}$, что отличается отъ истинной величины не болѣе, чѣмъ на $\frac{1}{20000}$. Такъ какъ они дѣлили кругъ, по которому движется солнце, на 360 частей, то и всѣ другіе круги они дѣлили такимъ же образомъ¹⁾.

Этотъ способъ дѣленія позднѣе былъ принятъ александрийскими греками и находится въ употребленіи и по нынѣшній день. Мы называемъ эти части градусами и обозначаемъ, напримѣръ, дугу, равную тринадцати трехсотшестидесятымъ круга посредствомъ 13° .

Лишя, которою описанъ кругъ, или радіусъ, можно отложить по кругу въ видѣ хорды, какъ разъ шесть разъ одинъ за другимъ. Это побудило халдеевъ дѣлать каждый градусъ на 60 минутъ и каждую минуту на 60 секундъ; мы пишемъ теперь, напримѣръ, $13^\circ 47' 19''$ вмѣсто

$$\frac{13 + \frac{47}{60} + \frac{19}{3600}}{360}$$

¹⁾ Китайцы, повидимому, раздѣляли круги, тоже соотвѣтственно суточному движенію солнца, на $365\frac{1}{4}$ частей, что представляло очень неудобное дѣленіе для всѣхъ круговъ кромѣ эклиптики.

Какъ сложна была задача, рѣшенная такимъ образомъ, можно понять лучше всего, если подумать, какъ трудно сговориться съ кѣмъ-нибудь относительно видимаго разстоянія двухъ звѣздъ другъ отъ друга, если пытаться выразить его въ мѣрахъ длины. Если одинъ оцѣниваетъ это разстояніе въ метръ, а другой въ половину метра, то это доказываетъ только, что они представляютъ себѣ звѣзды на различномъ разстояніи. Напротивъ, халдеи создали такую мѣру для разстоянія двухъ звѣздъ, которая остается всегда одной и той же, независимо отъ того, на какомъ разстояніи воображать себѣ звѣзды. 13^0 или $13/360$ окружности круга есть, напримѣръ, нѣчто такое, что можно представить себѣ на всякомъ мѣстѣ неба. Сравнительно нетрудно выбрать мѣру для болѣе осязаемыхъ предметовъ, метръ, фунтъ и т. п., но изобрѣтеніе мѣры для несуществующихъ, а только воображаемыхъ дугъ на небѣ знаменуетъ огромный шагъ впередъ въ культурѣ человѣчества.

Преимущество этой вновь введенной мѣры лежитъ, слѣдовательно, не въ дѣленіи на 360 и 60 частей и затѣмъ еще на 60 частей. Такое дѣленіе скорѣе можно назвать неудобнымъ, если мы вообще ведемъ счетъ по десятичной системѣ. Но если даже французская революція не могла раздѣлаться съ этимъ числомъ и если мы всякій разъ, когда смотримъ на часы, приспособляемъ наше представленіе, пріученное къ десятичной системѣ, къ шестеричной системѣ халдеевъ, то это есть дань, которую мы въ нашъ вѣкъ желѣзныхъ дорогъ приносимъ древнему народу, разрѣшившему трудную задачу: найти мѣру для столь мало осязательной вещи, какъ угловыя разстоянія звѣздъ.

Примѣръ 1. Если звѣзда заходитъ на разстояніи $32^0 15'$ отъ сѣверной точки горизонта, то на какомъ разстояніи она находится отъ западной, южной и восточной точекъ горизонта?

2. Если солнце находится на высотѣ 66^0 надъ горизонтомъ, какъ велико его разстояніе отъ зенита и отъ надира, т. е. отъ тѣхъ точекъ, въ которыхъ отвѣсная линія пересѣкаетъ небесную сферу сверху и внизу?

12. Послѣ того какъ была найдена мѣра, устройство приспособленій, при помощи которыхъ можно было бы производить эти измѣренія, не представляло особенныхъ трудностей.

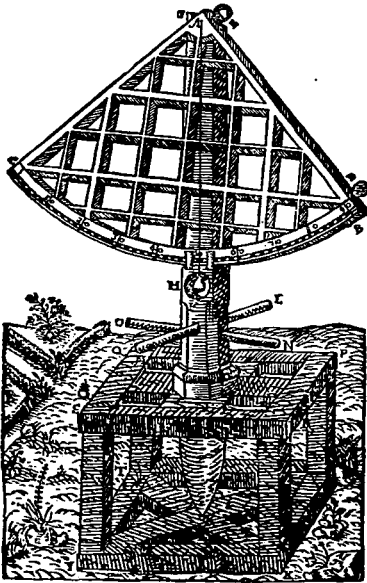
Греки упоминаютъ о такомъ приспособленіи, которое изобрѣлъ архитекторъ Θεодоръ изъ Самоса. Это доказываетъ во всякомъ случаѣ, что подобныя приспособленія были уже извѣстны въ VII вѣкѣ до Р. Х.; можетъ быть, это указываетъ и на то, что они пришли съ востока. Въ самомъ дѣлѣ легко допустить, что халдеи дали и практическое примѣненіе своего изобрѣтенія.

За недостаткомъ достовѣрныхъ рисунковъ такихъ инструментовъ изъ древности на рис. 7 изображенъ квадрантъ (четверть круга), который построилъ и употреблялъ Тихо Браге. Онъ виситъ на вертикальномъ столбѣ; при помощи рукоятокъ ON и QL этотъ столбъ можно поворачивать такимъ образомъ, чтобы плоскость квадранта проходила черезъ звѣзду, высота которой измѣряется. Самый квадрантъ можетъ вращаться въ своемъ центрѣ A на горизонтальномъ шипѣ, укрѣпленномъ въ столбѣ, изъ его центра свѣшивается на шнуркѣ отвѣсъ H . D и E суть визиры, которые направляются на звѣзду. Ихъ направленіе параллельно той линіи, которая соединяетъ центръ квадранта съ штрихомъ 90^0 . Такимъ образомъ зенитное разстояніе звѣзды

равно числу градусовъ отъ 90 до отвѣса и, значить, высота звѣзды (дополнительный уголъ зенитнаго разстоянія до 90°) равна числу градусовъ отъ 0° до отвѣса.

13. Однимъ изъ самыхъ важныхъ опредѣленій высотъ, каюя только сдѣлали древніе,—гномомъ или раздѣленнымъ кругомъ—было измѣреніе высоты солнца въ эпохи лѣтняго и зимняго солнцестояній (ср. § 10). Если мы въ какомъ-нибудь мѣстѣ, лежащемъ, напримѣръ, подъ 50° широты, найдемъ полуденную высоту солнца во время лѣтняго солнцестоянія равной 63° 27', а во время зимняго солнцестоянія равной 16° 33', то очевидно въ первомъ случаѣ солнце было ближе къ сѣверному полюсу на 46° 54'. Слѣдовательно, оно удаляется отъ экватора въ обѣ стороны на 23° 27'. Это и есть такъ называемый наклонъ эклиптики къ экватору.

Рис. 7.



Квадрантъ Тихо Браге.

годамъ является почти неизбѣжнымъ. Нужно однако помнить, что указанные народы жили въ такомъ климатѣ, гдѣ разница между лѣтомъ и зимой не очень велика, тогда какъ при тѣхъ мягкихъ ночахъ, продолжительность которыхъ въ теченіе круглаго года близка къ 12 часамъ, свѣтъ луны играетъ важную роль въ жизни человѣка.

Но время, въ теченіе котораго происходитъ полная смѣна фазъ луны, какъ и солнечный годъ, не составляетъ цѣлаго числа сутокъ; вслѣдствіе этого оказывается затруднительнымъ опредѣлить разъ навсегда число сутокъ въ мѣсяцѣ и въ году. Кромѣ того, времена обращенія луны и солнца не находятся въ простомъ соотношеніи другъ съ другомъ и потому еще труднѣе правильно согласовать между собою мѣсяцъ и годъ. Здѣсь мы приведемъ нѣсколько отдѣльныхъ примѣровъ счисленія времени у древнихъ.

15. Египтяне считали свой годъ въ 365 сутокъ, тогда какъ въ дѣйствительности онъ длиннѣе этого приблизительно на четверть сутокъ. Вслѣдствіе этого къ концу перваго года у нихъ не хватало немного до полнаго оборота, къ концу втораго года

14. Движенія солнца, луны и звѣздъ даютъ естественныя опорныя точки для счета времени. Небесныя наблюденія древнихъ народовъ имѣли поэтому особенное значеніе для подраздѣленія и счисленія времени.

Для обитателей болѣе сѣверныхъ странъ можетъ казаться нѣсколько удивительнымъ, что древніе народы при своемъ подраздѣленіи времени могли иногда отдавать предпочтеніе лунѣ передъ солнцемъ. Смѣна дня и ночи есть такое явленіе, которое волей или неволей заставляетъ человѣка сообразоваться съ нимъ; съ другой стороны, различіе между лѣтомъ и зимой настолько глубоко, что счисленіе по солнечнымъ

не хватало вдвое больше и т. д. Солнце занимало опредѣленное положеніе на небѣ, а значить, и времена года наступали постепенно позднѣе и позднѣе относительно чисель мѣсяца, и по истеченіи нѣсколькихъ столѣтій лѣто приходилось на тѣ мѣсяцы, которые въ началѣ счета были зимними. Первоначальный порядокъ долженъ былъ снова возвращаться по истеченіи 1460 лѣтъ, такъ какъ за этотъ промежутокъ времени ежедневныя запаздыванія солнца давали уже цѣлый его оборотъ.

Это было извѣстно египтянамъ, и такъ какъ первый годъ этого длиннаго періода совпадалъ съ гелиакическимъ восходомъ звѣзды Пса (ср. § 4) и затѣмъ прошло 1460 лѣтъ, пока начало года снова совпадало съ этимъ восходомъ, то этотъ періодъ назвали періодомъ звѣзды Пса или Сотисъ. Одинъ такой періодъ начался въ 2782 году до Р. Х., слѣдующій въ 1322 году до Р. Х., третій въ 139 году по Р. Х.

16. У египтянъ и другихъ народовъ древности точныя опредѣленія этого рода составляли обязанность государства и религіи и выполнялись жрецами, тогда какъ простой народъ придерживался другихъ способовъ подраздѣленія времени, основанныхъ на болѣе замѣтныхъ явленіяхъ. Такъ въ Египтѣ пользовались луннымъ мѣсяцемъ, начало котораго считалось съ того дня, въ который луна впервые появлялась послѣ новолунія. Евреи въ древнее время также считали по луннымъ мѣсяцамъ, но ихъ годъ не всегда имѣлъ 12 мѣсяцевъ. Еврей также начинали счетъ мѣсяца съ того дня, въ который луна становилась вновь видимой, а годъ считали, смотря по обстоятельствамъ, въ 12 или въ 13 мѣсяцевъ. Обстоятельствами, которыя принимались здѣсь въ расчетъ, являлись жатвы, такъ какъ первый колось долженъ былъ приноситься въ жертву Іеговѣ во время Пасхи, падавшей на первый мѣсяць года (Нисанъ). Такимъ образомъ выходило, что времена года никогда не смѣщались значительно относительно мѣсяцевъ. Въ связи съ этимъ стоитъ также и то, что христіанская Пасха не всегда падаетъ на одинъ и тотъ же день.

Напротивъ того, у арабовъ и у многихъ магометанскихъ народовъ имѣло мѣсто постоянное перемѣщеніе начала года. У нихъ мѣсяць имѣлъ поочередно 29 и 30 дней, а годъ состоялъ всегда изъ 12 такихъ мѣсяцевъ, изъ шести мѣсяцевъ по 30 и шести по 29 сутокъ. Такимъ образомъ ихъ годъ сравнительно съ дѣйствительнымъ былъ слинкомъ коротокъ приблизительно на 11 сутокъ. Вслѣдствіе этого времена года смѣщались относительно мѣсяцевъ и притомъ очень быстро, такъ что по истеченіи 33 арабскихъ или 32 дѣйствительныхъ лѣтъ они снова приходились на надлежащіе мѣсяцы. Но лунный мѣсяць на $44^{\circ} 3'$ длиннѣе $29\frac{1}{2}$ сутокъ (§ 6). Слѣдовательно, по истеченіи нѣсколькихъ лѣтъ движеніе луны уже не соответствовало мѣсяцу и для полученія согласія приходилось вставлять, приблизительно каждый третій годъ, однѣ сутки на исправленіе запозданія. Последній мѣсяць года, который долженъ былъ бы имѣть 29 сутокъ, получалъ ради этого исправленія 30 сутокъ. Такимъ образомъ въ извѣстной степени достигалось согласованіе мѣсяца съ движеніемъ луны, но этотъ годъ совершенно не соответствовалъ движенію солнца.

17. Легко понять, какъ трудно было найти счисленіе времени, которое соответствовало бы движенію и солнца и луны. Народъ, который не боялся умозрительныхъ задачъ, а именно греки, получилъ отъ оракула отвѣтъ, что годъ долженъ согласоваться съ движеніемъ солнца, а мѣсяцы и дни съ движеніемъ луны. Они старались упорядочить счисленіе времени различными способами, но удовлетворительное рѣшеніе этого вопроса предложилъ только Метонъ на Олимпійскихъ играхъ въ 432

году до Р. X. Метонъ разсчиталъ, что въ теченіе 6940 сутокъ солнце дѣлаетъ 19 оборотовъ, а луна 235. Поэтому онъ предложилъ вести счетъ такимъ образомъ, чтобы 19 лѣтъ содержали 235 мѣсяцевъ и 6940 сутокъ. Мѣсяцы должны были имѣть иногда 29, иногда 30 сутокъ, благодаря чему начало мѣсяца никогда не могло смѣшаться относительно фазъ луны больше, чѣмъ на полсутки. Далѣе годы по счисленію Метона должны были имѣть иногда 12, иногда 13 мѣсяцевъ, такъ что начало года не могло смѣшаться относительно времени года больше, чѣмъ на полмѣсяца. Это предложеніе было единогласно принято и было введено не только въ Греціи, но одновременно и во всѣхъ ея колоніяхъ. Это исчисленіе было начертано золотыми буквами въ общественныхъ мѣстахъ, откуда и получилось названіе „золотое число“, перешедшее и въ календари новаго времени.

Метоновъ циклъ оказался однако не вполне правильнымъ. Періодъ въ 6940 сутокъ превышаетъ 19 лѣтъ на $9\frac{1}{2}$ часовъ и 235 лунныхъ мѣсяцевъ на $7\frac{1}{2}$ часовъ. Эта погрѣшность была исправлена Калиппомъ, предложившимъ соединить четыре Метоновыхъ періода въ одинъ большій періодъ въ 76 лѣтъ, первый мѣсяцъ котораго долженъ былъ терять одинъ изъ своихъ тридцати сутокъ.

Трудная задача согласовать при единообразномъ исчисленіи времени движенія солнца и луны была, такимъ образомъ, рѣшена очень точно и фазы луны согласовались съ календарными мѣсяцами; однако то обстоятельство, что годы въ этомъ счисленіи не равны, а имѣютъ то 354, то 384 сутокъ, было бы для нашей гражданской жизни во всякомъ случаѣ довольно неудобно.

18. Наше нынѣшнее счисленіе времени перешло къ намъ изъ Рима и основано только на движеніи солнца. До Юлія Цезаря въ Римѣ былъ въ употребленіи календаръ съ 12 мѣсяцами. Названія мѣсяцевъ были тѣ же, что и теперь, за исключеніемъ іюля и августа, которые были введены только позднѣе (вмѣсто *Quintilis* и *Sexilis*) въ честь Цезаря и Августа. Число дней въ мѣсяцѣ было отъ 28 до 31, но въ общемъ оно было слишкомъ мало, такъ что каждый второй годъ нужно было вставлять одинъ мѣсяцъ (*Mercedonius*) въ 22 или 23 дня. Этотъ календаръ не согласовался ни съ солнечнымъ, ни съ луннымъ движеніемъ. Юлій Цезарь, при содѣйствіи alexandрійскаго астронома Созигена, рѣшилъ его улучшить. Послѣ года въ 445 сутокъ, „года путаницы“, въ 46 году до Р. X. былъ введенъ въ употребленіе Юліанскій календаръ, въ которомъ на каждые три года по 365 сутокъ приходился одинъ високосный годъ въ 366 сутокъ. Этотъ календаръ позднѣе былъ принятъ христіанскою церковью и високосными годами считаются тѣ, число которыхъ дѣлится на четыре, напримѣръ, 1896.

Такъ какъ мѣсяцы этого календаря не согласуются уже съ движеніемъ луны, то каждый мѣсяцъ сохранилъ то число сутокъ, которое ему произвольно дали римляне. Всѣмъ извѣстно, какъ можно по косточкамъ руки разсчитать, какіе мѣсяцы имѣютъ 30 и какіе 31 день. Февраль имѣетъ 28, а въ високосные годы 29 дней. У римлянъ вставнымъ днемъ было 24-ое число, которое повторялось дважды. Поэтому иногда еще и теперь можно найти въ календарѣ обозначеннымъ, какъ вставной день, 24 число (вмѣсто 29).

19. Въ Юліанскомъ календарѣ годъ принимается въ среднемъ въ $365\frac{1}{4}$ сутокъ, т. е. больше истиннаго на $11^m 12^s$. Эта ошибка въ 129 лѣтъ составляетъ цѣлая сутки.

На эту ошибку указалъ въ XIII вѣкѣ Роджеръ Бэконъ, тщетно рекомендовавшій папѣ ея исправленіе. Но лишь спустя три столѣтія, когда въ этомъ же смыслѣ высказалось много голосовъ, папа Григорій XIII назначилъ ученую комиссію, согласно предложенію которой въ 1583 году папской буллою былъ введенъ Григоріанскій календарь.

Чтобы связать этотъ календарь съ Никейскимъ соборомъ (325 г. по Р. X.), на которомъ было постановлено, что Пасха должно падать на воскресеніе за первымъ полнолуніемъ послѣ весенняго равноденствія (ср. § 16), было поведѣно выпустить десять лишніхъ дней, набѣжавшихъ за истекшія со времени собора 1257 лѣтъ. Соотвѣтственно этому день, слѣдовавшій за 4 октября 1582 года, былъ принятъ за 15 октября.

А для того, чтобы въ будущемъ не могла вкратъся подобная ошибка, было постановлено:

Годъ долженъ имѣть 365 сутокъ.

Исключеніе. Если число года дѣлится на четыре, то годъ долженъ имѣть 366 сутокъ.

Исключеніе изъ исключенія. Такъ называемые вѣковые годы, напримѣръ, 1800, 1900 и т. п. должны имѣть только 365 сутокъ, хотя ихъ число дѣлится на четыре.

Исключеніе изъ исключенія исключенія. Тѣ вѣковые годы, число которыхъ дѣлится на 400, напримѣръ, 1600, 2000, должны имѣть 366 сутокъ.

Календарь оставался бы при этомъ улучшеніи правильнымъ, еслибы Юліанскій календарь давалъ ошибку какъ разъ на трое сутокъ въ четыреста лѣтъ или на однѣ сутки въ $133\frac{1}{3}$ года. Но ошибка этого календаря составляетъ однѣ сутки въ 129 лѣтъ. Такимъ образомъ съ теченіемъ времени ошибка снова накопится и потому Григоріанскій календарь опредѣляетъ заранѣе, что годъ 4840 по Р. X. не долженъ быть високоснымъ, какъ это выходитъ по обычному правилу. Еще черезъ 3600 лѣтъ придется снова подумать объ исправленіи и снова выпускать одинъ високосный день и т. д.

Протестантскія страны слержанно относились ко всему, что шло со стороны папъ, и потому тамъ медлили съ введеніемъ этого „новаго стиля“. Болѣе ста лѣтъ здѣсь оставались позади вapistовъ на 10 сутокъ. 1600 годъ не увеличилъ разницы, такъ какъ онъ былъ високоснымъ годомъ и по Юліанскому и по Григоріанскому календарю. 1700 годъ напротивъ повысилъ бы разницу до 11 сутокъ. Но въ этомъ году въ протестантской Германіи, въ Даніи и другихъ странахъ также перешли къ новому календарю и за 18 февраля наступило непосредственно 1 марта.

Съ другой стороны Россія въ 1700 и 1800 годахъ теряла по одному дню и такъ какъ и въ 1900 году она не перешла къ Григоріанскому календарю, то теперь она отстаетъ отъ него на 13 сутокъ.

При такой трудности согласовать календарь съ солнцемъ по необходимости пришлось совершенно не считаться съ движеніемъ луны; теперь довольствуются тѣмъ, что даютъ въ календаряхъ положеніе луны на каждый день. Такимъ образомъ наше дѣленіе на мѣсяцы есть пережитокъ болѣе древнихъ культуръ и не сохранило почти никакой связи съ фазами луны.

20. Что касается дѣленія времени на недѣли, то особенно замѣчательно число дней въ недѣлѣ, такъ какъ число семь не стоитъ въ связи ни съ системами счи-

сленія какихъ-либо народовъ, ни съ движеніемъ луны. Еслибы мѣсяць имѣлъ 28 сутокъ, то дѣленіе его на четыре части было бы понятно. Но такъ какъ мѣсяць содержитъ скорѣе 30 сутокъ, то легче было бы понять дѣленіе на 2, 3, 5, 6 или 10 частей.

Греческій писатель II столѣтія по Р. Х. Діонъ Кассій связываетъ дѣленіе на недѣли и названія дней недѣли съ извѣстными тогда семью подвижными свѣтилами: солнцемъ, луною и пятью планетами. Это объясненіе представляется однако нѣсколько искусственнымъ¹⁾.

Дни недѣли уже у египтянъ носили имена въ соотвѣтствіи съ небесными тѣлами. Напротивъ того, у евреевъ не было особыхъ именъ для дней недѣли за исключеніемъ „субботы“. Остальные дни обозначались первыми буквами алфавита. Естественной связи между планетами и днями недѣли указать, однако, нельзя. Здѣсь можетъ идти рѣчь только о религіозныхъ объясненіяхъ, какъ въ Библии (1. Быт. 1, 2).

21. Какъ извѣстно, отъ времени до времени происходятъ затменія большей или меньшей части луннаго диска. Всѣ образованные народы древности умѣли, повидимому, предсказывать эти затменія, а въ Китаѣ, какъ мы знаемъ, это принадлежало къ важнѣйшимъ обязанностямъ астрономовъ. Небрежность въ исполненіи этихъ обязанностей иногда наказывалась даже смертю. Даже въ историческія времена мы находимъ еще примѣры такихъ казней, равно какъ и примѣры приглашенія индусскихъ или европейскихъ астрономовъ, такъ какъ празднества, которыя справлялись при этихъ затменіяхъ, считались настолько важными, что пренебрегать ими нельзя было ни въ какомъ случаѣ.

Такъ, древніе документы сообщаютъ о казни астрономовъ Хи и Хо, не предсказавшихъ своевременно солнечнаго затменія 13 октября 2128 г. до Р. Х.

Возможность предсказанія затменій основывалась на томъ открытіи, что въ періодъ 18 лѣтъ и 11 дней (точнѣе 6585·32 сутокъ), т. е. по истеченіи 222 синодическихъ мѣсяцевъ затменія повторяются въ томъ же порядкѣ и имѣютъ приблизительно ту же величину. Эта періодичность, однако, не вполне точна; иныя затменія выходятъ, напримѣръ, нѣсколько полнѣе, другія нѣсколько меньше, чѣмъ въ предшествующемъ періодѣ. Равнымъ образомъ иногда происходитъ новое слабое затменіе, которое въ слѣдующіе періоды становится больше, тогда какъ одно изъ старыхъ затменій можетъ постепенно исчезнуть. Хотя упомянутые выше китайскіе астрономы и имѣли въ своемъ распоряженіи длинные ряды наблюденій, все же нетрудно понять, какъ можно было проглядѣть появленіе новаго затменія.—Грекъ Фалесъ (§ 23), должно быть, обучался этому искусству у египтянъ, но позднѣе греки, повидимому,

¹⁾ Кассій приводитъ эти семь небесныхъ тѣлъ соотвѣтственно скорости ихъ движенія по небу въ слѣдующемъ порядкѣ: Сатурнъ (самый медленный), Юпитеръ, Марсъ, Солнце, Венера, Меркурій и Луна. Каждому изъ нихъ посвящается часть, и притомъ первый часть послѣ 12 въ ночь на субботу посвященъ Сатурну, затѣмъ каждый слѣдующій часть слѣдующей планетѣ, слѣдовательно седьмой часть лунѣ, а восьмой снова Сатурну и т. д. При такомъ порядкѣ солнце получаетъ часть отъ 12 до 1 въ ночь на воскресенье. Поэтому суббота получила имя отъ Сатурна, воскресенье отъ солнца и т. д. Въ соотвѣтственные часы понедѣльника, вторника, среды, четверга и пятницы приходятся по порядку Марсъ, Меркурій Юпитеръ и Венера. Названія дней недѣли на различныхъ европейскихъ языкахъ дѣйствительно согласуются съ этимъ объясненіемъ. Но конечно съ такимъ же основаніемъ можно принимать, что названія планетъ были даны днямъ недѣли только потому, что число тѣхъ и другихъ было одинаково.

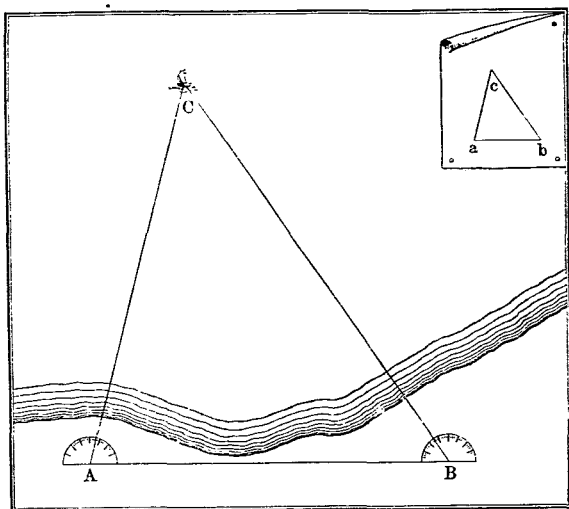
отдали предпочтеніе халдеямъ; сколько можно судить, это объяснялось тѣмъ, что у халдеевъ были многолѣтнія тщательныя наблюденія, въ которыхъ нуждались греки. Халдеи сообщали Александру Великому, что у нихъ имѣются наблюденія за 1903 года, и за это время имѣли мѣсто 832 лунныхъ затмения и 373 солнечныхъ. Это очень хорошо согласуется съ тѣмъ, что могло быть на самомъ дѣлѣ; при этомъ нужно имѣть въ виду, что въ Вавилоніи при всегда почти безоблачномъ небѣ пройти незамѣченными могли только немногія затмения.

Греки

22. Въ то время, какъ у китайцевъ, индусовъ, халдеевъ и египтянъ исторія изученія природы не была еще связана съ опредѣленными личностями—развѣ только съ тѣмъ или другимъ мифическимъ царемъ—, у грековъ исторія естествознанія сплетается уже съ именами его творцовъ, но свѣдѣнія эти вначалѣ не отличаются достовѣрностью. Въ разсказахъ о древнѣйшихъ греческихъ мудрецахъ обыкновенно отмѣчается, что они болѣе или менѣе долгое время учились въ Египтѣ. Тѣ вопросы, которые не выяснялись непосредственно, греческіе „философы“ старались разрѣшить путемъ размысленія. Такимъ образомъ они создали тотъ мыслительный аппаратъ, который носить названіе математики и безъ котораго невозможно глубокое естествознаніе. Греки имѣли также представленіе о многихъ соотношеніяхъ между явленіями природы, о которыхъ болѣе древніе народы, повидимому, не знали ничего.

23. Θαเลสъ Милетскій (около 640 - 548 г. до Р. Х.), первый изъ „семи мудрецовъ Греніи“, признается основателемъ математики. Хотя мы здѣсь не можемъ

Рис. 8



Измѣреніе разстоянія корабля.

глубже вдаваться въ этотъ предметъ, но нельзя не привести рѣшенія одной задачи, при помощи котораго Θαเลสъ опредѣлялъ разстояніе корабля на морѣ. Эта

самая задача определения расстояния недоступного предмета встречается также при измерении расстояний небесных тел. Два наблюдателя *A* и *B* (рис. 8) становятся на берегу на известном расстоянии друг от друга, например, в 1000 м. Каждый из них снабжен разделенным кругом и держит этот круг так, чтобы его нулевое деление было обращено к другому наблюдателю. Затем оба они визируют через центр своего круга на корабль и замечают, через какой градус на круге проходит эта линия зрения. Теперь, если угодно, можно все это нарисовать в уменьшенном виде, приложив к какой-нибудь линии *ab* разделенные круги в точках *a* и *b* и проведя две линии через соответственные точки делений круга. Эти две линии пересекаются в точке *c* и таким образом получается уменьшенное изображение большого треугольника *ABC*. А так как *ab* представляет линию *AB*, длиной в 1000 м, то ею можно измерить линию *ac*, которая представит расстояние *AC* корабля от точки *A*.

Возможность решить подобную задачу несомненно послужила для Фалеса и для греков вообще толчком к тому, чтобы идти по этому пути дальше, и в течение следующих столетий математика сделала поразительные успехи. Несмотря на то громадное значение, которое математика имеет для естествознания, мы не можем здесь входить более подробно в историю развития этой науки.

24. Был еще другой вопрос, который греки, в противоположность древним, старались тщательно себя выяснить, именно вопрос о строении вселенной. Египтяне представляли себе строение вселенной только символически (рис. 9); в бо-

Рис. 9



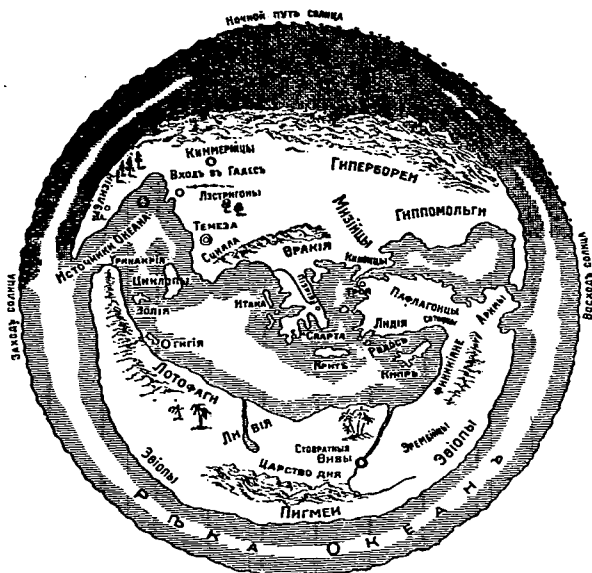
Египетский символ вселенной.

же древнее время греки также создавали подобныя мистическія представления, например, что земля имеет вид плоскости и что ее обтекают могучая река Океан (рис. 10), а послѣдній ограниченъ великою чашей неба, къ которой прикрѣплены звѣзды; солнце было отверстиемъ въ этой чашѣ, сквозь которое виденъ огонь, находящійся снаружи чани. Когда это отверстие закрывалось, наступало солнечное затмение.

Но уже Пифагоръ (род. около 580 г. до Р. X.) или во всякомъ случаѣ его школа еще въ V вѣкѣ до Р. X. придерживались воззрѣнія, что небесныя тѣла прикрѣп-

лены къ огромной хрустальной шарообразной чашѣ, движущейся подъ звуки неслышной намъ небесной музыки; кромѣ того, они опредѣленно высказывались, что не только солнце и луна, но и земля есть шаръ. Они говорили даже объ антиподахъ, т. е. людяхъ на другой сторонѣ земли, обращенныхъ къ намъ ногами. Что само море должно имѣть кривизну, можно было легко видѣть, наблюдая удаляющееся

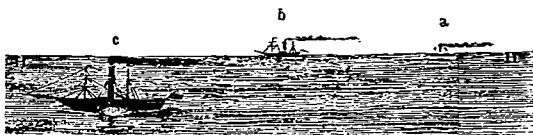
Рис. 10



Мистическое представлѣніе грековъ о рѣкѣ Океанѣ.

судно (рис. 11). На извѣстномъ разстояніи исчезаетъ прежде всего корпусъ судна, а затѣмъ постепенно и его мачта. Это, конечно, легко наблюдать въ такомъ чистомъ воздухѣ, какой такъ часто бываетъ на берегахъ Средиземнаго моря. Такъ какъ эта

Рис. 11



Исчезаніе корабля вслѣдствіе кривизны земной поверхности.

кривизна наблюдается по всѣмъ направленіямъ, всюду, куда бы мы ни переѣхали, то греки заключили, что такой кривизной должна обладать вся поверхность земли.

Пифагору были также извѣстны причины затмѣній. Когда луна находится между нами и солнцемъ, то она можетъ совершенно или отчасти закрыть солнце; такимъ образомъ солнце можетъ затмѣваться. Очевидно, это можетъ происходить только во вре-

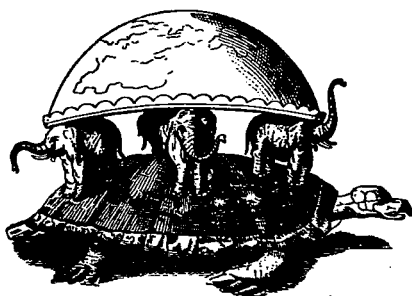
мя новолунія, слѣдовательно, когда луна невидима. Но это бываетъ не при всякомъ новолуніи, такъ какъ луна обыкновенно не пересѣкаетъ той линіи, по которой мы видимъ солнце.

Когда, съ другой стороны, земля находится между солнцемъ и луной, слѣдовательно, во время полнолунія, тѣнь земли можетъ упасть на луну. Пифагоръ признавалъ это за причину лунныхъ затмений. Большинство полнолуній проходитъ, однако, минуя земную тѣнь.

Земная тѣнь на лунѣ всегда имѣетъ форму круга, и потому круглой должна быть и сама земля; а такъ какъ это случается не только тогда, когда затмившаяся луна стоитъ высоко на небѣ (въ полночь), но и тогда, когда она стоитъ на небѣ низко на востокѣ (вскорѣ послѣ захода солнца) или на западѣ (не задолго до восхода солнца), то земля не можетъ быть круглымъ дискомъ, а должна быть круглой, какъ шаръ: шаръ есть единственное тѣло, которое бросаетъ круглую тѣнь, съ какой стороны ни упадетъ на него свѣтъ.

25. Теперь возникалъ вопросъ, чѣмъ держится земля. Народы древности отвѣчали на этотъ вопросъ разнo. Такъ, индусы думали, что землю поддерживаютъ че-

Рис. 12



Поддержка земли по представленію индусовъ.

тыре слона, которые сами стоятъ на черепахахъ (рис. 12). Нѣкоторые изъ раннихъ греческихъ философовъ думали, что земля плаваетъ на водѣ, наполняющей ровно половину небеснаго шара, или на сгущенномъ воздухѣ; другіе же полагали, что она имѣетъ корни въ безконечности. Парменидъ (современникъ Сократа) сумѣлъ отвѣтить на этотъ вопросъ другимъ вопросомъ: куда должна падать земля? Вѣдь она находится въ центрѣ и все вокругъ земли находится надъ ней.

Вмѣстѣ съ этимъ направленіе внизъ становится равнозначимымъ съ направле-

ніемъ къ центру земли. Въ каждомъ мѣстѣ земли имѣется свой низъ (надиръ) и верхъ (зенитъ). Люди, стоящіе въ разныхъ мѣстахъ на землѣ, относительно земли находятся всѣ въ одномъ положеніи. Но всякій склоненъ всегда считать себя на верху и считать свой „верхъ“ правильнымъ, тогда какъ другіе люди кажутся ему стоящими по бокамъ или внизу и потому не прямо. Переносясь на другое мѣсто, человекъ переноситъ съ собой это представленіе на новое мѣсто.

26. Наблюдатель въ нашихъ широтахъ видитъ сѣверный полюсъ P неба (рис. 13), т. е. ту точку, вокругъ которой видимо вращается небесный сводъ, между зенитомъ Z и горизонтомъ. Нѣкоторыя звѣзды представляются ему незаходящими, другія имѣютъ болѣе или менѣе длинныя дневныя дуги, плоскости которыхъ, однако, всѣ наклонены къ горизонту. Напротивъ, наблюдатель, помѣщающійся на томъ мѣстѣ земли, которое лежитъ „какъ разъ подѣ“ P , т. е. на сѣверномъ полюсѣ земли, видитъ небесный полюсъ отвѣсно надъ собой (рис. 14), и всѣ небесныя тѣла сѣверной половины неба являются для него незаходящими и описываютъ горизонтальные пути.

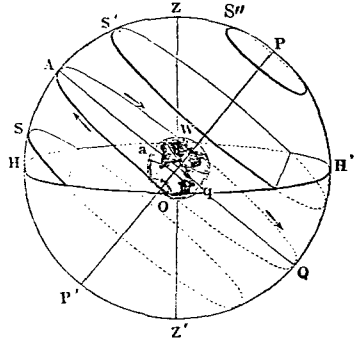
Когда солнце, луна или планеты находятся на сѣверномъ полушаріи неба, то и они являются незаходящими и описываютъ горизонтальные пути. И такъ какъ они постепенно и медленно то приближаются къ сѣверному полюсу неба, то снова удаляются отъ него, то на сѣверномъ полюсѣ можно видѣть, что солнце въ день весенняго равноденствія появляется на горизонтѣ, обходитъ его кругомъ и въ теченіе слѣдующей четверти года медленно подымается до высоты $23\frac{1}{2}^{\circ}$ по нѣкоторой спиральной линіи, въ слѣдующую четверть года снова опускается и наконецъ исчезаетъ подъ горизонтомъ. Затѣмъ въ продолженіе полугода оно движется подъ горизонтомъ, производя нѣсколько времени послѣ исчезновенія и передъ новымъ появленіемъ зарю, которая въ теченіе сутокъ, слѣдуя за солнцемъ, обходитъ кругомъ весь горизонтъ.

Наконецъ, есть мѣста на землѣ, именно на ея экваторѣ, гдѣ сѣверный полюсъ неба лежитъ на горизонтѣ. Южный полюсъ неба, естественно, тогда также лежитъ на горизонтѣ (рис. 15). Всѣ небесныя тѣла имѣютъ здѣсь какъ дневную, такъ и ночную дугу по 12 часовъ; одни изъ нихъ движутся по бѣльшимъ кругамъ, другія по меньшимъ, но всѣ такъ, что восходить и заходить отвѣсно. То же имѣетъ мѣсто и для солнца. Поэтому сумерки здѣсь продолжаются недолго.

✓ 27. Совершенно естественно у грековъ также долженъ былъ возникнуть вопросъ о величинѣ земного шара.

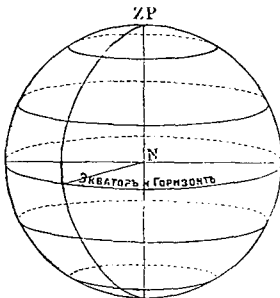
Первымъ писателемъ, у котораго мы находимъ данныя по этому предмету, является Аристотель. Онъ родился въ 384 г. до Р. X. въ Стагирѣ. Его отецъ

Рис. 13



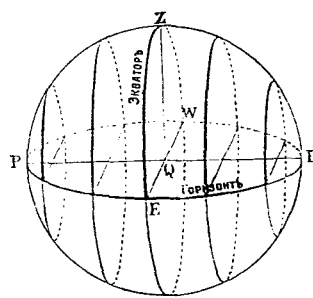
Вращеніе неба, видимое изъ мѣста средней широты.

Рис. 14



Вращеніе неба, видимое съ сѣвернаго полюса земли.

Рис. 15



Вращеніе неба, видимое изъ точки экватора.

былъ придворнымъ врачомъ македонскаго царя. 18 лѣтъ отъ роду Аристотель переселился въ Афины, гдѣ въ теченіе 20 лѣтъ былъ ученикомъ Платона. Когда ему было около 40 лѣтъ отъ роду, Филиппъ Македонскій назначилъ его воспитате-

лемь своего сына Александра, на котораго онъ приобрѣлъ большое вліяніе. Аристотель былъ ученый и высоко образованный человекъ и превосходный наставникъ. Когда Александръ взшелъ на тронъ, Аристотель снова переселился въ Аѳины, гдѣ основалъ школу (перипатетическую), которую посѣщало множество учениковъ. Онъ владелъ всѣмъ знаніемъ, которое къ тому времени было добыто (полигисторъ), составилъ множество трудовъ по самымъ различнымъ предметамъ и его взгляды приобрѣли большое вліяніе. Хотя онъ былъ далеко не такъ глубоко, какъ Платонъ, его воззрѣнія на природу встрѣтили гораздо больше сочувствія: это былъ превосходный систематикъ, облаквившій свои ученія въ подкупающую логическую форму. Его объясненія явленій природы, какъ мы увидимъ, вовсе не обладаютъ большой цѣнностью, но въ исторіи естествознанія они играли важную роль, такъ какъ служили предметомъ научныхъ споровъ въ теченіе цѣлыхъ тысячелѣтій. Вслѣдствіе политическихъ волненій онъ долженъ былъ покинуть Аѳины и умеръ въ 322 г. на островѣ Эвбеѣ, въ бѣдности и одиночествѣ. Аристотель говоритъ, что всѣ математики опредѣляютъ окружность земли въ 400 000 стадій, но онъ не указываетъ, кто опредѣлилъ эту величину и какимъ способомъ. Эта цифра, правда, приблизительно вдвое больше дѣйствительной величины, но повидимому она не взята прямо наудачу.

√ 28. Первое измѣреніе, о которомъ мы имѣемъ достовѣрныя свѣдѣнія, принадлежитъ Эратосѣену, родившемуся въ городѣ Сиенѣ (Египеть) въ 276 г. до Р. X. Въ 236 г. онъ сталъ завѣдующимъ большой бібліотекой въ Александріи, въ 195 г. ослѣпъ и вскорѣ затѣмъ умеръ. Нѣкоторые утверждаютъ, что онъ самъ кончилъ жизнь голодомъ въ отчаяніи отъ своего ослѣпленія.

Эратосѣенъ сооружалъ инструменты для измѣренія угловъ и по его предложенію царь Птолемей приказалъ устроить на крышѣ музея большія, прекрасныя армиллярныя сферы, т. е. шары, образованные кольцами, представлявшими важнѣйшіе круги на небѣ. Эратосѣенъ зналъ, что въ Сиенѣ былъ колодезь, дно котораго освѣщалось солнцемъ въ день лѣтняго солнцестоянія. Другими словами, солнце въ это время было для Сиены въ зенитѣ. Эратосѣенъ нашелъ, что въ то же время въ Александріи солнце стояло къ югу отъ линіи отвѣса на $\frac{1}{50}$ окружности, т. е. на $7^{\circ} 12'$; разстояніе же этихъ двухъ мѣстъ онъ опредѣлялъ въ 5000 стадій. Изъ этихъ данныхъ онъ вычислилъ величину земного шара.

Если начертить кругъ (рис. 17), представляющій окружность земли, которая проходитъ черезъ Сиену S и черезъ Александрію A , то солнце должно стоять отвѣсно надъ S , слѣдовательно, въ направленіи MSO . Отвѣсная линія въ Александріи есть MAP , а солнце стоитъ въ направленіи AO . Уголъ $OAP = v$ есть, слѣдовательно, $7^{\circ} 12'$. Но этотъ уголъ равенъ углу u , и потому разстояніе между Сиеной S и Александріей A равно $\frac{1}{50}$ окружности земли. Такъ какъ это разстояніе составляло 5000 стадій, то окружность земли равняется 50×5000 или 250 000 стадій. Хотя длина греческой стадіи неизвѣстна вполне точно, однако, можно сказать, что измѣреніе Эратосѣена было довольно точно. Результатъ его измѣренія былъ вѣроятно слишкомъ великъ. Окружность земли составляетъ 5400 географическихъ миль, слѣдовательно, ея поперечникъ имѣетъ 1719 миль, а радіусъ $859\frac{1}{2}$ миль.

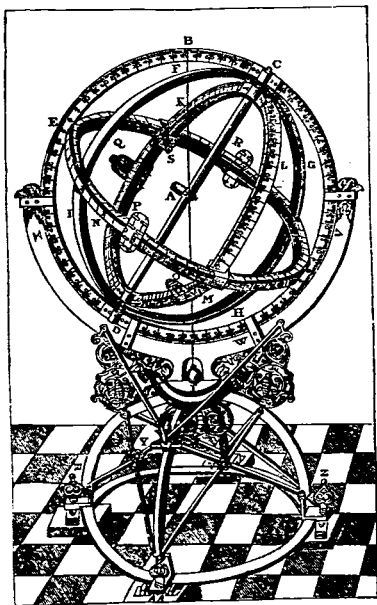
√ 29. Современникомъ Эратосѣена былъ Аристархъ, родившійся на островѣ Самосъ въ 267 г.

Уже Пифагорейцы говорили о движеніи земли вокругъ центрального огня, подъ

которымъ они вѣроятно разумѣли не солнце, а какой-то огонь далеко на югѣ, такъ какъ, чѣмъ дальше къ югу, тѣмъ становится теплѣе. Возможно, что позднѣе это ученіе развилось нѣсколько дальше, но повидимому Аристархъ всетаки первый высказалъ вполне ясно, что земля дѣлаетъ оборотъ вокругъ своей оси въ теченіе сутокъ и что она движется вокругъ солнца по наклонному кругу въ теченіе одного года.

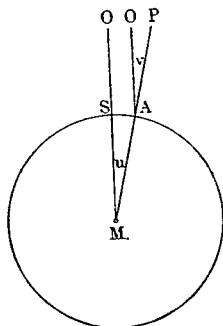
Мы знаемъ, какъ легко ошибиться, рѣшная, движется ли тотъ желѣзнодорожный поѣздъ, въ которомъ сидимъ мы, или движется въ противоположномъ направленіи другой

Рис. 16



Старинная армиллярная сфера.

Рис. 17



Измѣреніе величины земли.

поѣздъ, стоящій рядомъ съ нами; намъ поэтому легко понять, что по внѣшнему виду не будетъ разницы, будетъ ли двигаться небо въ одномъ направленіи или земля въ противоположномъ. Но въ поѣздѣ можно иногда наблюдать другія побочныя обстоятельства движенія, толчки вагона, переходъ отъ покоя къ движенію и наоборотъ. При вращеніи же земли нѣтъ никакихъ толчковъ и никакихъ измѣненій движенія.

Съ другой стороны, нужно, однако, замѣтить, что Аристархъ не далъ доказательства вращенія земли, хотя и считалъ болѣе вѣроятнымъ, что вращается маленькая земля, а огромное объемлющее ее небо находится въ покоѣ.

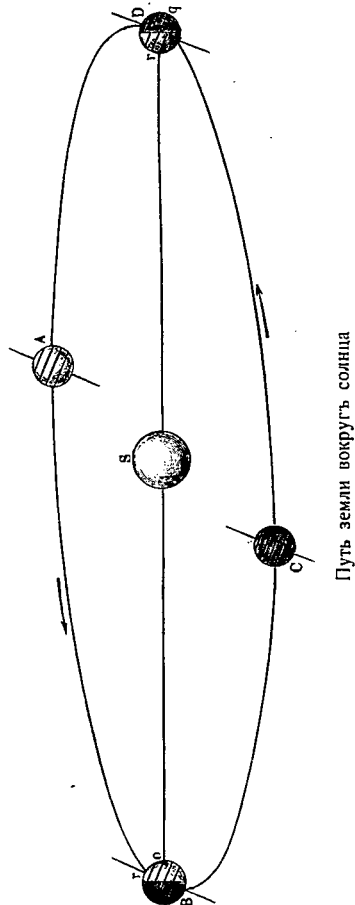
30. Другое утвержденіе Аристарха, а именно, что земля движется вокругъ солнца по наклонному кругу, вполне объясняетъ движеніе солнца по эклиптикѣ. На рис. 18 буквы *A, B, C, D* обозначаютъ, соответственно, положеніе земли весной, лѣтомъ, осенью и зимою. Если мы, дѣйствительно, движемся вокругъ солнца, то мы должны наблюдать его послѣдовательно въ различныхъ направленіяхъ, въ которыхъ видимъ созвѣздія зодиака, хотя солнце всегда остается на одномъ и томъ же мѣстѣ.

Легко также объяснить движеніе солнца къ сѣверу и къ югу отъ экватора. Во

время весенняго равноденствіи *A* солнце находится на небесномъ экваторѣ. Слѣдовательно, съ земли оно будетъ видимо на небѣ въ этомъ направленіи между звѣздами, которыя находятся на экваторѣ. Въ каждомъ мѣстѣ на землѣ солнце будетъ видимо въ теченіе полусутокъ. Во время лѣтняго солнцестоянія *B* солнце находится къ сѣверу отъ экватора. Его лучи падаютъ (въ полдень) отвѣсно на сѣверный тропикъ (тропикъ Рака, такъ какъ солнце въ это время находится въ этомъ созвѣздіи). Во всѣхъ мѣстахъ, лежащихъ внутри сѣвернаго полярнаго круга, солнце будетъ видимо круглыя сутки. Внутри южнаго полярнаго круга оно останется невидимымъ круглыя сутки. Во время осенняго равноденствія *C* солнце снова находится на экваторѣ и вездѣ день и ночь имѣютъ одинаковую продолжительность. Во время зимняго солнцестоянія солнце находится къ югу отъ экватора. Въ полдень оно находится въ зенитѣ для людей, живущихъ на южномъ тропикѣ (Козерога). Въ сѣверныхъ полярныхъ областяхъ солнце теперь совершенно невидимо, а въ южныхъ видимо круглыя сутки.

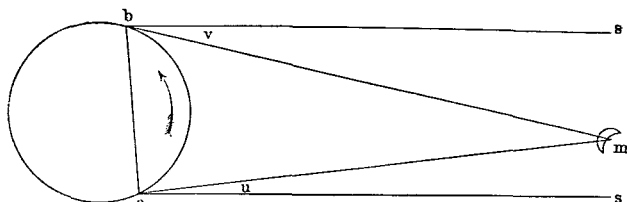
31. Противъ движенія земли вокругъ солнца можно было бы возразить, что такое движеніе должно производить значительныя смѣщенія неподвижныхъ звѣздъ неба, что, напримѣръ, созвѣздія должны были бы казаться больше, когда земля находится къ нимъ ближе или что Полярная звѣзда не должна оставаться неизмѣнно на продолженіи земной оси, но должна нѣсколько отступать въ ту сторону отъ него, на которой находится солнце. Это возраженіе, впрочемъ, приводилось противъ этой такъ называемой „Коперниковой системы“ даже еще и въ новыя времена и, однако, уже Аристархъ далъ ему правильное объясненіе, сказавъ, что весь путь земли вокругъ солнца такъ же малъ въ сравненіи съ небомъ неподвижныхъ звѣздъ, какъ центръ шара въ сравненіи съ шаромъ. Великій современникъ Аристарха Архимедъ (§ 116) критикуетъ, однако, это выраженіе, такъ какъ точка вообще не стоитъ ни въ какомъ отношеніи къ шару. Но какъ мѣтко было образное выраженіе Аристарха, доказываютъ напрасныя попытки двухъ тысячелѣтій измѣрить разстояніе неподвижныхъ звѣздъ.

Рис. 18



32. Аристархъ опредѣлилъ дальѣе и разстояніе луны и солнца. Онъ примѣнилъ здѣсь тотъ же способъ, при помощи котораго Фалесъ опредѣлялъ разстояніе корабля (§ 23). Однако здѣсь рѣшеніе представляетъ большія трудности. Даже луна уже такъ далека, что базиса (разстоянія наблюдателей другъ отъ друга) въ нѣсколько километровъ или въ нѣсколько миль недостаточно. При большемъ же разстояніи наблюдатели не могутъ видѣть другъ друга вслѣдствіе шарообразности земли и потому не могутъ визировать одинъ на другого. Кромѣ того далекаго путешествія въ то время были связаны съ гораздо большими затрудненіями, чѣмъ теперь. Поэтому Аристархъ, такъ сказать, соединилъ обоихъ наблюдателей въ своемъ собственномъ лицѣ. Онъ наблюдалъ сперва на томъ мѣстѣ, гдѣ находился въ какой-нибудь одинъ моментъ, а затѣмъ переходилъ, просто вслѣдствіе вращенія земли, въ ту точку пространства, въ которой во время его наблюденія находилась противоположная точка земной поверхности. Иными словами Аристархъ находится, въ то время какъ земля движется въ направленіи стрѣлки (рис. 19), сначала въ точкѣ a и наблюдаетъ восходящую луну. Но такъ какъ онъ не можетъ визировать на точку b , гдѣ онъ будетъ черезъ 12 часовъ, то онъ беретъ звѣзду въ направленіи s и измѣряетъ, сколько градусовъ отъ луны

Рис. 19



Измѣреніе разстоянія луны отъ земли.

m до этой звѣзды s , т. е. измѣряетъ уголь u . Когда, вслѣдствіе вращенія земли, онъ приходитъ въ точку b , то теперь луна для него заходитъ; онъ снова мѣряетъ разстояніе луны отъ этой звѣзды, т. е. уголь v . Такъ какъ звѣзду s можно считать бесконечно удаленной, то двѣ линіи as и bs параллельны. Значитъ, если известна длина базиса ab , то задачу легко рѣшить при помощи чертежа. Изъ a и b проводятъ параллельныя линіи, которыя представляютъ линіи зрѣнія на звѣзду и откладываютъ отъ этихъ линій измѣренные углы u и v . Такимъ образомъ получаютъ мѣсто, на которомъ находится луна, и ея разстояніе am можно измѣрить по сравненію съ базисомъ ab .

Въ дѣйствительности дѣло однако не совсѣмъ такъ просто, какъ могло бы показаться на основаніи сказаннаго. Прежде всего Аристархъ долженъ былъ изъ известной величины земли и положенія мѣста a получить разстояніе точекъ a и b . Къ этому надо прибавить, что луна не стоитъ въ теченіе этихъ 12 часовъ на мѣстѣ. Но такъ какъ Аристархъ зналъ, насколько перемѣщается къ востоку луна за однѣ сутки, то онъ могъ измѣнить направленіе послѣдней изъ двухъ линій зрѣнія, къ восходящей и заходящей лунѣ, соотвѣтственно происшедшему за этотъ промежутокъ перемѣщенію луны.

Этимъ путемъ Аристархъ нашель, что разстояніе луны отъ земли равно 56 радиусамъ земли. Это довольно близко подходитъ къ дѣйствительному.

33. Наконецъ, Аристархъ пытался измѣрить разстояніе солнца отъ земли. Это

еще труднѣе, такъ какъ солнце настолько далеко, что даже поперечникъ земли слишкомъ малъ для базиса. Аристархъ понялъ однако, что базисомъ можетъ служить разстояніе луны отъ земли: онъ представлялъ себѣ наблюдателя на лунѣ, который визируетъ на солнце и на землю, тогда какъ онъ самъ на землѣ визируетъ на солнце и на луну.

Именно, Аристархъ производилъ наблюденіе въ моменты четвертой луны, т. е. когда освѣщена какъ разъ половина той стороны луны, которая обращена къ землѣ. Наблюдатель на лунѣ, находящійся въ это мгновеніе по срединѣ этой стороны, имѣлъ бы тогда землю въ зенитѣ, а солнце въ горизонтѣ. Такимъ образомъ линіи зрѣнія этого наблюдателя на солнце и на землю должны составлять уголъ въ 90° . Измѣривъ же уголъ между своими двумя линіями зрѣнія (онъ нашелъ его равнымъ 87°), Аристархъ могъ начертить треугольникъ *MJS* (рис. 20) и найти изъ него разстояніе солнца. Онъ нашелъ, что солнце находится отъ насъ въ 19 разъ дальше луны.

Этотъ способъ, конечно, въ высокой степени остроуменъ, но онъ не легко можетъ дать точный результатъ. Солнце во столько разъ (400) дальше луны, что разстояніемъ луны отъ солнца, какъ базисомъ, можно пользоваться, только предположивъ, что измѣреніе угловъ выполнено чрезвычайно точно въ самый моментъ лунной четверти. Но граница между освѣщенной и неосвѣщенной частью луны такъ неправильна, что даже съ помощью телескопа нельзя точно опредѣлить этотъ моментъ. Ошибка можетъ достигать нѣсколькихъ часовъ.

✓ 34. Разъ извѣстны разстоянія луны и солнца отъ земли, то сравнительно легко найти величины этихъ небесныхъ тѣлъ. Если помѣстить небольшой круглый листъ на такомъ разстояніи отъ глаза, чтобы онъ какъ разъ покрывалъ луну, то очевидно, можно сказать, что поперечникъ луны во столько разъ больше поперечника этого диска, во сколько разъ разстояніе луны больше разстоянія диска. Такимъ образомъ величину луны легко вычислить при помощи пропорціи. По Аристарху поперечникъ луны составляетъ $\frac{19}{60}$ (почти $\frac{1}{3}$) земного поперечника. На самомъ же дѣлѣ этотъ поперечникъ лишь немного больше $\frac{1}{4}$ поперечника земли. Ошибка этой величины, слѣдовательно, больше его ошибки въ разстояніи; однако возможно, что это сводится къ простой опискѣ.

Такъ какъ разстояніе солнца у Аристарха получилось слишкомъ малое, то, естественно, для величины солнца онъ также нашелъ слишкомъ малое число.

✓ 35. Аристархъ былъ обвиненъ Клеанѳомъ въ безбожіи и долженъ былъ покинуть Афины. Своимъ утвержденіемъ, что земля движется, онъ будто бы нарушилъ покой богини земли Гестіи. Когда, спустя 1700 лѣтъ, Николай Коперникъ снова провозгласилъ это ученіе, противъ него снова были возбуждены религиозныя обвиненія и оно снова потребовало жертвъ, хотя на этотъ разъ и не было заглушено. Та истина, что земля есть шаръ, несущійся черезъ пространство, обозначала, слѣдовательно, не малый переворотъ во всемъ кругѣ представленій челоѣчества. Невольно возникаетъ вопросъ, не задержала ли участь Аристарха развитія этого ученія. Это очень мало вѣроятно, такъ какъ въ то время вѣра грековъ въ старыхъ боговъ

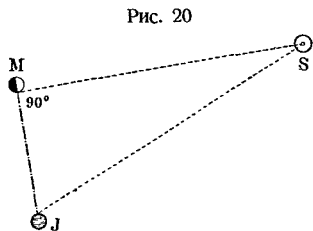


Рис. 20

Измѣреніе разстоянія солнца отъ земли.

не имѣла уже большой внутренней силы, но во всякомъ случаѣ остается неизмѣннымъ тотъ фактъ, что гениальныя мысли Аристарха были забыты и постепенно выгѣснены поверхностнымъ возрѣніемъ, что земля находится въ покоѣ, а все остальное движется вокругъ нея.

36. Въ слѣдующемъ за Аристархомъ столѣтіи появляется однако астрономъ, наблюдавшій, инструменты и работы котораго превзошли все, что было сдѣлано въ этомъ направленіи раньше. Этотъ астрономъ былъ Гиппархъ изъ Никей. Его дѣятельность падаетъ на 160—125 г. до Р. Х. Часть этого времени онъ проводитъ въ родномъ городѣ, часть на островѣ Родосѣ, принадлежавшемъ въ то время Египетскому царству, а часть, можетъ быть, также и въ столицѣ его, Александріи.

Гиппархъ вновь произвелъ опредѣленіе разстоянія луны и нашелъ, что оно въ среднемъ равно 59 радіусамъ земли, но что оно не всегда одинаково. Далѣе онъ нашеть, что луна не всегда движется съ одной и той же скоростью, но что она движется скорѣе всего тогда, когда бываетъ ближе всего къ землѣ. Поперечникъ луны онъ правильно опредѣлилъ въ $\frac{3}{11}$ поперечника земли.

Разстояніе солнца онъ старался опредѣлить по величинѣ земной тѣни на лунѣ во время лунныхъ затмений. Но такъ какъ эта тѣнь ограничена не рѣзко, то его опредѣленіе вышло не точнѣе Аристархова (солнце въ 20 разъ дальше луны).

37. Для того чтобы имѣть возможность точно визировать, Гиппархъ пользовался перекрестными нитями, а для устраненія мѣшающаго бокового свѣта онъ номѣщалъ послѣднія въ трубку, что такимъ образомъ получало извѣстное внѣшнее сходство съ нашими нынѣшними телескопами.

Употребительный до того способъ опредѣленія положенія свѣтилъ при помощи наблюдешій ихъ восхода и захода онъ отбросилъ, какъ неточный, и ввелъ измѣренія при помощи такъ называемыхъ меридіанныхъ инструментовъ. Такъ какъ мы не знаемъ въ точности, какими инструментами пользовался Гиппархъ, то на рис. 21 изображенъ болѣе современный меридіанный инструментъ¹⁾. Онъ и теперь еще остается весьма важнымъ инструментомъ для наблюдешій, подобныхъ тѣмъ, кашія производилъ Гиппархъ со своимъ. Труба этого инструмента установлена такъ, что можетъ двигаться вокругъ оси, поставленной точно въ направленіи съ востока на западъ. Слѣдовательно, она движется въ плоскости меридіана даннаго мѣста, т. е. въ вертикальной плоскости, направленной съ сѣвера на югъ.

38. Особенной благодарностью потомство обязано Гиппарху за тщательный каталогъ, содержащій положенія 1022 звѣздъ. Это есть старѣйшій и до временъ Тихо Браге точнѣйшій звѣздный каталогъ. Какъ вслѣдствіе своей древности, такъ и по своей точности онъ имѣетъ неоцѣнимое значеніе, такъ какъ даетъ намъ свѣдѣнія о томъ, какія положенія занимали звѣзды 2000 лѣтъ тому назадъ. Чрезвычайно замѣчательно, что Гиппарха навело на мысль составить каталогъ появившіе вновь вспыхнувшей звѣзды: онъ желалъ дать возможность въ будущемъ опредѣлять, появляются ли вообще новыя звѣзды. Совершенно такъ же и Тихо Браге побудило предпринять подобную работу именно появленіе новой звѣзды.

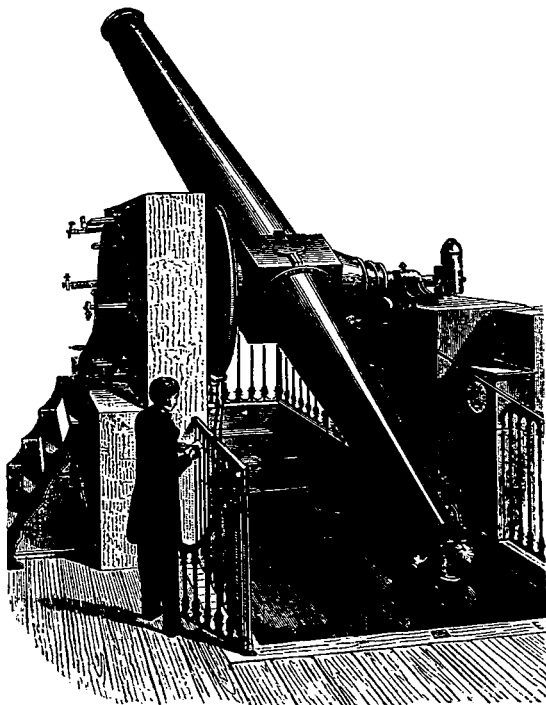
Опредѣливъ при помощи меридіаннаго инструмента высоту SH (рис. 22) звѣзды въ меридіанѣ, нужно только отнять отъ нея высоту AN экватора, для того что-

¹⁾ Первой половины XIX столѣтія. *Прим. пер.*

бы получить расстояние этой звезды от экватора AS' или такъ называемое склонение. Этимъ до нѣкоторой степени уже опредѣляется положеніе звезды. Именно, звезда должна находиться на кругѣ, расстояние котораго отъ полюса или отъ экватора намъ извѣстно. Но если нужно опредѣлить мѣсто звезды вполне, то въ то же время нужно указать, какъ далеко находится эта звезда къ востоку или къ западу отъ какой-нибудь опредѣленной звезды, выбранной за исходную точку.

Со времени Тихо Браге это послѣднее опредѣленіе дѣлается при помощи часовъ. Опредѣляютъ промежутокъ времени между прохожденіями черезъ меридіанъ той

Рис. 21



Меридіанный инструментъ середины XIX вѣка.

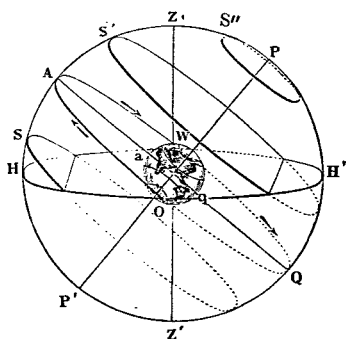
звѣзды, которую выбрали за исходную, и той, мѣсто которой опредѣляютъ. Если послѣдняя проходить черезъ меридіанъ, на примѣръ, однимъ часомъ позднѣе, то она находится восточнѣе первой настолько, насколько небо поворачивается въ одинъ часъ, т. е. на $\frac{1}{24}$ часть 360° или на 15° . Безразлично, брать ли эти 15° на кругахъ S, S', S'' или на экваторѣ. Обыкновенно этотъ „часовой уголъ“ представляютъ себѣ на экваторѣ. Итакъ, мѣсто звезды опредѣляется ея часовымъ угломъ и ея склоненіемъ. Но положенія звѣздъ въ каталогахъ опредѣляются не переменнымъ часовымъ угломъ, а обыкновенно ея угловымъ расстояніемъ отъ нѣкоторой постоянной точки, точки Овна или точки весенняго равноденствія, отсчитываемымъ по направленію къ востоку. Это угловое расстояние носить названіе прямого восхожденія.

Однако, Гиппархъ не могъ опредѣлять часовой уголь такимъ способомъ, такъ какъ опредѣленіе времени въ то время производилось слинкомъ неточно. Онъ долженъ былъ поэтому мѣрять разстояніе звѣзды непосредственно угловымъ измѣрительнымъ приборомъ (секстаномъ). Какого рода были его инструменты, мы не знаемъ, но его каталогъ позволяетъ думать, что они давали возможность дѣлать очень точныя измѣренія.

39. Положенія луны и планетъ Гиппархъ могъ всегда опредѣлять такимъ же образомъ. Высота свѣтила въ меридианѣ давала ему склоненіе, а измѣреніе углового разстоянія отъ какой-нибудь извѣстной звѣзды давало прямое восхожденіе.

Такимъ же образомъ можно было опредѣлять и полуденную высоту солнца. Но такъ какъ нельзя видѣть солнце одновременно съ неподвижными звѣздами, то

Рис 22



Опредѣленіе положенія звѣзды.

разстояніе солнца отъ какой-нибудь неподвижной звѣзды нельзя было опредѣлять непосредственно. Гиппархъ поэтому воспользовался, какъ связующимъ звеномъ, луною. Передъ заходомъ солнца онъ мѣрялъ разстояніе солнца отъ луны, а послѣ захода солнца разстояніе луны отъ какой-нибудь звѣзды. Если, на примѣръ, первое разстояніе составляло 35° , а послѣднее 17° , то разстояніе солнца отъ звѣзды было бы 52° , еслибы оба измѣренія производились въ одномъ направленіи и еслибы луна за этотъ промежутокъ времени не имѣла собственного движенія. Но такъ какъ послѣднее имѣло мѣсто при всякихъ обстоятельствахъ, то Гиппарху приходилось исправлять результаты такого измѣренія и онъ дѣлалъ это

исправленіе съ такою точностью, что открылъ неравномерность движенія солнца въ теченіе года. Это обстоятельство показало однако то, что солнце нельзя считать совершенно правильнымъ дѣлителемъ времени. Разсмотримъ это нѣсколько ближе.

40. Вращеніе звѣзднаго неба (т. е. земли) совершенно равномерно. Время такого оборота составляетъ звѣздныя сутки. Астрономическіе часы обыкновенно регулируются такъ, что показываютъ звѣздное время.

Такъ какъ солнце каждый день передвигается нѣсколько къ востоку, то промежутки времени между двумя послѣдовательными прохожденіями солнца черезъ меридианъ нѣсколько длиннѣе (приблизительно на 4 минуты) звѣздныхъ сутокъ; этотъ промежутокъ времени называется истинными солнечными сутками. Но такъ какъ солнце, какъ открылъ еще Гиппархъ, движется по эклиптикѣ не всегда съ одинаковой быстротою; то уже по одному этому длина солнечныхъ сутокъ съ теченіемъ года измѣняется. Къ этому присоединяется еще то, что путь солнца по эклиптикѣ не всегда направленъ какъ разъ на востокъ. Во время равноденствій путь солнца довольно сильно наклоненъ къ экватору, солнце сдвигается на востокъ меньше и солнечныя сутки становятся короче. Напротивъ, во время солнцестояній солнце движется почти параллельно экватору. Теперъ солнце въ своемъ движеніи на востокъ смѣ-

щается больше соответственно тому, насколько одинъ градусъ солнечнаго пути больше градуса той параллели, по которой въ этотъ моментъ идетъ солнце.

Однако, въ обыденной жизни сутки различной длины неудобны, такъ какъ часы должны имѣть равномерный ходъ. Поэтому установили еще третій родъ сутокъ—среднія солнечныя сутки. Если представить себѣ солнце, которое равномерно движется по экватору, дѣлая одинъ оборотъ въ годъ, то среднія солнечныя сутки будутъ равны времени между двумя послѣдовательными прохожденіями черезъ меридіанъ этого солнца. Наши часы идутъ по такому воображаемому солнцу. Слѣдовательно, они не всегда показываютъ 12, когда истинное солнце находится въ меридіанѣ (на югѣ). Календари содержатъ табличку, которая указываетъ для различныхъ временъ года то время по часамъ, когда солнце стоитъ какъ разъ на югѣ (отступленіе отъ 12 часовъ носить названіе уравненія времени). Гражданскій полдень вслѣдствіе этого обыкновенно бываетъ не совсѣмъ по срединѣ между восходомъ и заходомъ солнца. Взглядъ въ календарь покажетъ, что дополуночное время и послѣполуночное имѣютъ различную продолжительность. Передъ новымъ годомъ, напримѣръ, короче послѣполуночное время, а послѣ новаго года дополуночное время.

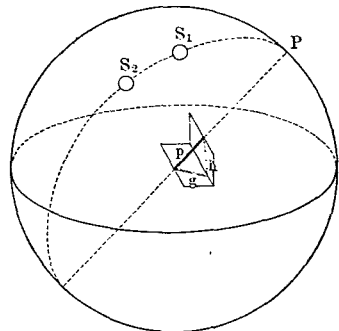
41. Древніе пользовались солнечными часами (по гречески гномонъ), на которыхъ по линіи тѣни стержня можно видѣть, который часъ. Повидимому, вначалѣ для полученія тѣни пользовались вертикальнымъ стержнемъ. Нѣкоторые предполагаютъ, что для этой цѣли служили и египетскіе обелиски. Во многихъ мѣстахъ пользовались вѣроятно длиною тѣни, въ другихъ, наоборотъ, ея направленіемъ. Но и въ томъ и въ другомъ случаѣ солнечныя часы, правильныя въ одно время года, не будутъ вѣрны въ другое.

Для того, чтобы солнечныя часы были вѣрны для всякаго времени года, стержень, отбрасывающій тѣнь, долженъ быть направленъ къ сѣверному полюсу неба. Тогда въ любое время (напримѣръ, въ 2 часа пополудни) солнце будетъ находиться на соответствующемъ кругѣ склоненій PS_1S_2 (рис. 23) и стержень будетъ составлять часть діаметра этого круга. Слѣдовательно, тѣнь стержня p будетъ падать въ плоскости названнаго круга и будетъ находиться тамъ, гдѣ плоскость S_2S_1Pp пересѣкаетъ плоскость солнечныхъ часовъ, безразлично, будетъ ли послѣдняя находиться въ горизонтальномъ (g), вертикальномъ (h) или въ какомъ-нибудь иномъ положеніи. Тѣнь будетъ получаться всегда на одномъ и томъ же мѣстѣ, будетъ ли находиться солнце въ S_1 или въ S_2 , значитъ, во всякое время года, какъ скоро солнце будетъ стоять на кругѣ склоненій, соответствующемъ данному времени (2 часа пополудни).

42. Далѣ Гиппархъ опредѣлилъ съ необыкновенной точностью длину года и это повело его къ дальнѣйшимъ открытіямъ.

До Гиппарха для опредѣленія длины года отсчитывали число дней, начиная съ того дня, въ который солнце лѣтомъ достигаетъ наибольшей высоты, и до того дня,

Рис. 23



Устройство солнечныхъ часовъ.

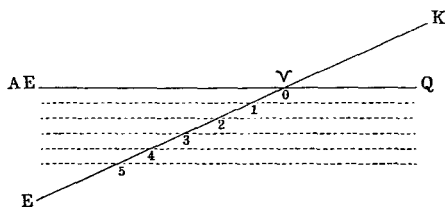
когда оно снова приходитъ въ это положеніе. Но та часть эклиптики, на которой солнце бываетъ во время солнцестояній, приблизительно параллельна экватору. Вслѣдствіе этого солнце около этого времени въ теченіе нѣсколькихъ дней подрядъ бываетъ въ полдень почти на одной и той же высотѣ. Разница была такъ незамѣтна для инструментовъ того времени, что изъ наблюдений одного только года нельзя было даже рѣшить, въ какой именно день солнце достигаетъ самой сѣверной точки своего пути. Еще труднѣе было опредѣлить тотъ часъ, въ который солнце занимаетъ это положеніе. Если народы древности, несмотря на это, знали длину года довольно хорошо, то это объясняется тѣмъ, что у нихъ были многолѣтнія наблюденія. Если за одинъ годъ можно ошибиться на нѣсколько дней, то эта ошибка не будетъ очень велика, когда распределится на болѣе длинный рядъ годовъ.

Гиппархъ понялъ, что время равноденствій значительно удобнѣе для опредѣленія длины года. Во время весенняго равноденствія, напримѣръ, солнце проходитъ то мѣсто, гдѣ эклиптика пересѣкаетъ экваторъ, и за сутки очень замѣтно перемѣщается по направленію къ сѣверу. Если 21 марта солнце находится въ полдень на $7'$ къ югу отъ экватора, то на слѣдующій день въ полдень оно будетъ на $17'$ къ сѣверу. Эту разницу въ $24'$ легко замѣтить и измѣрить при помощи меридіаннаго инструмента. Это наблюденіе не только указываетъ, что равноденствіе пришлось на 21, а не на 22 марта, но и то, что солнце прошло экваторъ въ 7 часовъ вечера 21 марта, такъ какъ оно смѣщается къ сѣверу приблизительно на $1'$ въ часъ.

Въ ближайшіи и слѣдующіе годы прохожденіе солнца черезъ точку весенняго равноденствія можно опредѣлить съ той же точностью и, чѣмъ больше будетъ число наблюдений, тѣмъ ничтожнѣе будетъ ошибка. Такимъ образомъ Гиппархъ нашель, что длина года равна $365^{\circ} 5' 55''$ — только на 6 минутъ больше дѣйствительнаго.

43. Но Гиппархъ не удовольствовался опредѣленіемъ того момента, въ который солнце пересѣкаетъ экваторъ; онъ постарался опредѣлить также положеніе между неподвижными звѣздами того мѣста, гдѣ это происходитъ. Вѣроятно, онъ нашель какую-нибудь неточность или измѣнчивость этой точки пересѣченія, такъ какъ при этой работѣ онъ воспользовался также опредѣленіями предшествовавшихъ астрономовъ; эти опредѣленія были, правда, менѣе точны, но за то ихъ бѣлая древность могла дать возможность судить о ходѣ явленія за болѣе долгое время.

Рис. 24



Смѣщеніе точки весенняго равноденствія.

При этомъ ему удалось сдѣлать замѣчательное открытіе, а именно, что экваторъ пересѣкаетъ эклиптику каждый годъ не въ той точкѣ, гдѣ это происходило въ предыдущемъ году, а въ нѣсколько иномъ мѣстѣ. Если EK (рис. 24) есть эклиптика, а AE экваторъ, то при своемъ перемѣщеніи отъ E къ K солнце въ одномъ году пересѣкаетъ экваторъ, напримѣръ, въ точкѣ O . Въ слѣдующемъ году экваторъ немного подойдетъ на встрѣчу солнцу и солнце пересѣчетъ экваторъ въ точкѣ 1 , въ слѣдующемъ году въ точкѣ 2 и т. д. Такимъ образомъ точка весенняго равноденствія постоянно смѣщается по эклиптикѣ въ направленіи къ югозападу. Это смѣщеніе очень невелико,

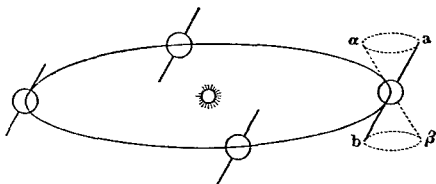
такъ какъ точкѣ весенняго равноденствія нужно 26000 лѣтъ для совершенія полнаго оборота по эклиптикѣ. Тѣмъ больше заслуга Гиппарха, открывшаго это медленное, но важное явленіе, называемое предвареніемъ равноденствій или прецессіей.

Тропическій годъ, опредѣленный Гиппархомъ, представляетъ собою, слѣдовательно, время, въ теченіе котораго солнце совершаетъ какъ разъ одинъ оборотъ отъ точки 0 до точки 1. Для того чтобы дойти снова до точки 0, т. е. до первоначальнаго положенія относительно звѣздъ, солнцу нужно только немного больше времени. Для этого періода, звѣзднаго года, Гиппархъ нашель 365² 6^ч 14^м (больше истиннаго только на 4 минуты).

44. Гиппархъ занимался исключительно наблюденіями и измѣреніями. Онъ не пускался въ теоретическія объясненія и Птолемей (§ 55) говоритъ о немъ, что онъ не хотѣлъ дать теоріи планетныхъ движеній, чтобы не омрачить своей славы. Во всякомъ случаѣ это указываетъ на то, что Гиппархъ хорошо сознавалъ, какая важная роль принадлежитъ фактамъ. Но послѣ открытія прецессіи объясненія Аристарха относительно движенія земли потребовали нѣкоторыхъ измѣненій.

Такъ какъ эклиптика не мѣняется, то плоскость земнаго пути должна оставаться неизмѣнной¹⁾. На рис. 25 горизонтальный эллипсъ представляетъ путь земли,

Рис. 25



Движеніе земной оси въ теченіе 26000 лѣтъ

а ab и параллельныя ей линіи — земную ось. Тогда какъ, согласно взгляду Аристарха, земная ось должна быть всегда одинаково наклонена къ пути земли, мы видимъ теперь, что земная ось не остается всегда параллельной самой себѣ, но что съ теченіемъ тысячелѣтій она принимаетъ другія направленія, такъ что полюсь неба описываетъ

кругъ около полюса эклиптики. Мы можемъ наблюдать это явленіе въ малыхъ размѣрахъ на волчкѣ, который вращается вокругъ своей оси, описывающей въ то же время конусъ.

Если теперь земная ось имѣетъ направленіе ab , то спустя 13 000 лѣтъ она будетъ имѣть направленіе $\alpha\beta$. Тогда во время лѣта солнце будетъ на томъ мѣстѣ зодіака, гдѣ теперь оно бываетъ зимою. Наклонъ оси также не остается неизмѣннымъ, такъ какъ ось не движется точно по кругу. Въ настоящее время наклонъ оси убываетъ на 50" въ столѣтіе.

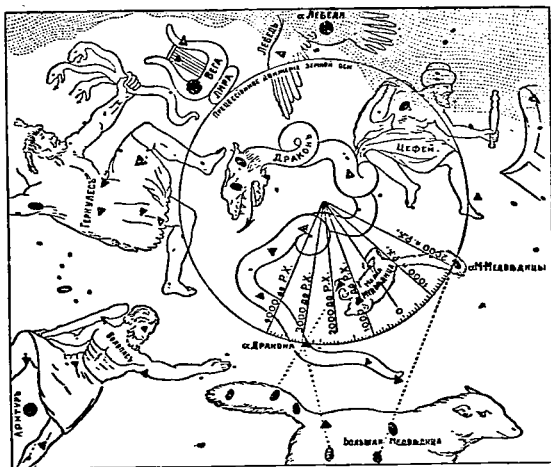
Такимъ образомъ земная ось съ теченіемъ тысячелѣтій послѣдовательно направляется на все новыя и новыя звѣзды, и полюсь міра вслѣдствіе этого описываетъ между звѣздами кругъ (рис. 26). Нынѣшняя Полярная звѣзда съ теченіемъ времени

¹⁾ Вслѣдствіе этого Гиппархъ относилъ положеніе звѣзды не къ экватору, какъ это обыкновенно дѣлалось раньше, а къ эклиптикѣ. Такъ какъ положеніе экватора измѣняется, то измѣняется и положеніе звѣзды относительно него, т. е. ея склоненіе и прямое восхожденіе. Расстояніе звѣзды отъ эклиптики называется ея широтой, разстояніе точки, въ которой кругъ широты пересѣкается съ эклиптикою, отъ точки весенняго равноденствія называется долготой. Первая неизмѣнна, послѣдняя мѣняется, но по очень простому закону, равномѣрно.

будеть замѣнена другими звѣздами, теперь еще далекими отъ полюса. Спустя 10000 лѣтъ полярной звѣздой будетъ Вега.

45. Изъ древнихъ грековъ Анаксимандръ (611—545 гг. до Р. Х.), наследникъ Θαλεса въ качествѣ вождя Іонійской школы, первый пытался чертить ландкарты на мѣдныхъ доскахъ. А если эту работу выполнять сколько-нибудь точно и притомъ для довольно значительной части земного шара, то безъ астрономическихъ наблюдений обойтись нельзя. Нѣкоторыя свѣдѣнія въ этомъ отношеніи, напримѣръ, то, что Полярная звѣзда стоитъ на небѣ тѣмъ выше, чѣмъ дальше къ сѣверу, были извѣстны

Рис. 26



Перемѣщеніе сѣвернаго полюса.

еще до Гиппарха. Точно такъ же со времени Аристарха во всякомъ случаѣ понимали, что два мѣста, удаленныя другъ отъ друга въ направленіи съ востока на западъ, имѣютъ полдень не въ одно и то же время. Но Гиппархъ, повидимому, первый опредѣлялъ положеніе мѣста на землѣ при помощи астрономическихъ наблюденій.

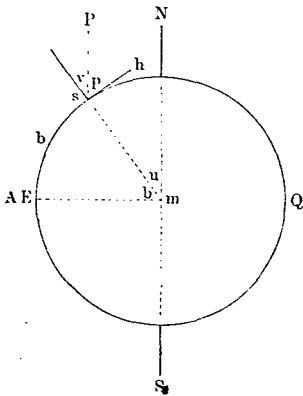
Само собою разумѣется, Гиппархъ ясно сознавалъ, что извѣстныя въ его время страны занимали только небольшую часть всей земной поверхности. Опредѣляя окружность земли въ 275 000 стадій, онъ оцѣниваетъ наибольшее протяженіе извѣстныхъ ему обитаемыхъ странъ въ 70 000, а ширину отъ экватора до Фуле въ 46 200 стадій. Введенный имъ способъ обозначенія положенія мѣста состоялъ въ томъ, что онъ давалъ его разстояніе отъ экватора и разстояніе отъ извѣстнаго пункта къ востоку или западу. Первое разстояніе онъ называлъ широтою, послѣднее долготою. Извѣстная въ то время часть земной поверхности имѣла наибольшее протяженіе въ направленіи съ востока на западъ, по долготѣ.

46. Опредѣленіе географической широты какого-нибудь мѣста состоитъ въ измѣреніи въ этомъ мѣстѣ высоты полюса надъ горизонтомъ; какъ легко видѣть, послѣдняя въ точности равна угловому разстоянію этого мѣста отъ экватора.

На рис. 27 кругъ представляетъ землю, NS ея ось и AEQ экваторъ. Для мѣста s линия sP есть направлѣніе полюса міра, sb горизонтъ и ms вертикальная линия. Эта послѣдняя линия образуетъ равные углы съ параллельными прямыми sP и mN . Поэтому углы v и u , а, слѣдовательно, и углы p (высота полюса) и b (широта) равны между собой.

Еслибы Полярная звѣзда находилась какъ разъ въ самомъ полюсѣ, то въ путешествіи достаточно было бы измѣрять только ея высоту, —это давало бы въ точности широту мѣста. Морякъ, для котораго опредѣленіе широты имѣетъ огромную

Рис. 27



Равенство высоты полюса и географической широты.

важность, часто пользуется для этого также солнцемъ. Послѣднее около полудня движется параллельно горизонту. Поэтому нѣтъ необходимости измѣрять высоту солнца именно въ тотъ моментъ, когда оно находится какъ разъ на югѣ. На морѣ, гдѣ ничѣмъ нельзя отмѣтить полуденной линіи, было бы трудно опредѣлить этотъ моментъ. Если извѣстна высота солнца, то изъ морского календаря берутъ разстояніе солнца отъ полюса для соответственнаго дня и складываютъ эти два угла. Высота полюса въ данномъ мѣстѣ получится, если найденную сумму отнять отъ 180° (рис. 2).

47. Но особенно труднымъ для древнихъ было опредѣленіе долготы. Мѣста, лежащія въ направленіи къ сѣверу или къ югу другъ отъ друга, имѣютъ полдень, очевидно, въ одно время. Линія отъ полюса до полюса, проходящая черезъ эти мѣста, называется полуденной линіей или меридіаномъ. Напротивъ того, на различныхъ меридіанахъ полдень бываетъ въ различное время и эта разница во времени зависитъ отъ разстоянія между меридіанами. Такъ какъ земля совершаетъ полный оборотъ въ 24 часа, то въ часть она поворачивается на 15° , въ 4 минуты на 1° . На каждый градусъ отдаленія меридіана къ западу часы отстаютъ, слѣдовательно, на 4 минуты.

Если извѣстна разница временъ двухъ мѣстъ, то можно вычислить, насколько градусовъ одно лежитъ западнѣе другого. Поэтому съ точными часами (хронометръ), показывающими правильное время въ данномъ мѣстѣ, можно ѣхать въ другое мѣсто и изъ разницы временъ этихъ двухъ мѣстъ вычислить разность ихъ долготы. Но въ древности не было точныхъ часовъ, не было, конечно, и телеграфовъ, при помощи которыхъ теперь можно въ одно мгновеніе передать въ любое мѣсто, который часъ теперь въ другомъ мѣстѣ.

У Гиппарха явилась остроумная мысль воспользоваться, въ видѣ міровыхъ часовъ, луною во время луннаго затмѣнія. Въ Римѣ и въ Александріи начало затмѣнія происходитъ въ одно и то же время. Если опредѣлить при помощи астрономическихъ наблюдѣній это время въ обоихъ мѣстахъ, то оказывается, что затмѣніе въ Александріи, напримѣръ, наблюдалось въ 10 часовъ, а въ Римѣ въ 8 час. 52 мин. Отсюда слѣдуетъ, что Римъ лежитъ на 17° западнѣе Александріи.

Въ новѣйшее время, согласно предложенію Людовика XIII въ 1634 году,

меридіаны считаютъ отъ Ферро, самаго южнаго изъ Канарскихъ острововъ. На морскихъ картахъ исходнымъ пунктомъ является обыкновенно Гриничская¹⁾ обсерваторія и морскіе хронометры идутъ по Гриничскому времени. Французы считаютъ меридіаны отъ Парижа²⁾.

Въ большинствѣ культурныхъ государствъ въ настоящее время по международному соглашенію счетъ времени ведутъ по такъ называемому универсальному времени. Всѣ мѣста, лежащая между двумя меридіанами, удаленными одинъ отъ другого на 15° , имѣютъ одно и то же время, именно время средняго меридіана соотвѣтствующаго пояса (Standard time). Поясъ, въ которомъ лежатъ Германія, Данія, Швеція, Австрія и т. д., простирается отъ $7^{\circ} 30'$ до $22^{\circ} 30'$ восточной долготы (отъ Гринича). Время средняго, слѣдовательно, 15° -аго меридіана отличается отъ Гриничскаго времени (отъ $7^{\circ} 30'$ къ востоку до $7^{\circ} 30'$ къ западу отъ Гринича) на 1 часъ. Этотъ счетъ времени (средне-европейское время) былъ введенъ въ Германіи 1 апрѣля 1893 года.

Линію, идущую отъ Берингова пролива черезъ Тихій океанъ, выбрали за лишію даты мѣсяца. Къ западу отъ этой линіи число мѣсяца на единицу больше, чѣмъ къ востоку отъ нея.

48 Гиппарху принадлежатъ также большія заслуги въ рѣшеніи трудной задачи черченія картъ, когда приходится имѣть дѣло съ большой частью земной поверхности.

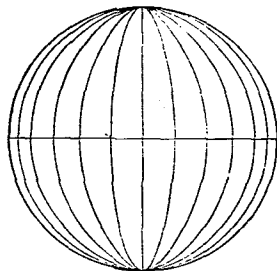
Менѣе значительныя части земной поверхности можно принимать за плоскія и, слѣдовательно, ихъ можно изображать на плоскости. Но болѣе значительную часть земной поверхности нельзя нарисовать на плоскости безъ особыхъ условій. Еслибы даже часть шаровой поверхности была тонка и гибка, какъ бумага, то и тогда ее нельзя было бы разложить на плоскости. Она дастъ либо складки по срединѣ, либо разрывы на краяхъ.

Если разсматривать (рис. 29) сѣверное полушаріе неба $aePq$ не изъ центра M , а изъ южнаго полюса неба S и вообразить себѣ плоскость, касательную къ небесной сферѣ въ сѣверномъ полюсѣ P , то прямая линія отъ S къ звѣздѣ α пересѣчетъ касательную плоскость въ точкѣ a , въ которой, слѣдовательно, и должна быть изображена звѣзда. И если глазъ находится какъ разъ въ точкѣ S , то впечатлѣніе у него будетъ одинаково, будетъ ли звѣзда находиться въ точкѣ α или въ точкѣ a .

Этотъ способъ проекціи, которымъ пользовался Гиппархъ и который изобрѣтенъ, вѣроятно, еще болѣе древними математиками, есть такъ называемая стереографическая проекція. Она, конечно, имѣетъ свои недостатки, какъ вообще всякій способъ рѣшенія невозможной самой по себѣ задачи—нарисовать шаровую поверхность на плоскости. Напримѣръ, кругъ AEQ получаетъ въ ней вдвое большій діаметръ, чѣмъ aeq , тогда какъ тѣ части, которыя лежатъ вблизи P , увеличиваются незначительно.

Этотъ способъ особенно удобенъ, когда приходится изображать большую часть

Рис. 28



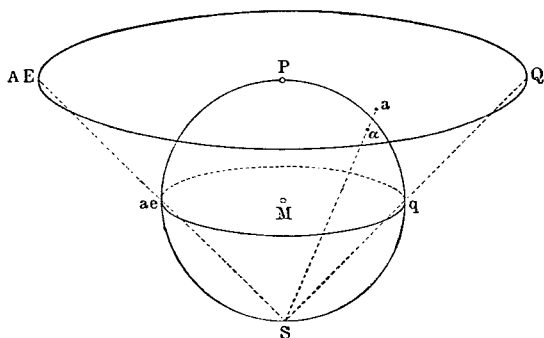
Земной шаръ съ 24 меридіанами.

¹⁾ $17^{\circ} 39' 46''$ къ востоку отъ Ферро.

²⁾ $20^{\circ} 30'$ къ востоку отъ Ферро.

шара. Эта часть может даже превышать половину шара, но конечно въ этомъ случаѣ увеличеніе на краяхъ будетъ еще больше (ср. карту къ § 2). Этимъ способомъ проекціи пользуются также для изображенія восточнаго и западнаго (или сѣвернаго и южнаго) полушарій земли.

Рис. 29

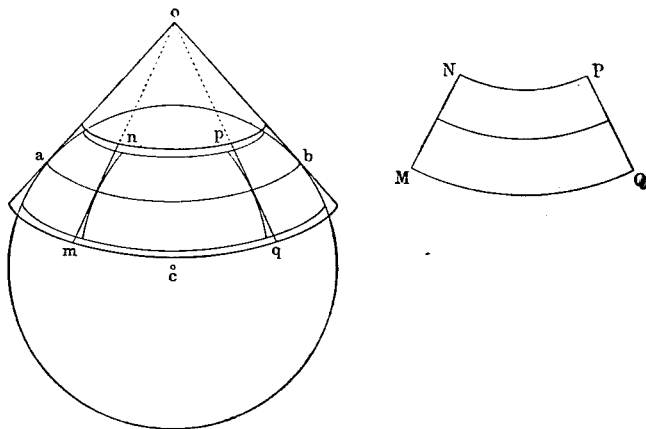


Стереографическая проекція шаровой поверхности.

49 Другой способъ проекціи, такъ называемая коническая проекція, былъ введенъ Птолемеемъ. Но онъ годится только для изображенія небольшихъ частей земной поверхности.

Пусть ab (рис. 30) будетъ параллельный кругъ, проходящій черезъ средину той области, которую нужно изобразить. Вообразимъ себѣ конусъ, который имѣлъ бы

Рис. 30

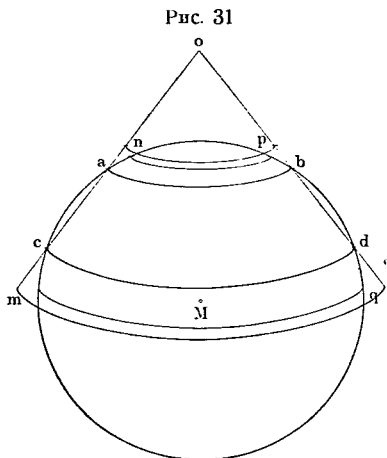


Коническая проекція.

вершину на земной оси и касался бы шара по кругу ab . Затѣмъ вообразимъ себѣ точки шаровой поверхности перенесенными на коническую поверхность по прямымъ

линіямъ, идущимъ отъ центра c ; тогда глазъ въ c получить отъ этой зоны конуса то же впечатлѣніе, что и отъ шаровой зоны. Затѣмъ разрѣжемъ конусъ вдоль mn и развернемъ его на плоскости, что всегда возможно выполнить. Теперь мы получаемъ плоскую карту, на которой меридіаны изображены въ видѣ прямыхъ линий, сходящихся въ одной точкѣ на сѣверѣ, а параллельные круги въ видѣ дугъ круговъ съ центрами въ этой точкѣ. Области около ab сохраняютъ свою естественную величину, а области къ сѣверу и къ югу отъ ab получаютъ нѣсколько увеличенными.

50. Послѣдній изъ названныхъ способовъ былъ значительно улучшенъ Гергардомъ Кремеромъ, прозваннымъ Меркаторомъ (род. въ 1512 г. во Фландріи, ум. въ 1594 г. въ Дуйсбургѣ). На той части земной поверхности, которую нужно изобразить, выбираются два параллельныхъ круга ab и cd (рис. 31); черезъ нихъ проводится конусъ. Та часть земной поверхности, которая лежитъ между этими двумя кругами, будетъ лежать внѣ конуса, остальная часть внутри его. Поэтому первая часть при переносѣ на коническую поверхность уменьшится, а послѣдняя увеличится, тогда какъ оба параллельные круга сохраняютъ свою естественную величину.



Улучшенная коническая проекція.

Если затѣмъ мы разрѣжемъ и развернемъ карту на плоскости, то меридіаны будутъ на ней прямыми линиями, а круги широтъ—дугами окружностей.

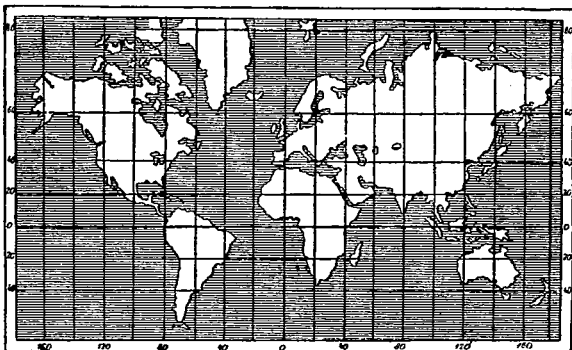
Въ XVIII столѣтіи въ этотъ способъ ввели измѣненіе въ томъ отношеніи, что на параллельныхъ кругахъ наносили дѣйствительныя длины; отъ этого самыя верхіе и самыя нижіе параллельные

круги дѣлались короче, чѣмъ при первоначальномъ способѣ. Меридіаны теперь уже не оставались прямыми линіями, а изгибались, сходясь вверху и внизу ближе, чѣмъ должны были бы сходиться прямая линіи.

51. Изъ многихъ прѣмовъ, вошедшихъ въ употребленіе сверхъ указанныхъ, нужно особенно подчеркнуть Меркаторскую проекцію, которой мы обязаны также Г. Кремеру. На экваторѣ градусъ долготы очевидно имѣетъ ту же длину, какъ и градусъ широты. Отъ экватора къ полюсу градусъ широты остается однимъ и тѣмъ же, а градусъ долготы становится короче. Разность долготы Христіаніи и Петербурга составляетъ, напримѣръ, 20° , расстояние же между ними только 150 миль, тогда какъ на экваторѣ 20° составляютъ 300 миль. Если начертить экваторъ въ видѣ прямой линіи и въ видѣ прямыхъ же линій начертить меридіаны перпендикулярно къ экватору, то разстояніе между Христіаніей и Петербургомъ будетъ представлено линіей такой же длины, какъ линія одинаковаго числа градусовъ долготы на экваторѣ. Такимъ образомъ разстояніе это было бы вдвое больше, чѣмъ оно должно быть, и страны въ этихъ частяхъ карты должны были бы совершенно искажаться, если не увеличить градусы широты въ томъ же отношеніи, въ какомъ увеличились градусы

долготы. Это и дѣлается Меркаторской проекціей, вслѣдствіе чего формы передаются въ ней правильно. Само собою разумѣется, что отдѣльныя части земной поверхности въ этой проекціи выходятъ тѣмъ больше, чѣмъ дальше онѣ отъ экватора. Но такъ какъ формы въ каждомъ отдѣльномъ мѣстѣ остаются правильными и такъ какъ линіи (берега, небесныя направленія) всюду идутъ правильно, то этотъ способъ проекціи очень удобенъ именно для морскихъ картъ, такъ какъ для нихъ весьма важно, чтобы каждый предметъ, напримѣръ, огонь маяка, былъ представленъ въ томъ направленіи, въ какомъ онъ дѣйствительно находится. Равнымъ образомъ эта проекція

Рис. 32



Поверхность земли въ Меркаторской проекціи.

очень удобна для изображенія всей поверхности земли (за исключеніемъ полярныхъ областей). Для сравненія размѣровъ различныхъ областей (Гренландія и Африка) такая карта конечно совершенно непригодна.

52. Послѣ Гиппарха астрономія стала падать, хотя временами и появлялись еще отдѣльные значительные ученые.

На томъ же Родосѣ работалъ въ I столѣтіи до Р. X. астрономъ Посидоній, род. въ Апомеѣ (Сирія) около 103 г. до Р. X. Нѣкоторое время онъ, повидимому, жилъ въ Римѣ и былъ въ дружбѣ съ Помпеемъ, котораго онъ принималъ раньше на Родосѣ, а также съ Цицерономъ, который излагаетъ астрономическія свѣдѣнія, вѣроятно, на основаніи того, что онъ зналъ отъ Посидонія.

Посидоній произвелъ нѣсколько тонкихъ измѣреній и долженъ былъ обладать хорошими инструментами (можетъ быть, инструментами Гиппарха). Его опредѣленіе окружности земли по измѣреніямъ мериданной высоты одной звѣзды на Родосѣ и въ Александріи безупречны (180 000 стадій). Для разстоянія луны онъ очень правильно нашель 2 000 000 стадій (§ 32), а для разстоянія солнца 12—13 милліоновъ миль. Дѣйствительное разстояніе послѣдняго составляетъ около 20 милліоновъ миль. Но въ сравненіи съ болѣе ранними измѣреніями это превосходно. Къ сожалѣнію, мы не знаемъ, какимъ путемъ Посидоній пришелъ къ этому результату. Не исключена такимъ образомъ возможность, что точность полученной имъ величины была случайная или что число его было измѣнено вслѣдствіе ошибки при списываніи,

Достоверно то, что Посидонію было извѣстно, какъ незначительна земля въ сравненіи съ солнцемъ. Онъ думалъ, что съ солнца она должна казаться точкой, а съ неподвижныхъ звѣздъ должна быть вовсе невидима, будь она даже самосвѣтящаяся.

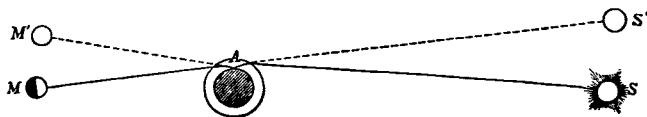
Странное впечатлѣніе, на ряду съ этими правильными свѣдѣніями, производить мнѣніе Посидонія, что земля, хотя и представляетъ собою шаръ, но неподвижна. Она покоится въ центрѣ, а все остальное движется. Это мнѣніе представляетъ собою шагъ назадъ. Но мы находимъ у него также и нѣсколько новыхъ наблюдений, напри- мѣръ, что приливы и отливы производятся луною, потому что они бываютъ сильнѣе всего во время полнолуній и новолуній. Такъ какъ послѣднее наблюдение невозможно произвести на берегахъ Средиземнаго моря, то объ этомъ явленіи Посидоній дол- женъ былъ узнать гдѣ-то въ другомъ мѣстѣ.

Равнымъ образомъ Посидоній замѣтилъ, что солнце и луна вблизи горизонта кажутся больше, тогда какъ угловое измѣреніе показываетъ, что ихъ величина не мѣняется. Это относится, впрочемъ, также къ созвѣздіямъ, напри- мѣръ, къ Большой Медвѣдицѣ, которая кажется гораздо меньше, когда стоитъ высоко. Причина этого лежитъ въ томъ, что небесный сводъ кажется намъ не правильнымъ полуша- ромъ, а сплюснутымъ, такъ что часть, находящаяся отвѣсно надъ нами, ближе къ намъ, чѣмъ части у горизонта; а изъ двухъ предметовъ, которые видны намъ подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, мы считаемъ болѣе большимъ тотъ, который почему-либо счита- емъ болѣе далекимъ.

53. Въ I столѣтіи по Р. X. жилъ Клеомедъ, передавшій большую часть того, что намъ извѣстно о Посидоніи. Самъ онъ также пытался объяснить одно замѣ- чательное явленіе.

Клеомедъ пишетъ, что онъ сначала не хотѣлъ вѣрить, чтобы можно было ви- дѣть на небѣ затмившуюся полную луну раньше захода солнца. Клеомедъ зналъ, конечно, что лунное затменіе (рис. 33) наступаетъ, когда солнце, земля и луна ле- жатъ на одной прямой линіи. Между тѣмъ, если на небѣ одновременно видны и

Рис. 33



Лунное затменіе вблизи горизонта.

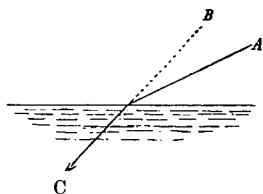
солнце и луна, то соединяющая ихъ прямая должна проходить выше насъ и земля не можетъ находиться по срединѣ между ними.

Убѣдившись, однако, въ томъ, что такое явленіе дѣйствительно наблюдалось, Клеомедъ сталъ искать для него объясненія. „Не плавало ли надъ землею какое-нибудь высокое облако, бросающее свою тѣнь на луну?“ Это было невѣроятно, такъ какъ согласно Посидонію воздухъ имѣетъ только 9 миль высоты. Или „не было ли это не настоящее солнце, а какое-то ложное?“ Или наконецъ „не идуть ли, можетъ быть, лучи свѣта въ болѣе глубокихъ слояхъ воздуха не по прямой линіи?“

Можетъ быть, это обстоятельство и заставило Клеомеда особенно заняться изу-

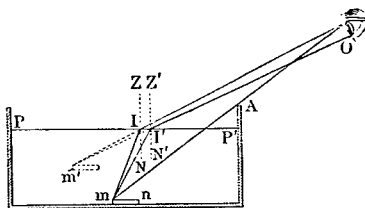
чеишемъ свѣта, о которомъ онъ много писалъ. Такъ, онъ говоритъ, что свѣтовой лучъ, входя въ болѣе плотную среду, напримѣръ, въ воду, по косому направленію, уклоняется въ этой средѣ ближе къ отвѣсному направленію, тогда какъ при обратномъ переходѣ онъ уклоняется наружу. Лучъ, идущій отъ *A* (рис. 34), въ водѣ идетъ по направленію къ *C*, и тѣмъ же путемъ лучъ идетъ изъ *C* въ *A*. Поэтому можно, продолжаятъ Клеомедъ, стать такъ, что глазъ (рис. 35) не можетъ видѣть монету въ кубкѣ, такъ какъ она закрыта стѣнкой кубка; но если налить въ кубокъ воды, она будетъ видна. Именно, свѣтъ идетъ тогда указаннымъ на рисункѣ путемъ. Глазъ

Рис. 34



Преломленіе свѣтового луча въ водѣ.

Рис. 35



Преломленіе свѣта при переходѣ изъ воды въ воздухъ.

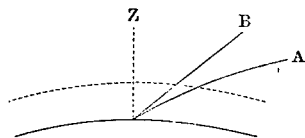
получаетъ впечатлѣніе только о томъ направленіи, по которому онъ получаетъ свѣтъ, и замѣчаетъ монету въ точкѣ *m'*.

Такимъ же образомъ, добавляетъ онъ, можно вслѣдствіе преломленія лучей видѣть солнце, уже зашедшее за горизонтъ (рис. 33).

54. Однако, эти соображенія были основательно разработаны только Клавдіемъ Птолемеемъ, родившимся въ 70 или 77 г. по Р. X. въ Птолемаидѣ (Египетъ) и умершимъ въ 147 г. въ Александріи, гдѣ онъ производилъ свои наблюденія и писалъ свои работы.

Птолемей изучалъ законы распространенія свѣтовыхъ лучей особенно тщательно. Здѣсь нужно только отмѣтить, что онъ зналъ, что воздухъ, который по его мнѣнію распространялся до луны, долженъ оказывать на свѣтовые лучи такое же дѣйствіе, какъ вода. Такъ же, какъ вертикальная палка не обнаруживаетъ въ водѣ никакого „преломленія“, и находящаяся въ зенитѣ звѣзда должна казаться тамъ, гдѣ она дѣйствительно находится. Но всѣ другія звѣзды должны казаться выше, чѣмъ онѣ есть на самомъ дѣлѣ. Дѣйствительно, если путь свѣтового луча таковъ, какъ указываетъ линія, идущая отъ *A* (рис. 36), то глазъ долженъ получать впечатлѣніе, будто звѣзда находится въ направленіи *B*. Это отклоненіе должно быть тѣмъ больше, чѣмъ ближе звѣзда къ горизонту; Птолемей опредѣлялъ величину этого отклоненія при помощи измѣреній полярнаго разстоянія незаходящихъ звѣздъ, когда онѣ достигаютъ на небѣ наибольшей и наименьшей высоты. Въ первомъ случаѣ онѣ удаляются отъ полюса больше, чѣмъ во второмъ.

Рис. 36



Преломленіе лучей въ атмосферѣ.

Птолемей составилъ также таблицы, при помощи которыхъ позднѣе онъ могъ поправлять свои наблюденія звѣздъ. Для звѣзды

на высотѣ 90° надъ горизонтомъ отклоненіе составляетъ 0					
60°	"	"	"	"	1/2'
30°	"	"	"	"	1 2/3'
0°	"	"	"	"	35'.

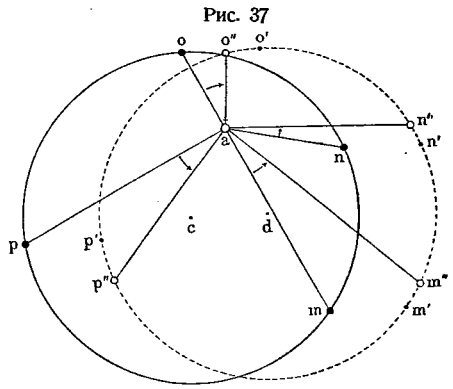
Отсюда видно, что это отклоненіе только близъ горизонта настолько велико, что его нужно было принимать въ расчетъ при наблюденіяхъ древнихъ. Равнымъ образомъ отсюда видно, что солнце, поперечникъ котораго равенъ приблизительно 30', можетъ совершенно зайти и всетаки быть видимымъ надъ горизонтомъ. Такъ какъ нижній край солнца при этомъ подымается нѣсколько больше, чѣмъ верхній, то солнце при восходѣ и заходѣ кажется нѣсколько сплюснутымъ.

55. Птолемей былъ не только точнымъ, вдумчивымъ наблюдателемъ и искуснымъ математикомъ, онъ былъ также и писателемъ. Его главный трудъ, получившій позднѣе арабское названіе Альмагестъ, въ свое время былъ превосходнымъ руководствомъ по астрономіи. Нужно однако пожалѣть, что этотъ трудъ вытѣснилъ болѣе раннія оригинальныя работы, напримѣръ, работы Гиппарха. Удивляться этому однако нельзя. До изобрѣтенія книгопечатанія издашіе книгъ не было такъ доступно, какъ впоследствии, и потому каждый естественно старался копировать, главнымъ образомъ, новѣйшія и лучшія сочиненія, какія были. Такъ какъ Альмагестъ содержитъ многое изъ того, что открыли предшествующіе астрономы, напримѣръ, превосходный звѣздный каталогъ Гиппарха (впрочемъ съ тѣми поправками, которыя по мнѣнію Птолемея нужно было прибавить за прецессию со времени Гиппарха), то иногда, особенно прежде, Птолемей ошибочно считали авторомъ всего содержанія его книги; съ другой же стороны, особенно въ болѣе позднее время, его называли несчастнымъ переписчикомъ. Последнее столь же несправедливо, насколько первое невярно. Но изъ сказаннаго понятно, почему мировоззрѣніе, къ которому склонялся лично Птолемей, господствовало почти безгранично болѣе полуторы тысячи лѣтъ, тогда какъ гешальныя мысли Аристарха о вращеніи земли вокругъ оси и ея движеніи около солнца пришли въ совершенное забвеніе.

Птолемей былъ чрезвычайно осторожный ученый, который придерживался просто того, что онъ могъ видѣть. Онъ не разъ указывалъ на возможность того, что движется именно земля. Но по внѣшности вращается звѣздное небо и потому онъ принимаетъ, что вращается именно оно. Солнце, луна и планеты имѣютъ особыя движенія и онъ описываетъ, какъ они должны двигаться, чтобы ихъ движеніе казалось съ неподвижной земли именно такимъ, какимъ мы его видимъ на самомъ дѣлѣ.

56. Уже Гиппархъ нашель, что разстояніе луны отъ земли въ разныя времена различно; отсюда онъ заключилъ, что луна движется по кругу, центръ котораго не совпадаетъ съ центромъ земли. Птолемей нашель, что этого допущенія недостаточно для объясненія неправильностей луннаго движенія. Вслѣдствіе этого онъ принимаетъ, что центръ лунной орбиты самъ движется около центра земли. Такимъ образомъ луна движется по кругу, самый центръ котораго описываетъ опять-таки кругъ. Подобнымъ же образомъ Птолемей объяснялъ движеніе планетъ, но и это не было совершенной новостью. Задолго до Птолемея знаменитый математикъ Эвдоксъ изъ Книды (407—354 гг. до Р. Х.) предлагалъ это объясненіе для прямого и обратнаго

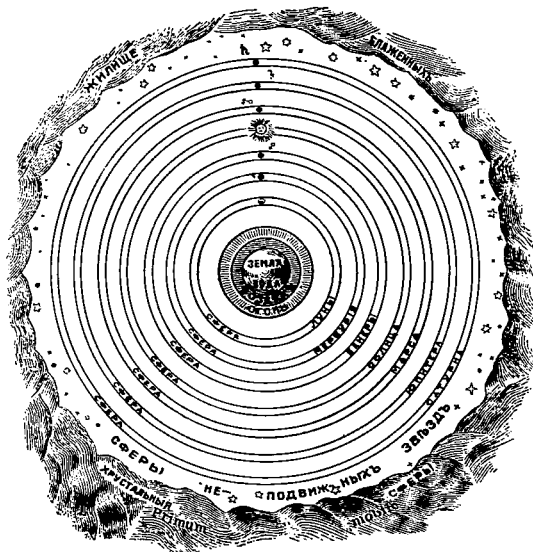
движений и для стояній планетъ. Пусть точка a (рис. 37) представляеть землю, которую мы предполагаемъ неподвижною. Пусть центръ круга, который долженъ представляеть орбиту Марса, движется въ теченіе мѣсяца отъ c до d . Пусть пунктирный кругъ представляеть орбиту Марса въ концѣ этого мѣсяца. Если теперь Марсъ находится въ точкѣ m , то черезъ мѣсяцъ вслѣдствіе движенія всего круга эта точка перемѣстится въ m' . Но за мѣсяцъ и самъ Марсъ передвинется изъ m' въ m'' . Такимъ образомъ линія зрѣнія на Марсъ за этотъ мѣсяцъ перейдетъ изъ am въ am'' (въ направленіи стрѣлки). Если Марсъ находится въ точкѣ n , то такимъ же образомъ эта линія зрѣнія въ теченіе мѣсяца перейдетъ изъ an въ an'' . Если, напротивъ того, Марсъ находится въ o , то смѣщеніе круга перемѣститъ эту точку въ o' , а Марсъ за это время перейдетъ изъ o' въ o'' . Значитъ линія зрѣнія съ земли на Марсъ отойдетъ обратнымъ движеніемъ



Объясненіе планетныхъ движеній при помощи теории эпицикловъ.

отъ ao къ ao'' . При дальнѣйшемъ движеніи по своему пути Марсъ снова пойдетъ прямымъ движеніемъ отъ ap въ ap'' . А если объясняются прямое и обратное дви-

Рис. 38



Птолемея система міра.

отъ ao къ ao'' . При дальнѣйшемъ движеніи по своему пути Марсъ снова пойдетъ прямымъ движеніемъ отъ ap въ ap'' . А если объясняются прямое и обратное дви-

женія Марса, то, само собою разумѣется, объясняются и его стоянія. Именно, они происходятъ въ то время, когда одно движеніе переходитъ въ другое. Птолемей развилъ это объясненіе до конца. При этомъ онъ принялъ, что эти тѣла расположены въ слѣдующемъ порядкѣ, считая отъ земли: Луна, Меркурій, Венера, Солнце, Марсъ, Юпитеръ, Сатурнъ, неподвижныя звѣзды. Въ одной болѣе древней египетской системѣ, въ противность Птолемею, было принято совершенно правильно, что Венера подходитъ къ землѣ ближе Меркурія. Птолемей самъ говоритъ о своей теоріи, что эти движенія труднѣе понять, чѣмъ вычислить. Тѣмъ не менѣе эта теорія является для него единственнымъ объясненіемъ небесныхъ движеній, чѣмъ-то такимъ, въ чемъ сомнѣваться было бы преступленіемъ. Когда впоследствии не удавалось подогнать всѣ движенія подъ эту теорію, ее расширяли и принимали, что по кругу движется не только центръ той окружности, по которой движется планета, но что центръ этого круга самъ описываетъ кругъ, центръ котораго въ свою очередь движется опять-таки по кругу, и т. д.

А р а б ы

57. Послѣ Птолемея въ Александріи и въ другихъ греческихъ городахъ не было больше крупныхъ астрономовъ; были только отдѣльные естествоиспытатели, о которыхъ рѣчь будетъ ниже. Въ концѣ концовъ наука утратила ту твердую почву, на которой она стояла много лѣтъ въ Александріи. Это случилось въ VII вѣкѣ, когда магометане, въ первые 150 лѣтъ послѣ Магомета выступавшіе главнымъ образомъ въ роли завоевателей, вошли въ городъ и уничтожили послѣдніе остатки двухъ громадныхъ библиотекъ. Какъ извѣстно, калифъ Омаръ отдалъ приказъ сжечь книги въ такихъ словахъ: „Либо эти книги содержатъ то, что есть въ Коранѣ, и тогда онѣ лишнія, либо онѣ содержатъ другое и въ такомъ случаѣ онѣ безбожны“. Этотъ рассказъ, однако, въ позднѣйшее время считаютъ не очень достовѣрнымъ; не лишено вѣроятности, что много книгъ было увезено въ другія мѣста, особенно въ Константинополь, столицу Восточно-Римской Имперіи, гдѣ греческая культура, хотя и не въ цвѣтущемъ состояніи, сохранялась однако до завоеванія этого города турками въ 1453 году.

И однако тѣ самые магометане, которые въ первомъ пылу завоеванія уничтожили такъ много памятниковъ греческой культуры, стали связующимъ звеномъ между древней культурой и средневѣковой. Безъ этого связующаго звена наши свѣдѣнія о культурной жизни народовъ древности, вѣроятно, были бы чрезвычайно ничтожны.

Громадное магометанское царство простиралось отъ Испаніи черезъ Сѣверную Африку и Азію до самаго Индостана. Правда, позднѣе оно раздробилось, но могущественные калифы въ Багдадѣ и Кордовѣ въ продолженіе длиннаго ряда годовъ оставались покровителями наукъ. Они призывали къ своимъ дворамъ ученыхъ безразлично, были ли то магометане, христіане или евреи, они основывали въ различныхъ мѣстахъ своихъ царствъ высшія школы и устраивали библиотеки, въ которыхъ собирались копіи и переводы греческихъ трудовъ. Изъ нихъ Абдалла Аль Мамунъ, бывшій калифомъ багдадскимъ въ 813 г. и воспитанный христіанскимъ врачомъ-грекомъ, такъ любилъ науку, что при заключеніи мира съ побѣжденнымъ имъ Византійскимъ императоромъ Михаиломъ II потребовалъ себѣ кони всѣхъ греческихъ книгъ.

Въ X вѣкѣ въ Испаніи процвѣтала Кордова, резиденція калифовъ. Этотъ городъ имѣлъ высшую школу, которая посѣщалась молодежью христіанской Европы, и бібліотеку съ 600 000 томовъ, которая, къ сожалѣнію, была сожжена по приказанію кардинала Хименеса, когда Фердинандъ Святой завоевалъ этотъ городъ въ 1236 г. Въ теченіе нѣсколькихъ столѣтій Кордова была центромъ Европы въ отношеніи науки, искусства (архитектуры) и поэзіи. Мавританская Испанія имѣла въ XII вѣкѣ 14 высшихъ школъ и 70 общественныхъ бібліотекъ. У мавровъ прекрасно процвѣтали въ то же время сельское хозяйство, садоводство, горное дѣло и торговля.

Между магометанами не было недостатка въ оригинальныхъ писателяхъ, но выдающихся умовъ, отмѣчающихъ поворотные пункты въ исторіи науки, у нихъ не появилось. Самой важной связью научныхъ стремленій въ отдѣльныхъ центрахъ былъ интересъ къ наукѣ со стороны самихъ калифовъ и ихъ терпимость по отношенію къ иновѣрцамъ. Однако, хотя нѣкоторые калифы стремились распространить плоды наукъ въ народѣ при помощи школъ (въ Кордовѣ въ X вѣкѣ было 80 бесплатныхъ школъ) и бібліотекъ, но, въ сравненіи съ затраченнымъ трудомъ, они достигли только незначительнаго успѣха.

Народъ не былъ тогда еще подготовленъ къ этому; а тамъ, гдѣ народная масса не представляетъ, такъ сказать, широкаго поля, каждый клочокъ котораго можетъ вырастить хорошіе всходы, тамъ конечно проевѣтительная дѣятельность калифовъ могла имѣть свое значеніе въ смыслѣ передачи накопленныхъ знаній и въ смыслѣ извѣстнаго внѣшняго блеска, но плодотворной въ болѣе высокой степени она не могла быть. Ради исторической связи поэтому нужно упомянуть о магометанскомъ періодѣ; къ этому можно прибавить, что у арабовъ были искусные астрономы, дѣятельность которыхъ была направлена на опредѣленіе величины земли¹⁾, положеній небесныхъ тѣлъ, длины года, наклона эклиптики и пр. Однако, такъ какъ эти измѣренія едва ли производились лучше, чѣмъ болѣе древнія измѣренія грековъ, то намъ незачѣмъ останавливаться на этихъ попыткахъ.

Посредничество арабовъ между древностью и средними вѣками, а также между Восточной Азіей и Европой оставило ясные слѣды въ рядѣ названій, которыми мы пользуемся еще и нынче, какъ, напримѣръ, зенитъ, надиръ, Альдебаранъ (звѣзда въ Тельцѣ), Алькоръ и Мизаръ (въ Большой Медвѣдицѣ), алидада (приспособленіе для отсчета угловъ въ измѣрительныхъ инструментахъ). Какъ посредники между востокомъ и западомъ, они принесли намъ отъ китайцевъ компасъ и селитру, отъ индусовъ ихъ систему счисленія и вычисленія при помощи буквъ, извѣстныя намъ подъ именемъ „арабскихъ цифръ“ и алгебры.

¹⁾ Упомянутый выше Аль Мамунъ приказалъ, напримѣръ, произвести градусное измѣреніе въ Месопотаміи. Одна изъ двухъ экспедицій должна была измѣрить одинъ градусъ на сѣверѣ, другая одинъ градусъ на югѣ. Первая нашла для длины градуса 56, вторая $56\frac{2}{3}$ арабскихъ миль. Недовольный этимъ, Аль Мамунъ приказалъ повторить измѣреніе, но результатъ получился тотъ же самый. Которое изъ измѣреній было лучше, мы не можемъ рѣшить, такъ какъ намъ только извѣстно, что арабская миля равна 4000 локтей, но неизвѣстно, были ли это царекіе локти или черные локти. Первые имѣли 24, послѣдніе 27 дюймовъ. Дюймъ имѣлъ длину 6 зеренъ ржи, положенныхъ бокъ о бокъ. Такъ какъ по этому измѣренію сѣверный градусъ былъ короче южнаго, то результатъ этого измѣренія въ XVII столѣтіи—къ сожалѣнію, ошибочно—принимался въ расчетъ въ вопросѣ объ истинной формѣ земли.

Зарождение астрономіи въ Западной Европѣ

58. Впродолженіе арабскаго періода европейскіе народы обнаруживали лишь незначительный интересъ къ наукамъ. Карлъ Великій сдѣлалъ попытку призвать къ жизни при своемъ дворѣ учрежденія, подобныя тѣмъ, которыя устраивали калифы. Онъ призвалъ къ своему двору ученаго Алькуина (род. въ 736 г. въ Нортгемберландѣ) и приказалъ устроить школы при монастыряхъ. Но непосредственно его стремленія не имѣли большого успѣха.

Далѣе покровителями наукъ называютъ императора Фридриха II Гогенштауфена (ум. 1250) и короля Альфонса X Кастильскаго (ум. 1284). Послѣдній поручилъ комиссіи, въ составъ которой входили кромѣ христіанскихъ также еврейскіе и магометанскіе ученые, вычислить улучшенныя астрономическія таблицы, такъ какъ таблицы Птолемея были уже не удовлетворительны. Такъ какъ работа этой комиссіи также не дала удовлетворительныхъ результатовъ, то король приказалъ повторить вычисления еще разъ, не получивъ однако лучшаго результата и на этотъ разъ. Какъ понималъ король Альфонсъ несовершенство наукъ, видно изъ одной фразы, которую онъ какъ-то сказалъ своимъ астрономамъ. Послѣ того, какъ они объяснили ему движеніе небесныхъ тѣлъ по улучшенной теоріи Птолемея, онъ выразилъ мнѣніе, что еслибы Богъ призвалъ его на совѣтъ при сотвореніи міра, то все было бы устроено проще. Это слово упало впрочемъ на опасную почву и позднѣе навлекло на него упрекъ въ оскорбленіи божества.

Замѣчательно, что всѣ названные государи были въ дружественныхъ или по крайней мѣрѣ въ мирныхъ отношеніяхъ съ магометанами.

59. Молодежь Европы не могла найти удовлетворенія въ той духовной пустынѣ, которая царила въ ея родныхъ странахъ. Поэтому многіе направлялись въ Испанію изучать науки у мавровъ. Но на это не особенно благосклонно смотрѣла церковь и такъ какъ однимъ изъ древнихъ писателей, котораго по преимуществу изучали въ Испаніи, былъ Аристотель, то его сочиненія до XII столѣтія подвергались обвиненію въ ереси и даже сжигались, а его послѣдователи отлучались отъ церкви.

Наконецъ, пришлось прибѣгнуть къ единственному средству, которое могло остановить это теченіе: около 1200 года начали основывать высшія школы, „университеты“ въ различныхъ городахъ Европы: въ Парижѣ, Оксфордѣ, Кэмбриджѣ, Неаполѣ, Салерно, Болоньѣ, Падуѣ, Павіи и т. д. Но конечно нужно было имѣть также и предметы обученія, а такъ какъ иного выхода не было, то пришлось обратиться къ тѣмъ самымъ предметамъ, которые подвергались осужденію, пока ихъ можно было находить только у мавровъ. Теперь стали сравнивать міровоззрѣніе Аристотеля съ Библией и стали находить, что ихъ во всемъ можно согласовать другъ съ другомъ, въ крайнемъ случаѣ при помощи извѣстныхъ толковацій ихъ текстовъ. Сочиненія Аристотеля теперь не только терпѣлись, но даже стали руководствомъ въ вопросахъ изслѣдованія природы. Что говорилъ Аристотель, то и было правильно, не больше и не меньше. Вслѣдствіе этого Аристотель, взгляды котораго на многіе физическіе вопросы были совершенно ложны, сталъ даже препятствіемъ для дальнѣйшихъ изслѣдованій. Въ теченіе слѣдующихъ столѣтій многимъ ученымъ пришлось страдать подъ этимъ духовнымъ игомъ и бороться противъ него, пока наконецъ не удалось сбросить это ярмо.

60. Къ счастью оказалось, что европейская почва была такъ же благоприятна для процвѣтанія наукъ, какъ и магометанская. Впрочемъ, еще нѣсколько столѣтій протекло до того времени, какъ науки нѣсколько укоренились, и въ теченіе еще нѣсколькихъ вѣковъ даже люди, серьезно занимавшіеся наукой, путались въ астрологическихкихъ и мистическихкихъ иредставленійяхъ. Замѣчательно, что именно магометанамъ было суждено—правда, совершенно произвольно,—дать толчекъ къ дальнѣйшему развитію наукъ въ Европѣ. Когда въ 1453 г. турки завоевали Константинополь, множество греческихкихъ учителей лишилось родины. Большою частью они направлялись въ Италію и здѣсь находили условія, которыя позволяли имъ продолжать работу, прерванную ихъ предками. Потому-то именію въ Италіи и началось Возрожденіе наукъ.

61. Очень естественно поэтому, что величайшему астроному и математику XV столѣтія, Региомонтану пришлось быть въ ученіи у греческихкихъ бѣглецовъ въ Италіи.

Региомонтанъ, настоящее имя котораго было Іоганнъ Мюллеръ, родился въ 1436 г. въ Кенигсбергѣ, во Франконіи. Онъ развился необычайно рано и въ возрастѣ отъ 12 до 15 лѣтъ учился въ Лейпцигѣ, а затѣмъ въ Вѣнѣ; здѣсь онъ былъ ученикомъ извѣстнаго астронома Пурбаха, который снова обратился къ уче-

Рис. 39



Региомонтанъ.

нію о вращеніи земли, такъ какъ его не удовлетворяла система Птолемея. Папскій легатъ въ Вѣнѣ пригласилъ Пурбаха ѣхать съ нимъ въ Римъ, чтобы тамъ изучать греческій оригиналъ Альмагеста. Однако, прежде чѣмъ этотъ планъ былъ выполненъ, Пурбахъ умеръ (въ 1461 году). Тогда то же предложеніе было сдѣлано Региомонтану, который принялъ его. У одного греческаго бѣглеца, Георга изъ Трапезунда, онъ научился греческому языку и сталъ изучать Птолемея и другихъ греческихкихъ писателей на ихъ родномъ языкѣ.

По возвращеніи онъ недолгое время былъ профессоромъ астрономіи въ Вѣнѣ, а затѣмъ принялъ приглашеніе короля Венгріи Матвѣя Корвина привести въ порядокъ греческія рукописи, которыя послѣдній привезъ съ собой изъ Константинополя; въ 1471 году онъ перебрался въ Нюрнбергъ, гдѣ въ лицѣ патришія Бергарда Вальтера нашель покровителя и истиннаго друга науки. Послѣдній построилъ первую астрономическую обсерваторію въ Германіи. Тогда какъ Гиппархъ для опредѣленія положенія солнца пользовался луной, Вальтеръ повидимому первый воспользовался для этого Венерой (см. § 39). Дѣло въ томъ, что послѣдняя бываетъ иногда видима для хорошаго зрѣнія и до захода солнца, а такъ какъ она движется медленнѣе луны, то для такого рода опредѣленій гораздо удобнѣе. Региомонтанъ пользовался у своихъ современниковъ большимъ и вполне заслуженнымъ уваженіемъ. вмѣстѣ съ Пурбахомъ онъ содѣйствовалъ введенію нашего нынѣшняго способа счисленія, который гораздо яснѣе и удобнѣе для вычисленій, нежели римская система. Онъ ввелъ вычисления при помощи буквъ и улучшилъ тригонометрію. Какъ астрономъ, онъ отстаивалъ практическую точку зрѣнія, что важнѣе дѣлать хорошія наблюденія, чѣмъ набрасывать системы міра. Поэтому Региомонтанъ отбросилъ также идею Пурбаха о вращеніи земли. По его мнѣнію, еслибы земля летѣла черезъ воздухъ, птицы не могли бы возвращаться къ своимъ гнѣздамъ. Въ то время полагали, что вселенная вся заполнена воздухомъ, и не догадывались, что земля можетъ увлекать свою атмосферу съ собою и, слѣдовательно, не летѣть сквозъ нее. Впрочемъ, въ то время говорили о высотѣ круга паровъ (напримѣръ, Посидоній, § 53), но подъ этимъ разумѣли болѣе глубокой слой, въ которомъ плаваютъ облака, а не чистый воздухъ, находящійся выше въ пространствѣ между небесными тѣлами.

Въ то время было уже общеизвѣстно, что счисленіе времени пришло въ безпорядокъ, и потому папа Сикстъ IV пригласилъ знаменитаго Региомонтана приѣхать въ Римъ и составить планъ улучшенія календаря. Въ награду онъ долженъ былъ впослѣдствіи получить епископскую кафедру въ Регенсбургѣ. Однако, вскорѣ по прибытіи въ Италію, въ 1476 году Региомонтанъ умеръ.

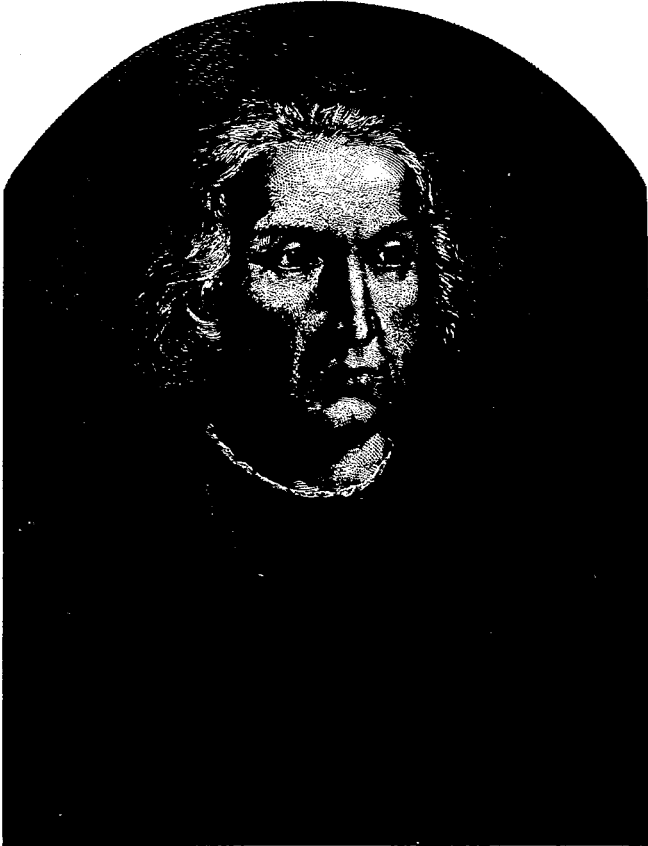
Одна изъ работъ Региомонтана имѣла необычайное значеніе; это было нѣчто вродѣ календаря на 32 года, отъ 1475 до 1506 гг., содержащаго данныя относительно солнца, луны и звѣздъ. Этотъ трудъ сыгралъ важную роль въ зарождавшемся тогда искусствѣ плавать на морѣ „по звѣздамъ“. Книга Региомонтана оказала неощутимыя услуги Колумбу и другимъ великимъ мореплавателямъ того времени.

Если, съ одной стороны, подвиги этихъ мореплавателей нужно считать плодомъ пробуждавшейся астрономіи, то, съ другой стороны, они въ свою очередь плодотворно дѣйствовали на развитіе науки и культуры вообще. Здѣсь не мѣсто останавливаться на подробностяхъ подвиговъ Колумба, но отмѣтить связь его дѣятельности съ развитіемъ астрономіи необходимо.

62. Христофоръ Колумбъ, род. въ 1456 г. (не 1436, какъ принималось раньше), нѣкоторое время провель въ университетѣ въ Падуѣ, гдѣ занимался преимущественно математикой, географіей, астрономіей и навигаціей. Пробывъ нѣсколько лѣтъ морякомъ, проплававъ по Средиземному морю и совершивъ путешествія въ Англію, Исландію и въ нѣкоторыя другія страны, онъ поселился въ Лиссабонѣ, гдѣ женился и существовалъ рисовавшемъ картъ моря и суши. Здѣсь онъ изучалъ глубже астрономическую географію, именно благодаря вліянію Мартина Бе-

гайма, ученика Региомонтана, прѣхавшаго въ Португалію въ 1480 году. Здѣсь онъ былъ назначенъ членомъ комиссіи по развитію навигаціи, что тогда представляло очень значительное положеніе, такъ какъ въ это время вопросъ объ отысканіи морского пути въ Индію чрезвычайно интересовалъ португальцевъ. Бегаймъ познакомилъ также Колумба съ изобрѣтенной Региомонтаномъ астролябіей, которая служила для измѣренія высотъ солнца и привѣшивалась къ мачтѣ корабля.

Рис. 40



Христофоръ Колумбъ.

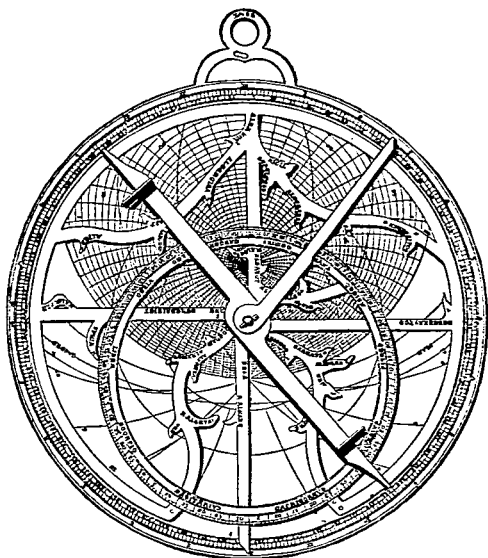
Колумбъ изучалъ также древнія греческія сочиненія, трактовавшія о формѣ земли, и состоялъ въ перепискѣ со многими учеными, которые были знакомы и съ древней и съ новой литературой, какъ, напримѣръ, съ престарѣлымъ италіанскимъ астрономомъ Тосканелли (род. 1397), который сильно поддерживалъ Колумба въ его планахъ. Въ одномъ изъ своихъ писемъ Колумбу онъ между прочимъ говоритъ:

Лакуръ и Аппель. Историческая Физика

„Ты видишь, что путешествіе, которое Ты хочешь предпринять, гораздо менѣе опасно, чѣмъ можно было бы думать, и Ты былъ бы совершенно убѣжденъ въ этомъ, еслибы, подобно мнѣ, имѣлъ случай познакомиться со многими людьми, бывавшими въ тѣхъ странахъ“.

Величину земного шара въ то время знали уже довольно хорошо и потому могли вычислить разстояніе до Азій черезъ Атлантическій океанъ, считая конечно извѣстнымъ разстояніе до восточной Азій по обычному тогда пути. Недостовѣрныя описанія путешественниковъ, бывавшихъ въ тѣхъ частяхъ Азій (Марко Поло), привели Госканелли и другихъ къ ошибочному мнѣнію, что извѣстная въ то время часть земного шара простирается на двѣ трети окружности земли и что, слѣдовательно, путь черезъ Атлантическій океанъ долженъ составлять одну треть окружности. Последнее,

Рис 41



Астролябія Регіомонтана.

впрочемъ, приблизительно согласовалось съ тѣмъ разстояніемъ, которое Колумбъ прошелъ по направленію къ западу, и потому онъ жилъ и умеръ въ убѣжденіи, что открылъ именно Азію и ея многочисленные острова.

Такимъ образомъ Колумба увлекало, такъ сказать, теченіе времени. Что раньше или позже Америка была бы открыта, не подлежитъ никакому сомнѣнію. Но что Колумбъ въ 1492 году сдѣлалъ счастливое открытіе, оказавъ этимъ великую услугу человѣчеству, что это открытіе не произошло позднеѣ, всѣмъ этимъ мы обязаны главнымъ образомъ его твердому убѣжденію и той желѣзной волѣ, съ которой онъ, какъ извѣстно, боролся съ различными затрудненіями, встававшими на его пути.

Такимъ образомъ возрожденная греческая астрономія дала въ Европѣ начало практическимъ результатамъ, которыхъ добились Колумбъ и другіе великіе путеше-

ственники того времени; она дала также вспомогательныя средства для этой работы въ видѣ астрономическихъ инструментовъ, таблицъ и указаній. Съ другой стороны и географическія открытія оказывали свое вліяніе на развитіе астрономіи. Слышать теоретическія доказательства того, что земля должна быть шаромъ, и слышать отъ какого-нибудь моряка, что онъ былъ на той сторонѣ земли,—двѣ совершенно различныя вещи. А уже и то представленіе, что земля есть свободно носящійся въ пространствѣ шаръ, а не дискъ, имѣетъ необыкновенное значеніе для всего міровоззрѣнія. Поэтому весьма знаменательно, что вскорѣ послѣ этихъ великихъ открытій въ области астрономіи появляется система міра Коперника.

Рис. 42



Николай Коперникъ.

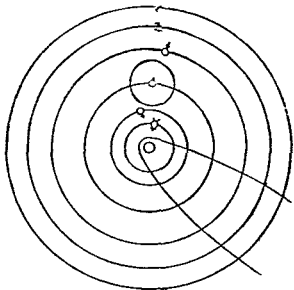
63. Полякъ по происхожденію, Николай Коперникъ родился въ 1473 году въ Торнѣ, отецъ же его былъ родомъ изъ Франкенштейна въ Шлезіи.

Коперникъ изучалъ сперва въ Краковѣ богословіе и медицину, а также математику и астрономію. Въ 1496 году онъ переѣхалъ въ Италію, гдѣ посвятилъ себя юридическимъ, медицинскимъ и астрономическимъ занятіямъ въ Болоньѣ, Римѣ и Падуѣ. Безъ сомнѣнія, въ это время онъ также изучалъ древнихъ грековъ. Съ другой стороны, нѣкоторыя наблюденія, сдѣланныя имъ, повидимому, имѣютъ второстепенное значеніе; вообще въ дѣлѣ наблюденія Коперникъ, кажется, никогда не былъ особенно силенъ (§ 70). По возвращеніи изъ Италіи (1505) онъ основался въ Гейльсбергѣ, гдѣ его дядя былъ епископомъ, а онъ самъ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ каноникомъ. Здѣсь въ тишинѣ и уединеніи онъ посвятилъ шесть лѣтъ обработкѣ своего знаменитаго труда о движеніи небесныхъ тѣлъ. По смерти дяди до конца своей жизни (1543), съ небольшимъ только перерывомъ, Коперникъ жилъ во Фрауэнбургѣ.

Свой трудъ онъ закончилъ въ 1530 году. Онъ сообщалъ о немъ своимъ ученымъ друзьямъ, но не думалъ публиковать его. Только въ 1542 г. Коперникъ рѣшился подъ давленіемъ друзей, а именно епископа Гизе Кульмскаго и профессора Ретика въ Виттенбергѣ, разрѣшить печатать свой трудъ; въ посвященіи, обращенномъ къ папѣ Павлу III, онъ говоритъ, что трудъ этотъ вылеживался у него не девять, а четырежды девять лѣтъ Коперникъ не дожилъ до окончанія печатанія своей книги. Въ первое время съ его трудомъ знакомъ былъ только небольшой кругъ ученыхъ и въ теченіе 70 лѣтъ церковь не предъявляла никакихъ претензій къ этой книгѣ.

64. Трудъ¹⁾ Коперника обнимаетъ шесть книгъ и представляетъ подробную астрономію, которая содержитъ даже мелочи, вродѣ вспомогательныхъ таблицъ для астрономическихъ вычисленій. Но при всѣхъ своихъ разсужденіяхъ и объясненіяхъ онъ кладетъ въ основу предположеніе, что солнце неподвижно, а земля дѣлаетъ въ

Рис. 43



Система Коперника (съ кометной орбитой).

теченіе одного года оборотъ вокругъ солнца и въ теченіе однихъ сутокъ оборотъ около своей оси; эта ось наклонена къ плоскости земной орбиты и остается параллельной самой себѣ, измѣняя свое направленіе только съ теченіемъ тысячелѣтій. Все это не ново (ср. §§ 29 и 30). Коперникъ могъ найти это при изученіи древнихъ грековъ, но не менѣе достойно удивленія и то, что онъ вырвалъ эти мысли изъ тьмы забвенія; это ясно свидѣтельствуетъ о томъ, что Коперникъ положилъ въ основу собственныхъ работъ историческое изученіе предмета; и въ результатъ своего изученія онъ пришелъ къ выводу, что планеты такъ же, какъ земля, движутся около солнца по кругамъ.

Коперникъ первый соединилъ въ одну семью землю и планеты, первый призналъ ихъ дѣтьми солнца. Онъ расположилъ ихъ соотвѣтственно разстоянію отъ солнца въ слѣдующемъ порядкѣ: Меркурій, Венера, Земля, Марсъ, Юпитеръ, Сатурнъ. Чѣмъ дальше отъ солнца находится планета, тѣмъ медленнѣе она движется.

¹⁾ Его заглавіе: De revolutionibus orbium coelestium libri VI. Первое изданіе появилось въ Нюрнбергѣ.

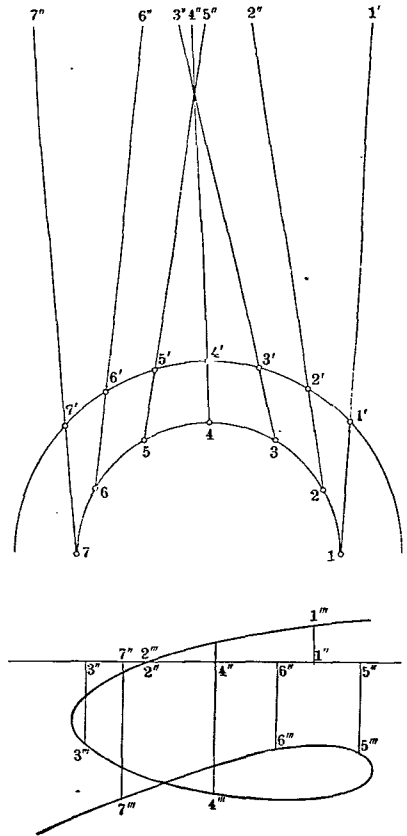
Теперь объясненіе петлеобразныхъ движеній планетъ стало очень простымъ. На рис. 44 два круга представляютъ орбиты земли и Марса. Земля и Марсъ одновременно находятся въ тѣхъ мѣстахъ своихъ орбитъ, которыя обозначены 1 и 1', такъ же одновременно (напримѣръ, мѣсяцемъ позднѣе) въ точкахъ 2 и 2', затѣмъ въ точкахъ 3 и 3' и т. д. Такимъ образомъ Марсъ сначала будетъ виденъ въ направленіи 1'' между звѣздами, затѣмъ въ направленіи 2'', затѣмъ въ направленіи 3'', слѣдовательно, въ прямомъ движеніи; далѣе мы увидимъ его въ направленіяхъ 4'' и 5'', слѣдовательно, въ обратномъ движеніи, наконецъ въ направленіяхъ 6'' и 7'', снова въ прямомъ движеніи. И еслибы орбиты земли и Марса лежали въ одной и той же плоскости, то намъ бы казалось только, что планета движется по одной линіи взадъ и впередъ (рис. 44, 1'', 2'', 3'', 4'', 5'', 6'', 7''). Но если принять плоскость рисунка за плоскость земной орбиты, то орбита Марса будетъ частью лежать выше, а частью ниже плоскости рисунка. Еслибы, напримѣръ, точка 1' лежала выше плоскости рисунка, точка 2' въ самой плоскости и точки 3'—7' ниже ея, то первая часть орбиты (1' до 2') лежала бы выше указанной прямой линіи, а остальная часть ниже ея. Въ своемъ движеніи отъ 2' до 7' Марсъ все время опускается ниже и ниже подъ плоскость рисунка, но въ точкахъ 4' и 5' онъ будетъ казаться ниже, чѣмъ въ точкѣ 6', такъ какъ земля въ точкахъ 4' и 5' ближе къ Марсу; вслѣдствіе этого линія зрѣнія опускается здѣсь внизъ круче. Такимъ образомъ получается петля 1''' 2''' 3''' 4''' 5''' 6''' 7'''.

Итакъ, видимыя неправильныя отклоненія планетъ въ стороны (по широтѣ) происходятъ вслѣдствіе наклона планетныхъ орбитъ къ земной и вслѣдствіе измѣненія разстояній планетъ отъ земли.

Такимъ же образомъ объясняются движенія Юпитера и Сатурна.

Движенія Меркурія и Венеры съ земли представляются колебательными движеніями въ одну и въ другую сторону отъ солнца. Въ дѣйствительности обѣ эти планеты могутъ находиться между нами и солнцемъ или же быть по ту сторону отъ солнца и, конечно, въ первомъ случаѣ онѣ значительно ближе къ намъ. Когда Венера находится къ востоку отъ солнца, такъ что солнце заходитъ раньше Венеры, ее можно наблюдать послѣ солнечнаго захода, какъ вечернюю звѣзду. Когда же она

Рис. 44



Движеніе Марса.

находится къ западу отъ солнца, то восходить раньше солнца и бываетъ тогда утренней звѣздой. Меркурій также бываетъ иногда вечерней звѣздой, а иногда утренней, но такъ какъ онъ не далеко уходитъ отъ солнца, то наблюдать его во время утреннихъ и вечернихъ сумерекъ очень трудно, особенно въ болѣе сѣверныхъ широтахъ, гдѣ солнце опускается къ горизонту по болѣе наклонной линіи. Коперникъ, который былъ даже въ Италіи, гдѣ солнце заходитъ уже нѣсколько отвѣсиве, а воздухъ чище, чѣмъ въ Германіи, жаловался, какъ говорятъ, на своемъ смертномъ одрѣ, что онъ никогда не видѣлъ Меркурія.

Пути внутреннихъ планетъ, особенно орбита Меркурія, также нѣсколько наклонны къ земной орбитѣ, такъ что ихъ рѣдко можно наблюдать проходящими черезъ самый дискъ солнца.

65. Такимъ образомъ Коперникъ нашель объясненіе своеобразныхъ движеній планетъ, предположивъ, что планеты и земля движутся вокругъ солнца по кругамъ. Но для того, чтобы согласовать это объясненіе съ наблюденіями, онъ долженъ былъ принять, что солнце находится нѣсколько въ сторонѣ отъ центра этихъ круговъ; тѣмъ не менѣе, какъ онъ самъ долженъ былъ сознаться, достигнуть полнаго согласія теоріи съ наблюденіями было невозможно. А отъ вѣрнаго объясненія можно требовать, чтобы оно давало такое согласованіе. И даже если это выполнено, то еще нельзя быть увѣреннымъ, что данное объясненіе правильно. Но если этого нѣтъ, то объясненіе вовсе нельзя считать правильнымъ. Другой великій астрономъ, Тихо Браге, не находить этого необходимаго согласія. Поэтому онъ отказывается развивать теорію Коперника дальше, а берется за задачу наново и притомъ ставить ее шире, чѣмъ это дѣлалось когда-либо до тѣхъ поръ.

66. Тихо Браге, родившійся въ 1546 году въ Кнудstrupъ въ датской провинціи Шоніи, былъ старшимъ сыномъ изъ десяти дѣтей Отто Браге и Беаты Билле. Его родители оба принадлежали къ старинному дворянству. Онъ воспитывался у своего дяди Ергена Браге въ Тааструпъ, который былъ женатъ, но не имѣлъ дѣтей. Послѣ изученія впродолженіе нѣсколькихъ лѣтъ латинскаго языка и даже попытокъ сочиненія латинскихъ стиховъ и писемъ, онъ вступилъ по тринадцатому году въ Копенгагенскій университетъ. Солнечное затменіе, имѣвшее мѣсто въ слѣдующемъ году, возбудило удивленіе Тихо именно тѣмъ, что оно было предсказано. Это пробудило въ немъ интересъ къ астрономіи. Однако дядя желалъ сдѣлать изъ него государственнаго челоувѣка. На 15 году Тихо былъ посланъ въ сопровожденіи своего 19-лѣтняго гофмейстера Феделя въ Лейпцигъ, гдѣ онъ долженъ былъ изучать государственныя науки; Федель имѣлъ строгій наказъ удерживать его исключительно на этихъ занятіяхъ. Федель старался изо всѣхъ силъ, но ему не удалось удержать Тихо отъ изученія астрономіи. Послѣдній тайкомъ вставалъ во время его сна по ночамъ и знакомился съ астрономическими книгами и жалкими инструментами, которые онъ тайкомъ же приобрѣлъ. Его интересъ къ астрономіи еще увеличился, когда въ 1563 году по случаю соединенія (конъюнкціи) Юпитера и солнца, онъ могъ доказать при помощи простыхъ средствъ, какими располагалъ, что, какъ Альфонсинскія таблицы, такъ и вычисленныя на основѣ Коперниковой системы такъ называемыя Прутеновы таблицы были ошибочны.

Вслѣдствіе войны, вспыхнувшей между Дашей и Швеціей, Тихо въ 1565 году получилъ отъ своего дяди приказаніе вернуться на родину. Вскорѣ затѣмъ послѣд-

ний умеръ и такъ какъ Тихо встрѣчалъ мало пониманія и симпатій въ средѣ своего сословія, то онъ уѣхалъ въ Виттенбергъ. Здѣсь онъ встрѣтилъ многихъ земляковъ, которыхъ сильно привлекалъ городъ Лютера. Чума заставила его перебраться въ городъ Ростокъ. Здѣсь онъ завязалъ сношенія съ профессоромъ Баттомъ, усерднымъ астрологомъ. И Тихо пробовалъ свои силы въ этомъ искусствѣ, которое въ

Рис. 45



Тихо Браге.

то время представляло приложение астрономии, пользовавшееся наибольшимъ вниманіемъ. Владѣтельные князья назначали для этого даже особыхъ астрономовъ. Однако, въ послѣдствіи Тихо самъ все болѣе и болѣе отдѣлялся отъ этого суевѣрія. Позднѣе онъ, впрочемъ, по приказу Фридриха II составилъ гороскопы для принцевъ Христіана,

Ульриха и Ганса. Онъ произвелъ нужная для этого вычисленія съ большою тщательностью, но не упустилъ случая указать свои сомнѣнія относительно достовѣрности астрологій. Такъ въ заключеніи гороскопа принца Христіана онъ говоритъ: „Человѣкъ одаренъ отъ Бога свободной волей, которая стоитъ выше вліяній небесныхъ тѣлъ“. Въ концѣ гороскопа принца Ульриха онъ говоритъ, что все это только предположеніе, полагається на которое совершенно нельзя. Подобнымъ же образомъ выражается Тихо и въ гороскопѣ принца Ганса. Наконецъ, позднѣе по поводу предсказаній погоды нѣмецкими астрологами, которыя были ему представлены на одобреніе, онъ пишетъ, что астрологическія пророчества то же, что котурнь, который можно приспособить къ каждой ногѣ, и что потому онъ никогда не имѣлъ къ нимъ особеннаго довѣрія.

Въ Ростокѣ онъ имѣлъ несчастье поссориться съ однимъ землякомъ и въ поединкѣ на улицѣ лишиться куска носа, что позднѣе причиняло ему много неприятностей.

При своихъ дальнѣйшихъ путешествіяхъ по чужбинѣ онъ нашелъ въ Аугсбургѣ богатыхъ покровителей астрономовъ и хорошихъ механиковъ, которымъ поручилъ изготовленіе новыхъ инструментовъ. Такъ, Тихо приказалъ соорудить большой квадрантъ изъ дубоваго дерева съ мѣдной шкалой (рис. 7), который 20 человѣкъ съ трудомъ могли перенести на то мѣсто въ саду, гдѣ онъ долженъ былъ стоять. Такъ какъ при помощи этого инструмента можно было измѣрять только высоту свѣтила надъ горизонтомъ, то онъ приказалъ построить еще одинъ секстантъ (рис. 46), при помощи котораго можно было измѣрять разстоянія звѣздъ другъ отъ друга. Затѣмъ Тихо приказалъ сдѣлать золоченый глобусъ въ четыре фута поперечникомъ, на который должны были наноситься звѣзды по опредѣленію ихъ мѣстъ. Эту работу онъ продолжалъ до самой смерти.

Въ 1570 году умеръ Отто Браге и Тихо унаслѣдовалъ вмѣстѣ съ своимъ старшимъ братомъ Кнудstrupъ. Онъ вернулся на родину, но предпочелъ жить у своего дяди Стеена Билле въ монастырѣ Герредсфадъ, гдѣ для него была устроена лабораторія. За границей онъ занимался также химіей, главной задачей которой въ то время было добываніе золота. Это „искусство“ находилось во власти такихъ же суевѣрій, какъ астрологія; въ то время вѣрили даже, что между алхиміей и астрологіей должна существовать внутренняя связь.

67. Одно астрономическое явленіе однако внезапно оторвало Тихо отъ его химическихъ занятій. Именно, когда Тихо вышелъ изъ своей лабораторіи вечеромъ 11 ноября 1572 года, то высоко въ небѣ, въ созвѣздіи Кассіопеи онъ увидѣлъ блестящую новую звѣзду. Убѣдившись изъ распросовъ нѣсколькихъ рабочихъ и крестьянъ, что это явленіе не было только его фантазіей, онъ тотчасъ же принялся за наблюденіе окраски и видимой яркости звѣзды, а также за измѣреніе ея разстоянія отъ другихъ звѣздъ. Звѣзда была ярче всѣхъ другихъ звѣздъ и была видима даже въ полдень. Сначала она была бѣлой, позднѣе стала желтой и красноватой и въ то же время ослабѣла, пока, приблизительно черезъ полтора года, совершенно не исчезла.

Изъ измѣреній Тихо Браге выяснилось, что звѣзда была совершенно неподвижна. За все время ея наблюденій она не обнаружила никакихъ перемѣщеній. Съ разныхъ сторонъ появлялись болѣе или менѣе фантастическія сочиненія объ этой

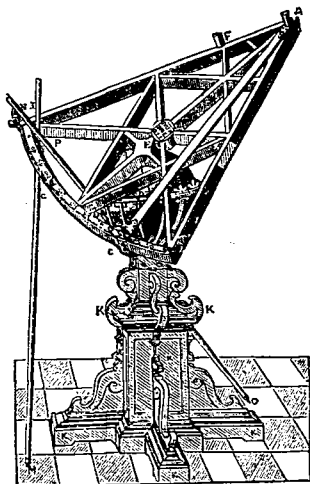
звѣздѣ, и Тихо Браге папечатавъ статью о ней еще до того, какъ она погасла. Позднѣ онъ написалъ объ этой звѣздѣ подробную книгу. О содержаніи другихъ сочиненій едвали нужно что-нибудь отмѣчать кромѣ того, что въ нихъ указывалось, согласно лѣтописямъ, появленіе новой звѣзды приблизительно на томъ же мѣстѣ въ 945 и 1264 г.

68. Въ 1573 году Тихо Браге женился на дѣвушкѣ по имени Христина, не дворянскаго рода. Неизвѣстно, была ли она дочь крестьянина или пастора, по этотъ шагъ во всякомъ случаѣ еще ухудшилъ плохія отношенія Браге къ дворянству. Правда въ 1574 году онъ купилъ домъ въ Копенгагенѣ, а въ слѣдующемъ году по желанію короля читалъ лекціи въ университетѣ, но въ 1576 году поѣхалъ въ Германію, отчасти, чтобы посѣтить старыхъ друзей, отчасти же, чтобы искать себѣ новаго мѣстожительства. Тихо собирався поселиться въ Базелѣ; но когда въ слѣдующемъ году онъ снова вернулся домой, король, по совѣту своихъ совѣтниковъ, рѣшилъ удерживать Тихо Браге на родинѣ, назначивъ ему жалованіе (500 талеровъ) и островъ Гвенъ (Hveen) въ видѣ лена въ пожизненное владѣніе. Кромѣ того король назначилъ ему 400 талеровъ на постройку дома и позднѣе далъ еще другіе лены. Эта королевская щедрость дала Браге возможность построить на островѣ Гвенѣ Урашенборгъ—своеобразное зданіе, содержавшее много достопримѣчательностей и художественныхъ предметовъ п окруженное фруктовыми садами и стѣнами. Замокъ этотъ былъ художественно отдѣланъ и богато украшенъ портретами великихъ людей прошлаго и различными изрѣченіями. Изъ послѣднихъ, кажется, любимымъ было повторявшееся въ различныхъ формахъ „*pop habet, sed esse*“ (не казаться, но быть). Обсерваторія была снабжена также большой библіотекой, звѣздными глобусами и инструментами. Послѣдніе помѣщались большей частью въ подземной обсерваторіи „Шернборгъ“ (рис. 50), воздвигнутой возлѣ самаго Урашенборга въ 1584 г.

Тихо Браге принималъ въ Урашенборгѣ визиты князей, ученыхъ и государ-

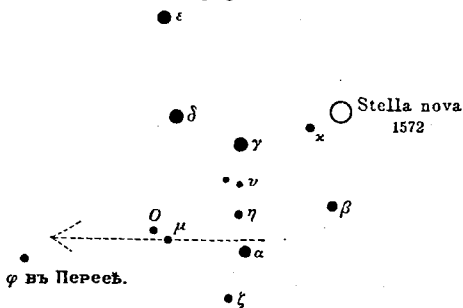
Рис 46

SEXTANS ASTRONOMICVS
TRIGONICVS PRO DISTANTIIS
rimandis.



Большой секстанъ Тихо Браге.

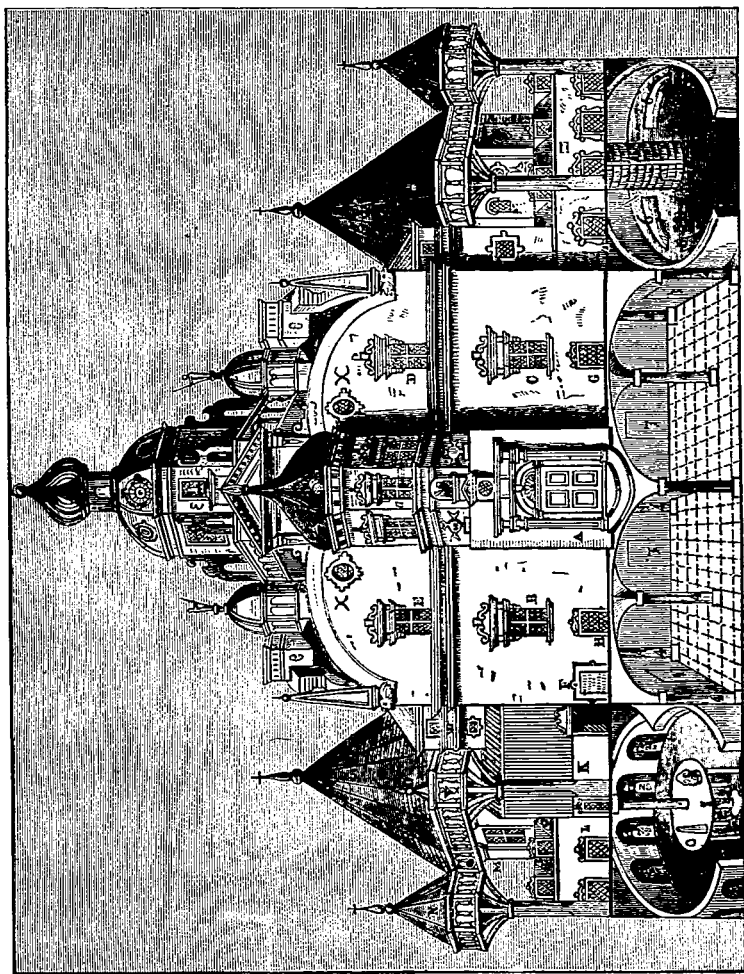
Рис 47.



Кассіопея съ новой звѣздой Тихо Браге.

ственныхъ людей изъ чужихъ краевъ, а въ числѣ его учениковъ были не только лица, достигшія позднѣе высокихъ положеній (епископы, профессора и т. д.), но также и простые крестьяне, имена которыхъ извѣстны и теперь. Въ теченіе цѣлаго ряда лѣтъ Ураниенборгъ былъ духовнымъ центромъ, нерѣдко дававшимъ импульсы и не одной только астрономіи.

Рис. 48

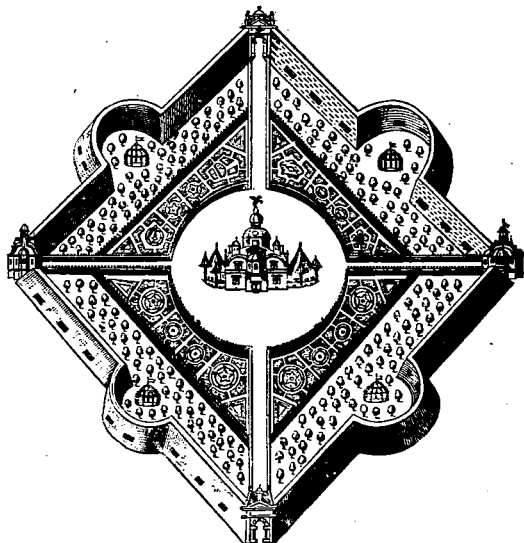


Ураниенборгъ.

69. Самую выдающуюся работу Тихо Браге, какъ астронома, представляютъ его необычайно-точные измѣренія, съ которыми не могутъ сравниться даже измѣренія Гиппарха. Его искусство въ конструированіи инструментовъ и въ умѣнціи пользоваться ими, неутомимая заботливость, съ которой онъ производилъ и повторялъ свои

измѣренія, стоятъ на недостигаемой высотѣ, а его наблюденія представляютъ лучшее, что было сдѣлано въ теченіе слѣдующихъ двухсотъ лѣтъ, не смотря на то, что нѣсколько лѣтъ спустя послѣ его смерти въ употребленіе вошелъ телескопъ. Даже и

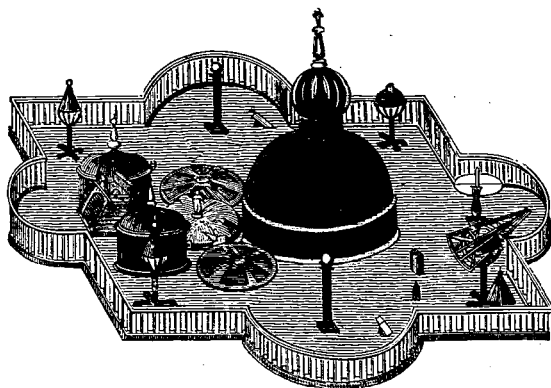
Рис. 49



Планъ Ураніенборга и окружающей мѣстности.

теперь эти измѣренія представляютъ интересъ, какъ очень достовѣрный матеріалъ, имѣющій за собою уже три столѣтія. Какъ важный примѣръ превосходныхъ спосо-

Рис. 50



Шернборгъ.

бовъ наблюденія Тихо Браге, можно отмѣтить, что онъ опредѣлялъ положеніе звѣзды по наблюденію ея прохожденія черезъ меридіанъ, не только измѣряя ея высоту

въ меридіанѣ, но и отмѣчая моментъ прохожденія. Первое даетъ склоненіе (разстояніе отъ экватора) звѣзды, послѣднее — ея разстояніе къ востоку или къ западу отъ опредѣленной исходной точки. Какъ производилось наблюденіе, показывается рис. 52. Помощникъ *F* наблюдаетъ высоту свѣтила и выкрикиваетъ моментъ прохожденія, помощникъ *H* отсчитываетъ въ этотъ моментъ часы, а помощникъ *G* отмѣчаетъ результаты.

На точныхъ опредѣленіяхъ положеній планетъ, которыя произвелъ Тихо Браге Кеплеръ обосновалъ свою систему міра (§ 72). Въ одномъ вопросѣ Тихо Браге не

Рис. 51



Посѣщеніе Тихо Браге королемъ Яковомъ Шотландскимъ.

только сдѣлалъ измѣреніе, но далъ также и выводъ изъ него. Какъ выяснилось изъ его измѣреній, кометы такъ далеки отъ земли, что не могутъ, какъ это думалъ Аристотель, быть испареніями земной атмосферы, но должны быть небесными тѣлами, двигающимися по удлинненнымъ путямъ. Этимъ была разбита старая теорія круговаго движенія на хрустальныхъ сферахъ и дано важное указаніе въ пользу законовъ Кеплера.

70. Тихо Браге не призналъ законовъ Кеплера соответствующими истинѣ. Еслибы земля дѣйствительно двигалась около солнца, то по его мнѣнію за полгода она должна была бы смѣщаться настолько (на поперечникъ земной орбиты), что должно было бы обнаружиться перемѣщеніе тѣхъ звѣздъ, которыя находятся вертикально надъ плоскостью земной орбиты. Если въ мартѣ земля находится въ точкѣ M (рис. 53), а въ сентябрѣ въ S , то звѣзда ζ должна быть видна въ различныхъ направленіяхъ. Долженъ существовать уголъ $M\zeta S$, такъ называемый параллаксъ. Однако Тихо Браге не удалось найти его. Допущеніе, что ζ такъ далеко, что этотъ уголъ

Рис. 52



Наблюденіе высоты свѣтила въ меридіанѣ.

не поддается даже тонкимъ измѣреніямъ Тихо Браге, также казалось невѣроятнымъ. Въдѣ въ этомъ случаѣ параллаксъ звѣзды былъ бы гораздо меньше видимыхъ угловыхъ размѣровъ ея диска¹⁾ и потому выходило бы, что дѣйствительные размѣры звѣзды значительно больше діаметра земной орбиты. Нѣкоторые ученые, желая умалить значеніе Тихо Браге, утверждали, что онъ не былъ великимъ умомъ, такъ какъ не могъ согласиться съ Коперникомъ. Однако это и несправедливо и невѣрно исторически.

¹⁾ Браге оцѣнивалъ діаметры дисковъ яркихъ звѣздъ въ 2'—3', погрѣшности же его наблюденій, въ которыхъ параллаксъ могъ остаться скрытымъ, были меньше 1'. *Прим. пер.*

Подъ портретомъ Коперника, который былъ полученъ отъ самого Коперника и повѣшенъ въ Ураніенборгѣ, Тихо написалъ латинскою стихъ, въ которомъ выражалъ свое удивленіе челоуѣку, рѣшившемуся заставить неподвижную до того землю двигаться и свободно висѣть въ воздухѣ. Это, однако, не мѣшало ему и критиковать, и притомъ справедливо, скудныя и отчасти ошибочныя наблюденія Коперника. Его ученикъ Е. О. Морзингъ опредѣлилъ секстаномъ широту Фрауенбурга и, разоидясь съ Коперникомъ, нашель ту величину, которую предполагалъ Тихо Браге. То, что Тихо Браге отстаивалъ неподвижность земли, является свидѣтельствомъ его любви къ истинѣ, такъ какъ онъ полагался здѣсь на то, что говорили ему чувства, а противоположное въ то время еще ничѣмъ не было доказано. Отсутствие параллакса у неподвижныхъ звѣздъ еще и въ слѣдующіе вѣка являлось камнемъ преткновенія, хотя въ то время уже стали извѣстны другія достовѣрныя доказательства движенія земли.

71. По смерти Фридриха II для Тихо Браге настало время разочарованій и огорченій, причина которыхъ отчасти лежала и въ его своенравномъ характерѣ. Больше всего сердило его то, что болѣе молодые дворяне, замѣщавшіе при королевскомъ дворѣ старыхъ, дѣлали ему всевозможныя препятствія. Браге терялъ одинъ день за другимъ, и эта переменная обстоятельство такъ испортила ему жизнь на Гвенѣ, что въ 1597 году онъ рѣшилъ покинуть Данію. Слѣдующую зиму вмѣстѣ со своей семьей и тѣми изъ помощниковъ, которые послѣдовали за нимъ, по приглашенію графа Ранцау Тихо провель въ Вандсбекѣ. Здѣсь онъ закончилъ свою важнѣйшую работу, списокъ 1000 слишкомъ неподвижныхъ звѣздъ. Императоръ Рудольфъ II пригласилъ Браге въ Прагу и онъ пытался продолжать здѣсь свои работы. Но, когда императоръ замѣтилъ, что пребываніе въ городѣ ему не нравится, то предложилъ Браге на выборъ три замка. Тихо избралъ Бенатекъ; онъ работалъ здѣсь еще нѣсколько лѣтъ, но, очевидно, сильно тосковалъ по родинѣ и по своимъ старымъ друзьямъ, а особенно по своему ученику Лонгомонтанѣ. Даже характеръ Тихо Браге въ извѣстной мѣрѣ измѣнился. Ранѣе открытый и общительный, теперь Тихо сталъ недоувѣрчивымъ и замкнутымъ, такъ что даже его новый замѣчательный помощникъ Иоганнъ Кеплеръ лишь съ трудомъ могъ получать отъ него необходимыя разъясненія. Тихо Браге умеръ въ 1601 году и былъ похороненъ съ царской пышностью въ церкви Тайна въ Прагѣ. Спустя три года умерла его вдова, похороненная на томъ же мѣстѣ.

Ураніенборгъ скоро пришелъ въ разрушеніе. Гюэ, посѣтившій островъ въ 1562, и Пикарь въ 1671 году лишь съ трудомъ могли найти мѣсто, гдѣ онъ стоялъ. По Копенгагенскому миру въ 1660 г. островъ Гвенъ перешель къ Швеціи и когда въ 1823 и 1824 г. здѣсь были предприняты раскопки, то не было найдено почти ничего кромѣ камня у спуска въ Шернборгъ съ (латинской) надписью: „Не власть и богатство, а искусство владѣеть скипетромъ всѣхъ временъ“.

72. Иоганнъ Кеплеръ родился въ 1572 году въ Вюртембергскомъ городѣ Вейтѣ. За отсутствіемъ родителей — его отецъ нанялся въ войска герцога Альбы — онъ получилъ первое воспитаніе отъ дѣда и бабушки. Дальнѣйшее образованіе, по-

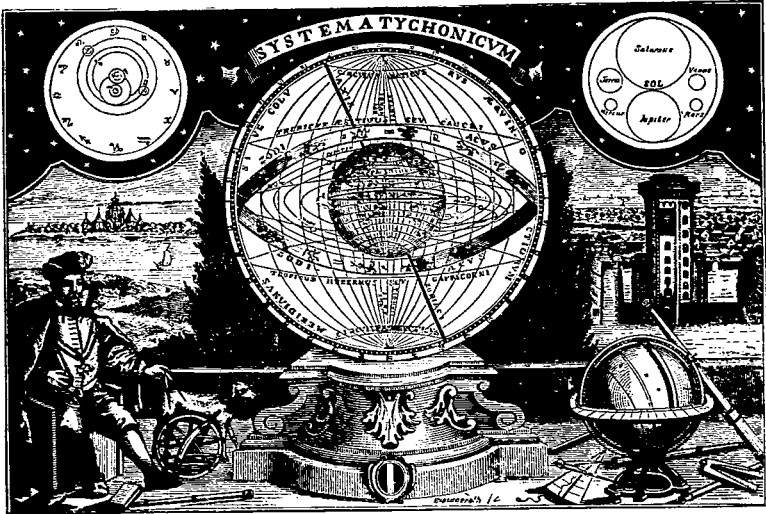
Рис. 53



Линія зрѣнія къ звѣздѣ съ концовъ поперечника земной орбиты.

лученное имъ въ Леонбергъ и позднѣе въ Эльмендингенъ, въ Баденъ, гдѣ поселились его родители по возвращеніи, было довольно скудно; но затѣмъ онъ посѣщалъ монастырскую школу въ Гирзау и Маульброннъ, а послѣ поступилъ въ Тюбингенскій университетъ для изученія богословія. Здѣсь въ лицѣ астронома и математика Мэстлина, очень образованнаго человѣка и приверженца Коперникова ученія, онъ нашелъ не только превосходнаго учителя, но и вѣрнаго друга на всю жизнь. Благодаря рекомендаціи Мэстлина Кеплеръ въ возрастѣ 22 лѣтъ былъ назначенъ профессоромъ математики въ Грацѣ. Здѣсь онъ составилъ календарь и издалъ сочиненіе¹⁾, въ кото-

Рис. 54



Система міра по Тихо. Рисунокъ изъ „Danske Adelsmaend“; слѣва Гвеевъ, Тихо и его система міра, справа воздвигнутая позднѣе „Круглая башня“, телескопъ и сравнительные размѣры планетъ.

ромъ указывалъ своеобразный законъ для разстояній планетъ отъ солнца. Кеплеръ нашелъ, что каждый изъ пяти правильныхъ многогранниковъ можно помѣстить между двумя изъ шести планетъ такъ, что одна планета двигается по шару, проходящему черезъ углы этого тѣла, а другая по шару, который касается плоскостей тѣла (описанный и вписанный шаръ). Такъ, между Меркуріемъ и Венерой можно помѣстить октаэдръ, между Венерой и землей икосаэдръ, между землей и Марсомъ додекаэдръ, между Марсомъ и Юпитеромъ тетраэдръ, а между Юпитеромъ и Сатурномъ гексаэдръ (кубъ). Правило это не вполне точно, но напоминаетъ философію чиселъ (Пифагоръ); книга обратила на Кеплера вниманіе, между прочимъ, также вниманіе Тихо Браге, который въ то время былъ въ Вандсбекѣ. Онъ написалъ Кеплеру и пригласилъ его пріѣхать къ себѣ. Впослѣдствіи, благодаря точнымъ наблюденіямъ

¹⁾ Prodomus dissertationum cosmographicarum continens: Mysterium cosmographicum.

Тихо Браге, Кеплеръ оставилъ эти мало удачныя умозрѣнія; именно послѣднія наблюденія и дали ему возможность открыть истинные законы планетныхъ движеній.

Кеплеръ женился на одной молодой вдовѣ, но долженъ былъ оставить семью въ Грацѣ, такъ какъ молодой эрцгерцогъ Фердинандъ, воспитанникъ иезуитовъ, далъ обѣтъ Св. Дѣвѣ искоренить въ своей странѣ протестантизмъ. Тихо Браге снова пригласилъ Кеплера изъ Праги, когда послѣдній былъ уже въ пути. Мѣстлинъ также старался найти ему мѣсто въ Вюртембергѣ, но напрасно. Поэтому Кеплеру пришлось удовлетвориться положеніемъ, предложеннымъ Тихо Браге, который

Рис. 55



Иоганнъ Кеплеръ.

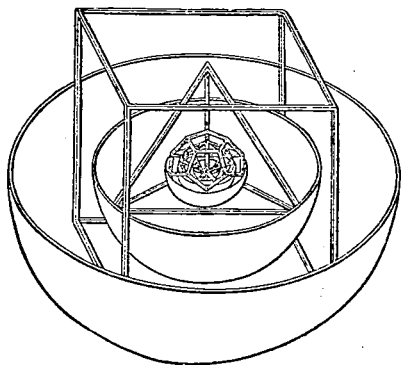
вслѣдствіе своего состоянія въ это время не могъ быть пріятнымъ начальникомъ; не улучшило положенія и то, что, по мнѣнію жены Кеплера, ея мужъ не долженъ былъ принимать этого подчиненнаго положенія.

75. Послѣ послѣдовавшей вскорѣ смерти Тихо Браге, Кеплеръ сдѣлался королевскимъ астрономомъ, однако съ жалованіемъ только въ половину того, что получалъ Тихо Браге. Положеніе его отягощалось еще тѣмъ обстоятельствомъ, что королевское казначейство очень часто не было въ состояніи выплачивать Кеплеру содержаніе. Вдова и дѣти Тихо Браге также получили за инструменты несоотвѣтственное вознагражденіе. Вслѣдствіе этого Кеплеръ часто терпѣлъ нужду и, не имѣя денегъ для астрономическихъ инструментавъ, онъ отдавалъ часть своего

времени на изучение свѣта и глаза, о чемъ будетъ рѣчь ниже. Къ заботамъ о пропитаніи присоединялись и семейныя. Его мать была запутана въ одинъ процессъ о вѣдмахъ, жена была душевнобольная и трое изъ его дѣтей умерли.

Подъ гнетомъ такихъ безутѣшныхъ обстоятельствъ Кеплеръ дѣлалъ свои безсмертныя открытія и находилъ тѣ законы, которые навсегда будутъ носить его имя. Изъ вычислений движенія Марса по результатамъ наблюдений Тихо Браге оказалось, что путь этой планеты есть эллипсъ (рис. 57), въ одномъ изъ фокусовъ котораго лежитъ солнце *S*. Это подтвердилось и для остальныхъ планетныхъ путей, которые всѣ оказались менѣе растянутыми (эксцентрическими), чѣмъ орбита Марса.

Рис. 56



Правильныя тѣла и планеты.

между среднимъ разстояніемъ планеты отъ солнца и временемъ ея обращенія. Квадраты времени обращенія пропорціональны кубамъ среднихъ разстояній. Если принять, на примѣръ, разстояніе земли отъ солнца за единицу длины, а ея время обращенія (годъ) за единицу времени, то для Юпитера разстояніе будетъ $5 \cdot 2$, а время обращенія $11 \cdot 9$. Но $\frac{1^3}{5 \cdot 2^3} = \frac{1^2}{11 \cdot 9^2}$. Оба знаменателя приблизительно равны 141.

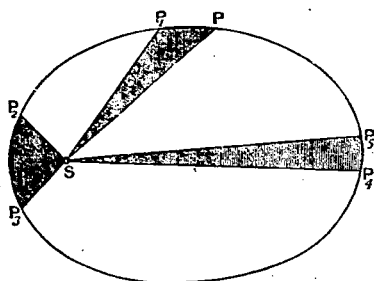
Первые два закона Кеплеръ опубликовалъ въ „*Astronomia nova*“ (Прага 1609), третій въ „*Harmonices mundi*“ (Линць 1619).

Три закона Кеплера не только совершенно справедливы; но они содержатъ также совершенно исчерпывающее описаніе пути, скорости, разстоянія отъ солнца и времени обращенія планетъ. Какъ мы увидимъ ниже, они образуютъ основаніе для теоріи силъ, которая ведетъ планеты по ихъ путямъ и о которыхъ Кеплеръ, повидимому, также догадывался.

О тѣхъ вспомогательныхъ средствахъ, которые позволили Кеплеру сдѣлать эти важныя открытія, онъ самъ выражается въ предисловіи къ „*Astronomia nova*“ слѣду-

Второй Кеплеровъ законъ касается скорости планетъ въ различныхъ мѣстахъ ихъ путей. Эта скорость бываетъ наибольшей, когда планета ближе всего къ солнцу, и наименьшей, когда она дальше всего отъ него. Кеплеръ нашелъ, что если вообразить себѣ линію изъ солнца (radius vector) движущейся вмѣстѣ съ планетой, то эта линія въ равныя времена будетъ описывать равныя площади. На нашемъ рисункѣ секторы SP_1P_1 , SP_2P_2 и SP_4P_3 обозначаютъ равныя площади, которыя радиус-векторъ описываетъ въ различныхъ мѣстахъ орбиты въ равныя времена. Третій Кеплеровъ законъ даетъ связь между

Рис. 57



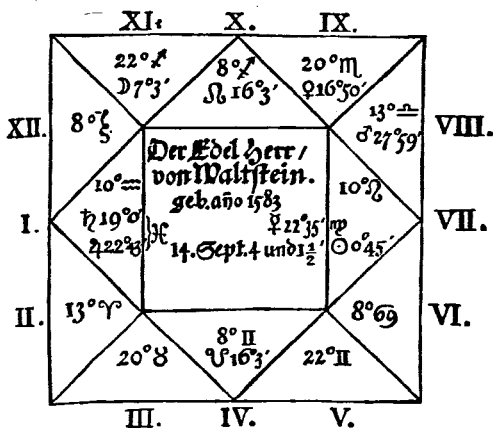
Планетная орбита.

ющимъ образомъ: „Астрономы не умѣли побѣдить этого бога войны (Марса). Но превосходный полководецъ Тихо за 20 лѣтъ ночныхъ бодрствованій раскрылъ его военныя хитрости и я, при помощи бѣга матери-земли, обошелъ всѣ его кривыя пути“. Послѣдними словами Кеплеръ, очевидно, указываетъ на то, что онъ дѣлалъ свои вычисления въ предположеніи движешя земли вокругъ солнца.

74. Несмотря на то, что императоръ предъявлялъ притязанія на услуги Кеплера при различныхъ обстоятельствахъ, напримѣръ, на рейхстагѣ въ Регенсбургѣ для введенія новаго календаря, Кеплеру все время—и раньше и позже—приходилось

Рис. 58

**Horoscopium gestellet durch
Ioannem Keplerum
1608.**



Гороскопъ Валленштейна, составленный Кеплеромъ.

бороться съ лишениями. Впрочемъ, онъ получилъ нѣсколько лучшее мѣсто учителя математики окружной школы въ Линцѣ, удержавъ и положеніе придворнаго астронома. Однако деньги, обѣщанныя ему императоромъ Фердинандомъ II за опубликованіе Рудольфинскихъ таблицъ, не были выплачены. Императоръ далъ разрѣшеніе взыскать ихъ съ имперскихъ городовъ Нюрнберга, Ульма и Мемингена, изъ которыхъ только два послѣднихъ уплатили требуемую сумму. Между тѣмъ печатаніе этого труда въ Ульмѣ началось. За получаемымъ причитывающимся еще 12000 гульденовъ Кеплера отослали къ Валленштейну, получившему въ ленъ Мекленбургъ. Кеплеръ отправился къ Валленштейну, котораго нашелъ въ Заганѣ, въ Шлезіи. Валленштейнъ, приверженецъ астрологій, принялъ, правда, Кеплера и поручилъ ему составить свой гороскопъ (рис. 58), но о 12 000 гульденовъ не хотѣлъ и слышать. Взамѣнъ того онъ предложилъ Кеплеру профессуру въ Ростокѣ, которую послѣдній, однако, отклонилъ. Приведенный въ отчаяніе этимъ дѣломъ, Кеплеръ направилъ путь въ Регенсбургъ съ цѣлью поддержать тамъ передъ

рейхстагомъ свои требованія. Здѣсь Кеплеръ умеръ вслѣдствіе тягостей пути спустя нѣсколько дней послѣ своего прибытія, 16 ноября 1630 года. Онъ былъ погребенъ внѣ стѣнъ города; двумя годами позднѣе, при осадѣ и штурмѣ города саксонцами и шведами, его гробница была разбита и слѣды ея потерялись, такъ что мѣсто упокоенія Кеплера остается неизвѣстнымъ. Въ 1808 году князь Дальбергъ воздвигнулъ ему памятникъ въ общественномъ саду, который выходитъ уже за стѣны города. Въ родномъ городѣ Вейлѣ Кеплеру также воздвигнуть памятникъ (1870). О своемъ трудѣ Кеплеръ самъ (въ *Harmonices mundi*, въ концѣ главы IX пятой книги) выражается слѣдующимъ образомъ: „Благодарю Тебя, Господь и Творецъ, что Ты далъ мнѣ наслаждаться Твоимъ твореніемъ и ликовать о дѣлахъ рукъ Твоихъ. Я открылъ людямъ великолѣпіе Твоихъ твореній, поскольку могъ охватить ихъ безконечность мой ограниченный разумъ. Если я сказалъ что-либо недостойное Тебя или искалъ у людей славы для себя, то милосердно прости мнѣ“.

С В Ъ Т Ъ

Отъ древнѣйшихъ временъ до Ньютона

С в ѣ т ъ

75. Первымъ проявленіемъ сознанія у ребенка является способность „видѣть“, т. е. знать, что въ томъ направленіи, по которому приходитъ свѣтъ, находится какой-то предметъ. Ребенокъ научается этому, безъ сомнѣнія, только изъ опыта и эту способность нельзя считать врожденной. Въ доказательство вѣрности этого можно привести тотъ фактъ, что одинъ французъ, у котораго вѣки были сращены отъ рожденія и затѣмъ были раскрыты при помощи операціи, когда ему было уже болѣе тридцати лѣтъ, сначала не ощущалъ при этомъ ничего особеннаго и ему пришлось учиться видѣть.

Тысячи опытовъ постоянно внушаютъ намъ и укрѣпляютъ убѣжденіе, что въ томъ направленіи, въ которомъ мы видимъ что-нибудь, дѣйствительно что-то находится. Беря въ руки какой-нибудь предметъ или касаясь его, мы всякій разъ получаемъ новое подтвержденіе этого. И потому-то врядъ ли существуютъ лучшіе способы вызвать совершенный обманъ чувствъ, чѣмъ тѣ, въ которыхъ свѣтъ отъ предмета—при помощи, на примѣръ, средствъ, упоминаемыхъ ниже,—попадаетъ въ глазъ не прямымъ, а какимъ-либо инымъ путемъ.

Мы часто пользуемся на практикѣ прямолинейностью распространенія свѣта, когда желаемъ добиться большой точности. „Визируя“ по двумъ точкамъ на третью, мы основываемся на томъ, что три точки должны лежать на одной прямой, разъ онѣ кажутся намъ лежащими на одной и той же визирной линіи. Такъ именно топографъ убѣждается въ томъ, что его вѣхи поставлены по прямой, столяръ повѣряетъ правильность какого-нибудь ребра: они смотрятъ, лежатъ ли на одной и той же визирной линіи всѣ нужная имъ точки или нѣтъ.

Въ основѣ всего этого лежитъ тотъ фактъ, что свѣтъ распространяется прямолинейно. Это положеніе было высказано греками уже въ V вѣкѣ до Р. X. И подобно тому, какъ безсознательное воспріятіе этого положенія составляетъ первое проявленіе сознанія у ребенка, такъ и первая сознательная формулировка его представляетъ первый примѣръ установленія закона природы. Подъ закономъ природы мы понимаемъ здѣсь краткое и точное выраженіе общаго въ многообразіи явленій, въ остальномъ, быть можетъ, чрезвычайно различныхъ.

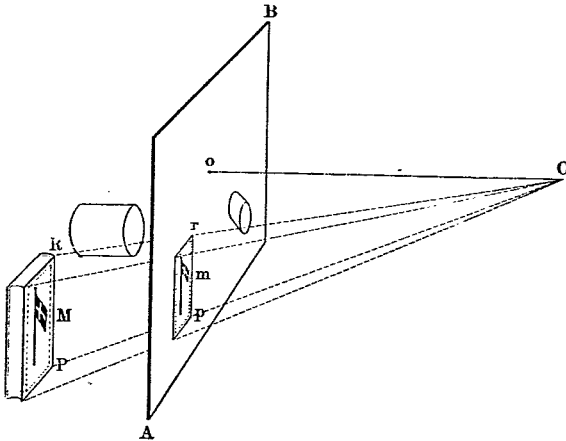
76. Установленіе этого закона представляетъ превосходный примѣръ всей важности того шага, который дѣлается при переходѣ отъ безсознательнаго приложенія закона къ его сознательной формулировкѣ.

При представлешяхъ греческихъ трагедій въ V столѣтіи до Р. X. пользовались неглубокой сценой. Чтобы лучше воздѣйствовать на фантазію, греки зарисовывали задній фонъ сцены; при этомъ они рисовали не такія картины, которыя точно изображали

какое-нибудь дѣйствіе или работу, какъ это мы находимъ у болѣе древнихъ народовъ, напримѣръ, у халдеевъ и египтянъ, а представляли дома и т. п.; при этомъ они, однако, не гнались за точностью деталей, а старались лишь вызвать иллюзію у зрителей, вниманіе которыхъ должно было обращаться главнымъ образомъ на актеровъ; фонъ долженъ былъ производить впечатлѣніе, будто позади актеровъ находятся настоящіе дома.

Въ такой приблизительно формѣ представилъ эту задачу Агаѳаркъ и въ такомъ видѣ рѣшилъ ее Анаксагоръ и Демокритъ, которые построили ученіе о перспективѣ исключительно на томъ положеніи, что свѣтъ распространяется по прямой линіи. Демокритъ написалъ также „ученіе о прямой линіи“, которое, къ сожалѣнію, не дошло до насъ и, вѣроятно, было посвящено законамъ перспективы.

Рис. 59



Начало перспективы.

Основу перспективы составляетъ слѣдующее: если провести отъ различныхъ точекъ предмета RMP линіи къ глазу O , то глазъ получаетъ свѣтъ по направленіямъ RO , MO и PO . Но съ какого разстоянія приходитъ этотъ свѣтъ, глазъ непосредственно не онущаетъ. Поэтому, будетъ ли свѣтъ исходить изъ точки R или изъ точки r доски, онъ долженъ производить одно и то же дѣйствіе. Такимъ образомъ, искусство здѣсь состоитъ въ томъ, чтобы дать на доскѣ такой рисунокъ, который посылалъ бы глазу свѣтъ такъ, какъ посылаетъ его самъ предметъ; для этого свѣтъ отъ рисунка долженъ выходить изъ тѣхъ точекъ его, въ которыхъ линіи зрѣнія къ дѣйствительному предмету пересѣкали бы плоскость рисунка. Для этого служить цѣлый рядъ математическихъ положеній, которыя составляютъ ученіе о перспективѣ; но мы не можемъ входить здѣсь въ дальнѣйшія детали. Такимъ образомъ, законъ прямолинейнаго распространенія свѣта составляетъ основаніе цѣлой науки.

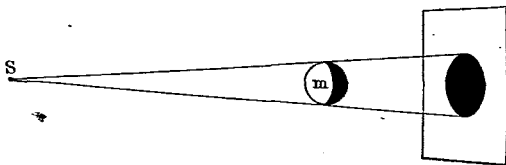
Въ области естествознанія главную силу грековъ составляла по преимуществу мыслительная работа. Имъ были извѣстны только немногіе законы природы, но ихъ

способность использовать тѣ немногіе куски благороднаго металла, которые они находили, будетъ возбуждать удивленіе во всѣ времена.

77. Другую отрасль науки, близкую къ перспективѣ, составляетъ ученіе о тѣняхъ, основанное на томъ же законѣ природы.

Свѣтовые лучи расходятся отъ свѣтящейся точки S по прямымъ линіямъ. Часть ихъ, вправо отъ источника свѣта (рис. 60), попадаетъ на экранъ и освѣщаетъ его; однако, тѣ лучи, которые падаютъ на тѣло m , не достигаютъ экрана и на послѣднемъ получается неосвѣщенное мѣсто, такъ называемая тѣнь тѣла. Пространство между нею и самимъ тѣломъ также называется его тѣнью. Для того, чтобы начертить тѣнь отъ какого-нибудь предмета, нужно, такимъ образомъ, провести изъ свѣтящейся точки S

Рис. 60



Образованіе тѣни.

прямая линія, которая касается тѣла, и найти точки, въ которыхъ эти линіи встрѣчаютъ экранъ или другую поверхность. Способы рѣшенія этой задачи и составляютъ содержаніе ученія о тѣняхъ.

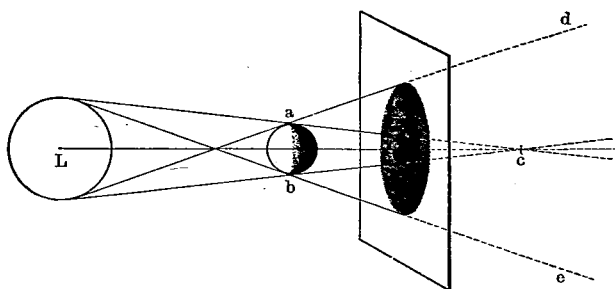
Если источникомъ свѣта является не точка, а цѣлое тѣло (рис. 61), то изъ каждой его точки пужно провести линіи, касающіяся тѣла, отбрасывающаго тѣнь. Каждая точка свѣтящагося тѣла образуетъ тѣнь. Всѣ эти тѣни болѣе или менѣе налагаются другъ на друга. На инья мѣста (черное пятно) не попадаетъ никакого свѣта, тогда какъ на другія мѣста (полутемныя) попадаетъ часть свѣтовыхъ лучей. На первомъ мѣстѣ образуется ядро тѣни, а на другихъ полутѣнь (слово „полу“ не слѣдуетъ понимать буквально). Если свѣтящееся тѣло больше предмета, отбрасывающаго тѣнь, то съ удаленіемъ экрана поперечникъ ядра тѣни уменьшается. Если экранъ удалится по ту сторону точки e , то на немъ вовсе не получится ядра тѣни. Напротивъ того, полутѣнь съ удаленіемъ экрана увеличивается; увеличивается также и ядро тѣни, если свѣтящееся тѣло меньше того, которое отбрасываетъ тѣнь.

78. Повидимому, у грековъ существовали различныя мнѣнія относительно того, обусловленъ ли процессъ зрѣнія чѣмъ-нибудь такимъ, что исходитъ изъ глаза, или же тѣмъ, что исходитъ изъ самого свѣтящагося предмета. Аристотель придерживается послѣдняго взгляда, а именно, что свѣтъ есть дѣйствіе, которое исходитъ изъ предмета и дѣйствуетъ на глазъ, такъ какъ иначе можно было бы видѣть одинаково хорошо и въ темнотѣ и на свѣту. Нѣсколькимъ философамъ приписывается мнѣніе, что это дѣйствіе исходитъ изъ глаза, но приписывается, можетъ быть, просто по недоразумѣнію. Въ ученіи о перспективѣ прямая линія проводится отъ глаза къ различнымъ точкамъ предмета и если, быть можетъ, Демокритъ въ своемъ „Ученіи о прямой линіи“ такъ именно и выражался, то отсюда не слѣдуетъ, что онъ этимъ утверждалъ, будто свѣтовой или зрительный эффектъ распространяется именно

этимъ путемъ. Въ самомъ дѣлѣ, для изложенія ученія о перспективѣ совершенно безразлично, въ какомъ направленіи идетъ свѣтъ; здѣсь имѣетъ значеніе только прямолинейность его распространенія и больше ничего. И удобнѣе всего рисовать лишь зрѣнія, начиная съ глаза.

Если такой человекъ, какъ Птолемей, говорилъ о лучахъ, какъ о чемъ-то, исходящемъ изъ глаза, то это происходило, можетъ быть, только потому, что въ то время совершенно ничего не было извѣстно о направленіи, въ которомъ распростра-

Рис. 61



Тѣнь и полутѣнь.

няется свѣтъ. Птолемей описываетъ эти явленія съ такой математической простотой, какая только возможна; такимъ же образомъ онъ и движенія небесныхъ тѣлъ представлялъ себѣ такъ, какъ они кажутся глазу.

Если Платонъ думалъ, что въ этомъ случаѣ долженъ дѣйствовать и предметъ и глазъ, то онъ могъ привести доказательство подобное тому, какое давалъ Аристотель, а именно, что нельзя видѣть безъ свѣта, но нельзя также видѣть и безъ глаза.

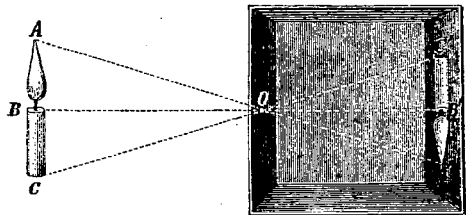
Только сравнительно недавно, уже въ новѣйшее время удалось опредѣлить опытнымъ путемъ, въ какомъ именно направленіи распространяется свѣтъ. Въ подобныхъ вопросахъ одно философствованіе не можетъ рѣшить дѣла.

79. Другія явленія, которыя также находятъ себѣ объясненіе въ прямолинейномъ распространеніи свѣта, представляетъ камера-обскура. Ящикъ или комната устраивается такъ, что свѣтъ можетъ входить въ нихъ только черезъ одно маленькое отверстіе O (рис. 62) Въ такомъ случаѣ на противоположной стѣнкѣ получаютъ изображенія предметовъ, которые находятся передъ отверстіемъ. Свѣтъ, выходящій изъ точки A предмета и вступающій въ отверстіе O , попадаетъ на точку A' и освѣщаетъ ее. Такимъ же образомъ лучи, исходящіе изъ B и C , попадаютъ на стѣнку въ точкахъ B' и C' . Значитъ, получаемое изображеніе будетъ обратнымъ (перевернутымъ). Оно будетъ одинаковой величины съ самимъ предметомъ, если оно получается на томъ же разстояніи отъ отверстія, на которомъ находится предметъ; если разстояніе изображенія отъ отверстія будетъ больше или меньше разстоянія предмета, то оно соотвѣтственно будетъ больше или меньше самого предмета.

Вообще такое изображеніе не будетъ очень яркимъ, такъ какъ сквозь отверстіе можетъ проходить лишь небольшое количество свѣта отъ каждой точки пред-

мета. Если увеличить отверстие, то свѣтъ, исходящій изъ какой-нибудь точки предмета, будетъ освѣщать большее мѣсто на стѣнѣ и притомъ больше, чѣмъ само отверстие. Въ этомъ случаѣ, конечно, также получается изображеніе, но оно не отличается рѣзкостью, такъ какъ для рѣзкости необходимо, чтобы каждая точка предмета пере-

Рис. 62



Простая камера-обскура.

80. Достоверно неизвѣстно, кто первый сталъ пользоваться камерой-обскурой. О ней говоритъ Роджеръ Бэконъ; можетъ быть, онъ и изобрѣлъ ее. Это былъ одинъ изъ первыхъ крупныхъ людей въ новыхъ европейскихъ университетахъ. Онъ много занимался изслѣдованіемъ свѣта.

Роджеръ Бэконъ былъ сынъ состоятельныхъ родителей; родился онъ въ 1214 г. въ городкѣ Ильчестерѣ (Сомерсетъ). Сначала въ Оксфордѣ, а затѣмъ въ Парижѣ онъ учился латинскому, греческому, еврейскому, арабскому языкамъ, а позднѣе математикѣ, астрономіи и естествознанію. Какъ очень ученый человекъ, онъ получилъ мѣсто преподавателя въ Оксфордѣ. Подобно большинству ученыхъ того времени, онъ былъ монахомъ. Невѣжество и безнравственность его собратьевъ по ордену (францисканцевъ) возбудили его неудовольствіе и онъ не удержался отъ упрековъ по ихъ адресу на этотъ счетъ. Кромѣ того, онъ имѣлъ неосторожность открыто заявлять, что сочиненія Аристотеля мѣшаютъ всякому прогрессу; онъ будто бы даже выразился, что „еслибы могъ, то сжегъ всѣ сочиненія Аристотеля“. А такъ какъ, кромѣ того, онъ занимался такими вещами, которыя были непонятны его современникамъ (камера-обскура), то врагамъ нетрудно было обвинить Бэкона въ магіи и ереси, за что онъ и былъ брошенъ въ тюрьму. Правда, въ 1265 г., когда на папскій престолъ вззошелъ одинъ изъ его покровителей, Климентъ IV, онъ былъ освобожденъ, но только на нѣсколько лѣтъ. Въ это время онъ написалъ свое „Opus majus“ о природѣ; въ этой книгѣ Бэконъ хотѣлъ дать доказательство, что онъ занимался только обыкновенными вещами. Повидимому, Бэконъ также первый выступилъ съ предложеніемъ объ улучшеніи календаря, на что, однако, Климентъ IV не отважился. Время для такихъ улучшеній пришло только триста лѣтъ спустя.

Въ 1278 г. Бэконъ по требованію генерала ордена францисканцевъ былъ снова осужденъ во Франціи, гдѣ онъ въ то время жилъ, и снова былъ заключенъ въ тюрьму. Его выпустили на свободу только въ 1288 г. Послѣднія четыре или шесть лѣтъ жизни онъ провелъ въ Оксфордѣ и, повидимому, сожалѣлъ о томъ, что отдалъ такъ много труда дѣлу науки.

„Великій трудъ“ Бэкона — удивительная книга. По многимъ вопросамъ онъ не даетъ подробныхъ объясненій, ограничиваясь только общими указаніями. Но эти ука-

занія идутъ такъ далеко, что иные видѣли въ нихъ открытіе телескопа, воздушнаго шара, движущейся паромъ тѣлѣги и т. п. Между прочимъ, въ ученіи о свѣтѣ въ этой книгѣ упоминается также камера-обскура.

81. Позднѣ камерой-обскурой пользовались для астрономическихъ цѣлей. Имено, Тихо Браге и позже Кеплеръ употребляли ее для получения изображенія солнца. Измѣряя поперечникъ этого изображенія и разстояніе его отъ отверстія камеры, они опредѣляли уголъ зрѣнія (видимую величину) солнца. Камерой-обскурой пользо-

Рис 63



Роджеръ Бэконъ.

вались также для измѣренія величины покрытой части солнца или луны во время затмений. Кеплеръ наблюдалъ даже на такомъ изображеніи солнца пятно, которое принялъ (ошибочно) за Меркурія.

Въ лѣсахъ съ высокими деревьями и густой листвою въ ясные дни часто можно наблюдать удлиненныя свѣтлыя пятна на землѣ (рис. 64). Это—изображенія солнца, полученныя при помощи камеры-обскуры, отверстіемъ которой является какой-нибудь просвѣтъ между листьями, а экраномъ служитъ земля. Форма отверстія не играетъ здѣсь большой роли, если только оно достаточно мало. Безчисленное количество маленькихъ пятенъ свѣта, которыя отвѣчаютъ безконечному числу точекъ предмета, въ общемъ все-таки даютъ изображеніе предмета при всякой формѣ отверстія. Это объясненіе было дано еще греческимъ философомъ Мавроликомъ. Причиной овальной, а не круглой формы этихъ пятенъ является то обстоятельство, что поверхность земли наклонена къ направленію лучей солнца. Но если подставить подъ лучи какую-нибудь плоскость перпендикулярно къ ихъ направленію, то на ней изображенія получатся круглыми. Если солнце отчасти закрыто, то соотвѣтственно будутъ, разумѣется, измѣнены и его изображенія.

82. Прямолинейнымъ распространіемъ свѣта объясняется убываніе его яркости съ удаленіемъ отъ источника свѣта. Въ самомъ дѣлѣ, количество свѣта, выходящаго изъ источника *A* (рис. 65), которое падаетъ на квадратный экранъ на извѣстномъ разстояніи отъ *A*, при двойномъ разстояніи придется на экранъ съ вдвое большей стороной, т. е. на поверхность, вчетверо большую; при тройномъ разстояніи оно покроетъ экранъ съ втрое большей стороной, имѣющей, слѣдовательно, поверхность въ девять разъ большую, и т. д. Значитъ, экранъ одной и той же величины на двойномъ, тройномъ и т. д. разстояніи будетъ получать свѣта въ четыре, въ девять

Рис. 64



Изображенія солнца на землѣ въ лѣсу.

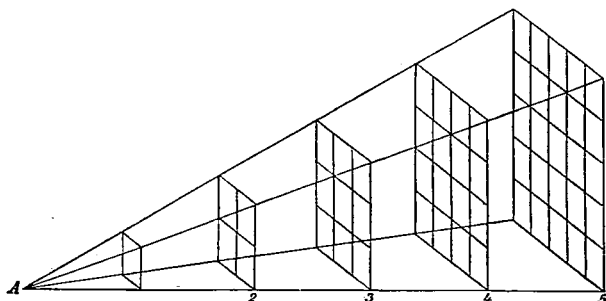
и т. д. разъ меньше, чѣмъ первоначально. Такимъ образомъ, яркость свѣта на двухъ различныхъ разстояніяхъ отъ его источника обратно пропорціональна квадратамъ этихъ разстояній.

Примѣръ. Если я могу, хотя бы съ трудомъ, читать книгу на разстояніи 4 м отъ источника свѣта, то для того, чтобы читать ее на разстояніи 12 м отъ источника свѣта, послѣдній нужно усилить въ 9 разъ.

Законъ убыванія яркости, разумѣется, остается правильнымъ только при предположеніи, что свѣтъ по пути не поглощается.

83. Для того, чтобы сравнить между собою силу свѣта двухъ источниковъ, можно помѣстить ихъ на такомъ разстояніи отъ экрана, чтобы они освѣщали его одинаково ярко. По Румфорду (1753—1814) для этого заставляютъ оба источника отбрасывать на экранъ тѣнь какого-нибудь стержня (рис. 66). Если дѣйствіе этихъ двухъ источниковъ свѣта не одинаково, то и полученныя тѣни будутъ не одинаково

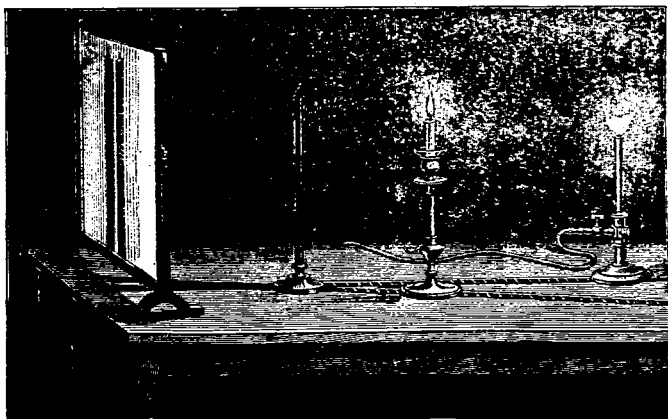
Рис. 65



Убываніе яркости съ разстояніемъ.

темны. Тогда нужно отодвинуть тотъ источникъ свѣта, который даетъ болѣе темную тѣнь, или приблизить другой, пока обѣ тѣни не станутъ одинаковыми. Силы свѣта этихъ источниковъ будутъ относиться между собою, какъ квадраты ихъ разстояній отъ экрана.

Рис. 66



Сравненіе яркостей.

Примѣръ 1. Стеариновая свѣча на разстояніи 60 см и керосиновая лампа на разстояніи 210 см даютъ одинаковыя тѣни. Сколько свѣчей можетъ замѣнить собою керосиновая лампа?

Примѣръ 2. Освѣщеніе, которое даетъ луна, равно освѣщенію отъ восковой свѣчи на разстояніи 3 м отъ стѣны. Во сколько разъ луна ярче восковой свѣчи? (Отв. 16×10^{15}).

Примѣръ 3. Круглое отверстіе камеры-обскуры имѣетъ въ діаметрѣ 0.5 мм, а изображеніе солнца на ея противоположной стѣнкѣ имѣетъ поперечникъ 5 см. Такимъ образомъ, послѣднее въ 100 разъ больше перваго. Значитъ, яркость этого изображенія въ 10 000 разъ меньше той яркости, которую даетъ непосредственно солнце. Если восковая свѣча на разстояніи 40 см отъ стѣнки даетъ такую же яркость, какую имѣетъ изображеніе солнца, то сколько свѣчей нужно помѣстить на разстояніи солнца, чтобы произвести такой же свѣтовой эффектъ?

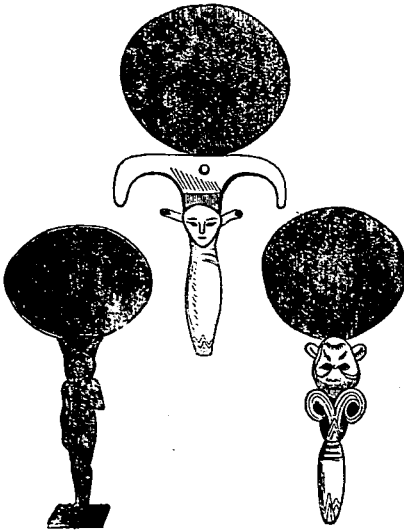
Примѣръ 4. Во сколько разъ свѣтъ солнца на землѣ ярче луннаго?

Примѣръ 5. Во сколько разъ солнце испускаетъ свѣта больше, чѣмъ луна?

84. Яснымъ понимаемъ второго закона, къ которому мы теперь переходимъ, мы такоже обязаны грекамъ, хотя человѣческой опытъ въ этомъ отношеніи таже старъ, какъ и человѣческой родъ.

Для того, чтобы замѣтить, что предметы отражаются въ спокойной водѣ, не требовалось высокой культуры. Но намъ извѣстно также, что древнѣйшіе культур-

Рис. 67



Древнеегипетскія металлическія зеркала.

ные народы имѣли уже искусственныя металлическія зеркала. Въ египетскихъ гробницахъ возлѣ мумій были найдены мѣдныя зеркала, у Гомера встрѣчаются указанія на золотыя зеркала, а римляне употребляли уже въ древнѣйшія времена зеркала изъ бронзы, въ началѣ же нашей эры зеркала изъ золота и серебра.

Хорошей смѣсью для металлическихъ зеркалъ является сплавъ $68\frac{1}{2}\%$ мѣди съ $31\frac{1}{2}\%$ олова. Добавленіе небольшого количества свинца дѣлаетъ этотъ сплавъ болѣе удобнымъ для обработки, а прибавка къ нему небольшого количества мышьяку сообщаетъ ему болѣе свѣтлую окраску.

У финикянъ были въ употребленіи шлифованныя зеркала изъ темнаго стекла. Прозрачное стекло, на задней сторонѣ покрытое свинцомъ, вошло въ употребленіи врядъ ли раньше XIII вѣка

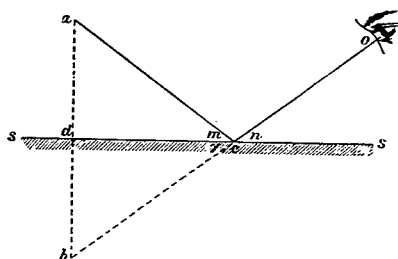
по Р. Х. Покрывать стекло на задней сторонѣ амальгамой (изъ олова и ртути) стали въ XIV столѣтіи. Кто былъ изобрѣтателемъ этихъ двухъ способовъ, осталось неизвѣстнымъ. Вѣроятно, это были ремесленники. Въ послѣднее время амальгамированныя зеркала все больше и больше вытѣсняются посеребрёнными.

85. Непосредственный опытъ учитъ, что плоское зеркало даетъ изображеніе, которое лежитъ позади зеркала на такомъ же разстояніи отъ него, на какомъ самъ предметъ находится передъ нимъ, считая по перпендикуляру къ зеркалу.

Поэтому всякое озеро или прудъ съ спокойной поверхностью даетъ изображение болѣе высокихъ предметовъ на такой глубинѣ подѣ поверхностью воды, которая равна высотѣ самого предмета надѣ ею.

Но только греки въ V или IV вѣкѣ до Р. Х., повидимому, правильно поняли законъ отраженія. Если a (рис. 68) есть свѣтящаяся точка, ss поверхность зеркала, о глазъ, то послѣдній получаетъ отъ точки a такое впечатлѣнїе, какъ будто за зеркаломъ находится свѣтящаяся точка b , а зеркала вовсе нѣтъ, т. е. какъ будто глазъ получаетъ свѣтовой лучъ bo . На самомъ дѣлѣ, конечно, это не такъ, потому

Рис. 68



Отраженіе свѣтового луча.

что за зеркаломъ уже нѣтъ свѣтового луча, а зеркало непроницаемо для свѣта, по крайней мѣрѣ металлическое. Такимъ образомъ свѣтъ проходить не весь путь bo , а только часть его co , къ точкѣ же c онъ приходитъ по прямой линіи отъ источника свѣта a . Значитъ, свѣтъ приходитъ изъ a въ c по пути aco . Какъ же опредѣлить этотъ путь точнѣе?

Такъ какъ ad равно bd и ab перпендикулярно къ cd , то, какъ легко видѣть, треугольникъ bcd совмѣщается съ треугольникомъ acd , если повернуть его около линіи cd . Такимъ образомъ, углы m и r должны быть равны. Но углы r и n также равны, такъ какъ они образованы двумя пересѣкающимися линіями (вертикальные углы). Слѣдовательно, углы m и n также должны быть равны. Это положеніе, которое было найдено греками и которое представляетъ законъ распространенія свѣта при отраженіи, обыкновенно выражаютъ такъ: при отраженіи уголъ паденія равенъ углу отраженія.

Впрочемъ, чаще обозначаютъ названіями уголъ паденія и отраженія не углы m и n , а углы u и v (рис. 69), которые образуются падающимъ и отраженнымъ лучемъ съ перпендикуляромъ къ плоскости зеркала. Само собою разумѣется, эти два угла также равны.

86. Если сдѣлать уголъ отраженія угломъ паденія, т. е. перенести свѣтящуюся точку въ o (рис. 68), то уголъ паденія станеги угломъ отраженія и глазъ, помѣщенный въ точкѣ a , получитъ свѣтъ по направленію ca .

Греческій естествоиспытатель Геронъ Александрійскій, живнїй во II вѣкѣ до Р. Х. и оставившїй превосходное сочиненіе о воздухѣ и парѣ, указалъ на то, что не только прямолинейный лучъ идетъ отъ свѣтящейся точки къ глазу кратчайшимъ пу-

Рис. 69



Равенство уголъ паденія и отраженія.

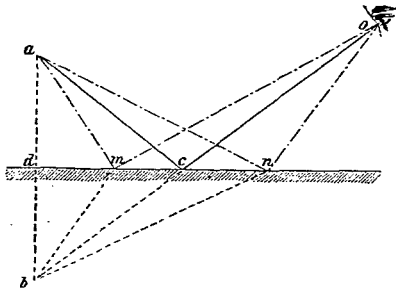
темъ, но что и при отраженіи свѣтовой лучъ также идетъ кратчайшимъ путемъ. Если a (рис. 70) есть свѣтящаяся точка, ab перпендикуляръ къ зеркалу и ad равно bd , то

$$\begin{aligned} am &= bm, \text{ слѣдовательно, } amo = bmo; \\ ac &= bc, \text{ слѣдовательно, } aco = bco; \\ an &= bn, \text{ слѣдовательно, } ano = bno. \end{aligned}$$

Но изъ трехъ послѣднихъ линій bco есть, очевидно, кратчайшая, такъ какъ это есть прямая линія между b и o . Слѣдовательно, и линія aco должна быть меньше, чѣмъ линіи amo и ano .

87. Зеркало даетъ возможность привести лучъ свѣта къ глазу по направленію, совершенно отличному отъ того, по которому онъ приходитъ непосредственно отъ самого предмета. Это позволяетъ съ большимъ успѣхомъ примѣнять зеркало къ про-

Рис. 70



Отраженный лучъ идетъ кратчайшимъ путемъ.

Однимъ изъ извѣстныхъ „чудесъ“ является „живая голова безъ туловища“. По срединѣ между передними и задними ножками стола помѣщается отвѣсное зеркало, за которымъ ложится человѣкъ, просовывающій голову сквозь отверстіе въ доскѣ стола, послѣ чего фокусникъ ставитъ на столъ четырехугольный ящикъ, поучая въ то же время публику о чудесныхъ свойствахъ этого ящика (рис. 71). Затѣмъ онъ снимаетъ ящикъ прочъ и показываетъ голову; подъ столомъ, поддерживаемымъ только четырьмя тонкими ножками, не видно ничего. То, что при этомъ принимаютъ за заднія ножки стола, есть не что иное, какъ отраженіе переднихъ ножекъ; точно такъ же полъ, видимый подъ столомъ позади его, есть только зеркальное изображеніе части пола, лежащей подъ столомъ впереди зеркала.

Когда-то большимъ успѣхомъ пользовались представленія одной женщины, которая, свободно паря въ воздухѣ, могла дѣлать медленные движенія и повороты. Для этого впереди передъ сценой помѣщалось прозрачное зеркальное стекло въ косомъ положеніи, которое давало отраженное изображеніе b лица a (рис. 72), лежащаго на вращающемся шитѣ. Когда это лицо двигалось въ горизонтальной плоскости, его отраженное изображеніе двигалось отвѣсно. Такъ какъ стекло было прозрачно, то оно давало только слабое изображеніе; чтобы устранить этотъ недостатокъ, фигуру освѣщали невидимой для публики сильной лампой p .

Другой извѣстный фокусъ представляетъ солдата, грудь котораго прострѣлена

пулей, такъ что сквозь него можно видѣть. Для этого фокуса служить ящикъ, который имѣетъ сверху форму, указанную на рис. 73. Оптической обманъ производится здѣсь четырьмя зеркалами *m*, *n*, *p*, *r*.

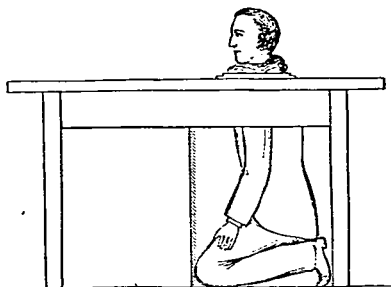
88. Какъ было уже указано, лучи свѣта, отраженные зеркаломъ, дѣйствуютъ на глазъ такъ, какъ будто позади зеркала находится предметъ той же величины и притомъ въ положеніи симметричномъ съ дѣйствительнымъ предметомъ. Зеркальное изображение правой руки даетъ лѣвую руку. Написанная въ обратномъ порядкѣ и въ повернутомъ видѣ буквы, представляющіяся въ зеркалѣ въ правильномъ видѣ, носятъ название „зеркальной надписи“.

Такъ какъ симметричныя линіи обладаютъ обыкновенно извѣстной красотой, именно, въ томъ случаѣ, когда симметрия совершенна¹⁾, то отраженіе часто производитъ пріятное впечатлѣніе, примѣромъ чего можетъ служить отраженіе ландшафта въ озерѣ со спокойной поверхностью.

Такія изображенія называются мнимыми, такъ какъ лучи, вызывающіе въ глазъ это впечатлѣніе, идутъ не изъ того мѣста, гдѣ мы видимъ изображеніе.

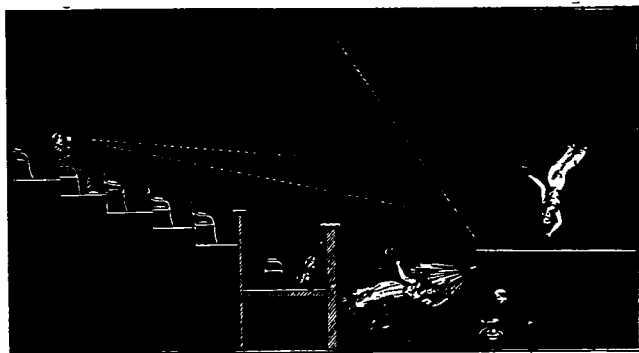
Но лучи свѣта идутъ такъ, какъ будто они исходятъ изъ дѣйствительнаго предмета; поэтому, попадая на второе зеркало и отражаясь отъ него, они даютъ въ немъ

Рис. 71



Говорящая голова.

Рис. 72



Женщина, парящая въ воздухѣ.

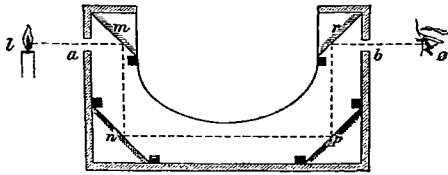
изображеніе, которое расположено симметрично съ первымъ изображеніемъ относительно второго зеркала. Если лучи, идущіе отъ второго зеркала, попадутъ на третье,

¹⁾ На этомъ основано пріятное впечатлѣніе, которое производятъ на чувство красоты точечныя вещи. Съ какой стороны ни смотрѣть на нихъ, ихъ контуры по обѣ стороны отъ оси всегда симметричны.

то они дадутъ въ немъ третье изображеніе, симметричное со вторымъ по отношенію къ третьему зеркалу и т. д.

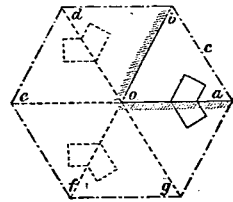
На этомъ основанъ изобрѣтенный Брюстеромъ (1781—1868) въ 1817 г. калейдоскопъ. На рис. 74 *oa* и *ob* представляютъ двѣ стеклянныхъ пластинки одинаковой ширины, наклоненныя другъ къ другу подъ угломъ въ 60° . Вмѣстѣ съ третьей, но не отражающей пластинкой *c*, онѣ помѣщаются въ трубку, имѣющую видъ зрительной трубы. Въ томъ концѣ трубки, который обращенъ къ глазу, находится отверстіе, сквозь которое можно смотрѣть внутрь трубки. Другой конецъ ея закан-

Рис. 73



Приборъ, при помощи котораго можно смотрѣть
сквозь человѣка.

Рис. 74



Поперечный разрѣзъ калей-
доскопа.

чивается двумя стеклянными пластинками, между которыми находятся кусочки цвѣт-ного стекла, камешки и т. п.; при вращеніи трубки эти предметы постоянно принимаютъ новыя положенія. Повторное отраженіе ихъ даетъ очень красивыя правильныя фигуры въ формѣ звѣзды.

89. Уже въ древности было извѣстно, что солнечными лучами при помощи за-жигательнаго зеркала можно зажечь огонь. Еще до основанія Рима въ Италіи су-ществовалъ культъ Весты, въ которомъ долженъ былъ непрерывно поддерживаться священный огонь. Если онъ какимъ-нибудь образомъ погасалъ, то его должны были зажигать вновь чистѣйшимъ огнемъ — огнемъ солнца; по разсказу Плутарха это дѣ-лалось при помощи скафіона — чаши для питья, которая и представляла зажигательное зеркало.

Напротивъ, разсказъ о томъ, что Архимедъ при помощи зеркалъ издала за-жечь римскій флотъ, повидимому, основанъ на недоразумѣніи.

90 Зажигательныя зеркала примѣняли во всякомъ случаѣ раньше, чѣмъ умѣли объяснять ихъ дѣйствіе. Но законъ отраженія въ той формѣ, въ какой выражали его греки — уголъ паденія равенъ углу отраженія, — также вполне объясняетъ такое дѣй-ствіе неплоскихъ зеркалъ. Важнѣйшими изъ зеркалъ съ кривой поверхностью явля-ются тѣ, поверхность которыхъ представляетъ часть сферы: вогнутыя (собираель-ныя) и выпуклыя зеркала (разсѣивающія). Въ первыхъ отраженіе производится внут-ренней, а въ послѣднихъ внѣшней поверхностью шара.

Давно также было замѣчено, что въ кривыхъ поверхностяхъ получаютъ увели-ченныя или уменьшенныя изображенія предметовъ: но только Птолемей попытался дать этому объясненіе при помощи закона отраженія. Арабы также занимались этимъ вопросомъ и теоретически и практически. Однако, полное объясненіе дѣйствія вогну-таго зеркала было дано, повидимому, впервые Роджеромъ Бэкономъ. Рис. 75 пред-

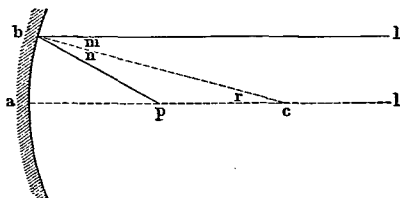
ставляеть сѣченіе вогнутаго зеркала, центръ котораго лежитъ въ точкѣ c . Лучи, приходящіе съ очень большого разстоянія, напримѣръ, отъ солнца, можно считать параллельными. Лучъ, проходящій черезъ центръ c и попадающій на зеркало въ a , отражается имъ въ томъ же направленіи ac , такъ какъ всякая линія отъ c къ зеркалу перпендикулярна къ нему въ томъ мѣстѣ, гдѣ она встрѣчаетъ зеркало. Напротивъ, лучъ lb , образующій съ cb уголъ m , отразится въ направленіи bp такъ, что уголъ n будетъ равенъ углу m . Такъ какъ лучи lb и la параллельны, то углы r и t также равны. Слѣдовательно, уголъ n равенъ углу r . А отсюда слѣдуетъ, что bp равно cp .

Если же b не слишкомъ далеко отъ a , то bp и ap таюке почти равны, и точка p лежитъ, слѣдовательно, по срединѣ между зеркаломъ и его центромъ c . Такимъ образомъ, въ точку p отразятся всѣ лучи, идущіе параллельно lca . И такъ какъ въ этой точкѣ соберется много лучей, то они могутъ произвести здѣсь сильное нагрѣваніе и зажечь горючіе предметы, если источникомъ свѣта будетъ, напримѣръ, солнце. Точка p носитъ поэтому названіе фокуса

(латинское *focus* = очагъ). Разстояніе этой точки отъ зеркала называется фокусной длиною или фокуснымъ разстояніемъ зеркала. Для того, чтобы лучи пересѣкались въ точкѣ p довольно точно, зеркало ни въ какомъ случаѣ не должно представлять слишкомъ большой части шаровой поверхности; въ противномъ случаѣ отрезки bp и pc не будутъ уже составлять ровно половины разстоянія ac .

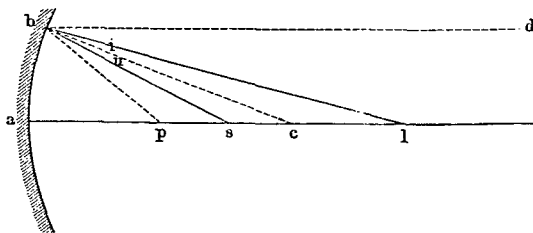
Если свѣтящаяся точка находится не на очень большомъ разстояніи, напримѣръ, въ l (рис. 76), то одинъ лучъ изъ нея опять-таки пройдетъ черезъ центръ c въ точку a , откуда онъ вернется по тому же направленію. Такой лучъ называется цент-

Рис 75



Фокусъ вогнутаго зеркала

Рис. 76



Отраженіе въ вогнутомъ зеркалѣ.

ральнымъ лучемъ. Линія la называется также осью зеркала. Какой-нибудь другой лучъ lb отразится въ направленіи bs . А такъ какъ lb лежитъ ближе къ cb , чѣмъ db , то и отраженный лучъ bs будетъ лежать ближе къ bc , чѣмъ bp . Точка s , въ которой лучи пересѣкаются, теперь будетъ лежать ближе къ центру c , чѣмъ фокусъ.

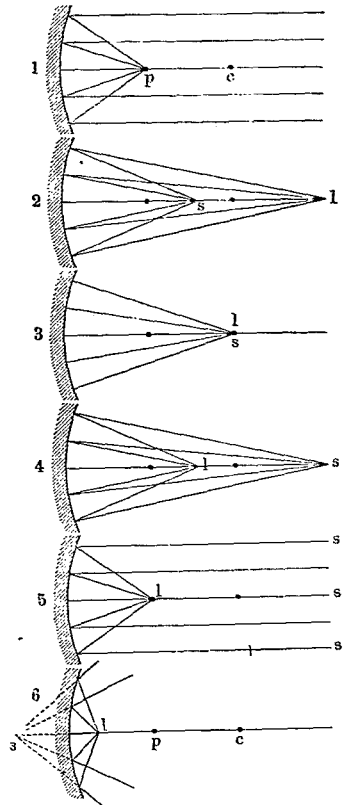
При помощи подобныхъ же соображеній отыскивается положеніе той точки, въ которой собираются лучи, если свѣтящаяся точка постепенно изъ безконечности приближается къ зеркалу.

1. Свѣтящаяся точка находится на бесконечности; лучи собираются въ фокусѣ.
2. Свѣтящаяся точка находится ближе къ зеркалу, но на большемъ разстояніи отъ него, чѣмъ разстояніе центра; лучи собираются между фокусомъ и центромъ.
3. Свѣтящаяся точка находится въ центрѣ; лучи собираются также въ центрѣ.
4. Свѣтящаяся точка находится между центромъ и фокусомъ; лучи собираются въ точкѣ, которая отстоитъ отъ зеркала дальше, чѣмъ центръ.
5. Свѣтящаяся точка находится въ фокусѣ; точка, въ которой собираются лучи, удаляется въ бесконечность.
6. Свѣтящаяся точка лежитъ ближе къ зеркалу, чѣмъ фокусъ; лучи отражаются отъ зеркала такъ, какъ будто они выходятъ изъ точки s' позади зеркала.

Положеніе точки, въ которой собираются лучи, выходящіе изъ свѣтящейся точки l , можно найти при помощи чертежа слѣдующимъ образомъ (рис. 78). Сначала проводятъ центральный лучъ la , который отражается отъ зеркала по направленію al . Для того, чтобы найти направленіе, въ которомъ отражается какой-нибудь другой лучъ, напри- мѣръ, лучъ lb , проводятъ cb' параллельно lb . Сре- дина p' этой линіи будетъ фокусомъ лучей, идущихъ по направленію lb и cb' . Значитъ, лучъ lb возвра- щается отъ зеркала по направленію bp' и пере- сѣкаетъ центральный лучъ въ точкѣ s . Слѣдова- тельно, въ этой точкѣ сходятся послѣ отраженія лучи la и lb . Поэтому она является фокусомъ для тѣхъ лучей, которые выходятъ изъ точки l^1 .

§1. Теперь легко понять, какимъ образомъ вогнутое зеркало даетъ изображеніе предмета. Это изображеніе будетъ имѣть существенно различный характеръ, смотря по тому, будетъ ли предметъ находиться дальше отъ зеркала (рис. 77, 1—4) или ближе къ нему (рис. 77, 6), чѣмъ фокусъ.

Рис. 77



Дѣйствіе вогнутого зеркала.

¹⁾ Положеніе точки, въ которой собираются лучи, можно найти при помощи вычисленія слѣдующимъ обра- зомъ. Пусть радіусъ ac (рис. 76) вогнутого зеркала бу- деть r , разстояніе la свѣтящейся точки пусть будетъ l , а разстояніе pa фокуса пусть будетъ p . Въ треугольникѣ lbs линія bc дѣлитъ уголъ b пополамъ, а потому можно написать пропорцію

$$bl : bs = cl : cs.$$

Но сторона bl почти равна $al = l$ и сторона bs прибли- зительно равна $as = s$, слѣдовательно,

$$l : s = (l - r) : (r - s).$$

Этому уравненію нетрудно, при помощи соответственныхъ преобразованій, дать форму

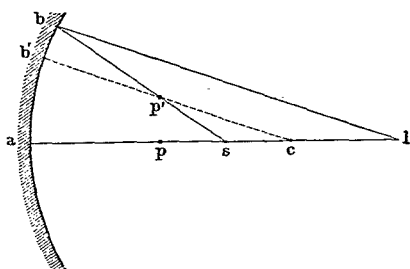
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{l} = \frac{1}{p}.$$

Такимъ образомъ, если изъ трехъ величинъ: s , l и p даны двѣ, то это уравненіе легко дастъ и третью.

Если ab есть нашъ предметъ (рис. 79), то одинъ лучъ идетъ отъ какой-нибудь его точки a къ зеркалу черезъ центръ c и отражается по тому же направленію; всѣ другіе лучи, исходящіе изъ a и попадающіе на зеркало, будутъ встрѣчаться въ одной точкѣ α центрального луча. Такимъ же образомъ всѣ лучи, которые выходятъ изъ b , соберутся въ одной точкѣ β на центральномъ лучѣ bc , который одинъ только и нарисованъ на чертежѣ. Лучи изъ болѣе близкой точки d собираются въ одной точкѣ центрального луча dc , и эта точка лежитъ ближе къ центру, чѣмъ точки α и β .

Такимъ образомъ, въ пространствѣ получается обратное изображеніе. Если предметъ находится отъ зеркала дальше, чѣмъ центръ, а изображеніе, слѣдовательно, ближе центра, то это изображеніе меньше предмета; въ противномъ случаѣ оно больше предмета. Кромѣ того, это есть дѣйствительное изображеніе, а не мнимое, какъ въ плоскомъ зеркалѣ. Лучи, дающіе изображеніе, дѣйствительно пересѣкаются въ указанномъ мѣстѣ. Это изображеніе можно увидѣть на листкѣ бумаги, помѣстивъ его на томъ мѣстѣ, гдѣ получается изображеніе. Если не принять здѣсь лучей на какой-нибудь экранъ, то они пересѣкаются и идутъ дальше, а, попадая въ глазъ, даютъ послѣднему впечатлѣніе, будто они исходятъ отъ

Рис. 78

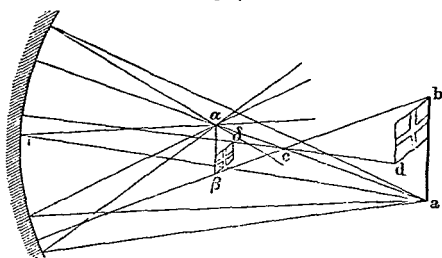


Построеніе точки, въ которой сходятся по отраженіи лучи.

предмета $\alpha\beta\delta$. Они, дѣйствительно, выходятъ изъ этого мѣста, но не изъ предмета, котораго здѣсь, конечно, нѣтъ.

При извѣстныхъ условіяхъ такое изображеніе можетъ производить рѣзкіе оптическіе обманы. Такъ, напримѣръ, при удачномъ расположеніи опыта букетъ цвѣтовъ B

Рис. 79



Полученіе изображенія въ вогнутомъ зеркалѣ.

(рис. 80), невидимый наблюдателю непосредственно, можетъ вызвать такую полную иллюзію, что наблюдателю захочется, пожалуй, понюхать его изображеніе B_1 .

Нѣтъ ничего удивительнаго въ томъ, что невѣжественные современники Роджера Бэкона могли обвинять его въ волшебствѣ, такъ какъ они ясно видѣли въ воздухѣ предметы, которыхъ тамъ однако не было.

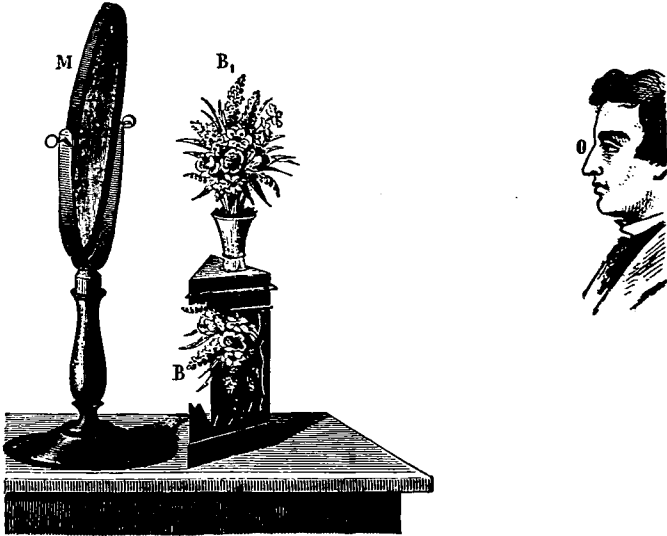
Такъ какъ лучи будутъ идти однимъ и тѣмъ же путемъ какъ въ одномъ, такъ и въ противоположномъ направленіи, то на рис. 79 abd представляетъ дѣйствительное изображеніе предмета $\alpha\beta\delta$.

Если предметъ находится отъ зеркала дальше центра, то изображеніе находится къ нему ближе, чѣмъ центръ, и оно меньше предмета. Если предметъ находится ближе къ зеркалу, чѣмъ центръ, то изображеніе получается увеличенное и лежитъ отъ зер-

кала дальше центра. Если предмет находится въ самомъ центрѣ, то изображеніе находится на томъ же разстоини отъ зеркала и имѣетъ такіе же размѣры, какъ и самъ предметъ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ изображеніе будетъ дѣйствительное и обратное.

Но если предметъ *AB* (рис. 81) будетъ находится ближе къ зеркалу, чѣмъ фокусъ, то центральный лучъ отразится отъ зеркала по тому же направленію, по которому онъ идетъ къ нему, а всѣ остальные лучи, выходящіе изъ *A* и попадающіе на зеркало, отразятся такъ, какъ будто они вышли изъ одной точки *a* центрального

Рис. 80



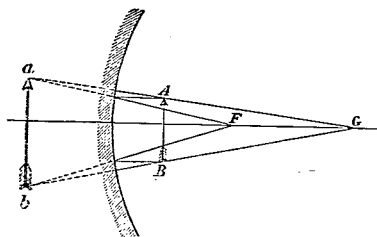
Иллюзія „дѣйствительнаго изображенія“.

луча. Точно такъ же лучи, выходящіе изъ *B*, послѣ отраженія пойдутъ такъ, какъ будто они выходятъ изъ точки *b* центрального луча. Глазъ поэтому получитъ отъ отраженныхъ лучей впечатлѣніе, будто они выходятъ изъ *ab*, гдѣ они вовсе и не могли бы быть. Такимъ образомъ, получается мнимое увеличенное изображеніе предмета позади зеркала, разстояніе котораго отъ зеркала больше, чѣмъ разстояніе самого предмета.

92. Въ выпуклыхъ зеркалахъ отраженіе производится внѣшнею поверхностью шара. Такъ же, какъ и въ случаѣ вогнутаго зеркала, можно убѣдиться, что параллельные (приходящіе изъ безконечности) лучи *ii* (рис. 82) послѣ отраженія этимъ зеркаломъ направляются такъ, какъ будто идутъ изъ точки *p*, лежащей по срединѣ между центромъ и отражающей поверхностью. Эта точка называется мнимымъ фокусомъ выпуклаго зеркала. Съ приближеніемъ точкю *l* къ зеркалу, падающіе на зеркало лучи образуютъ все большіе углы съ перпендикуляромъ къ отражающей поверхности; въ этомъ случаѣ они будутъ казаться выходящими изъ точки *s*, лежащей между мнимымъ фокусомъ *p* и зеркаломъ. Соотвѣтственно этому легко понять и образованіе изобра-

жений. Свѣтъ, выходящій изъ точки a (рис. 83), отражается такъ, какъ будто онъ выходитъ изъ точки α , а свѣтъ изъ точки b такъ, какъ будто онъ выходитъ изъ β , и т. д. Такимъ образомъ, получается мнимое уменьшенное изображеніе $\alpha\beta\delta$ между мнимымъ фокусомъ и зеркаломъ. Выпуклыя зеркала (стеклянные шары), какъ извѣстно, нерѣдко ставятъ въ садахъ въ видѣ украшенія.

Рис. 81

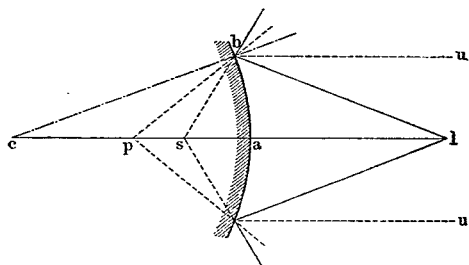


Вогнутое зеркало, служащее для увеличенія.

93. На серебряныхъ и т. п. предметахъ часто попадаются поверхности, не имѣющія шаровой формы и дающія поэтому искаженныя изображенія. Если это поверхность выпуклая, то она даетъ уменьшенное изображеніе, если она въ какомъ-нибудь одномъ направленіи выпрямлена, то въ этомъ направленіи изображеніе будетъ имѣть ту же величину, какъ и самъ предметъ; если же это поверхность вогнутая и предметъ находится достаточно близко, то изображеніе получается увеличенное. Если поверхность въ одномъ направленіи, напримѣръ, въ вышину, искривлена сильнѣе, чѣмъ въ другомъ, напримѣръ, въ горизонтальномъ, то предметы въ вышину будутъ уменьшены сильнѣе, чѣмъ въ ширину. Смотри на себя въ такое зеркало, вы увидите

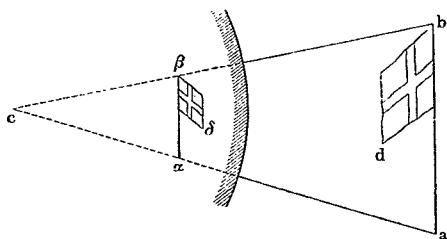
свое лицо растянутымъ въ ширину. Напротивъ того, если смотрѣть въ зеркало, имѣющее форму вертикальнаго цилиндра, то лицо покажется вытянутымъ въ длину. Соответ-

Рис. 82



Выпуклое зеркало.

Рис. 83



Полученіе изображеній въ выпукломъ зеркалѣ.

ственно тому, что тавія зеркала могутъ давать искаженныя изображенія обыкновенныхъ предметовъ, они могутъ давать, съ другой стороны, правильныя изображенія по искаженнымъ рисункамъ (анаморфозы).

94. Проходя сквозь стеклянный шарикъ свѣтъ подвергается своеобразному измѣненію, которое, несомнѣнно, было извѣстно столь же давно, какъ и сами стеклянные шарики, т. е. со времени финикійянъ. Говоря вообще, предметъ сквозь стеклянный шарикъ кажется увеличеннымъ.

Указаніе на это находится у Сенеки (12—66 гг. по Р. X.), который говоритъ объ „увеличительной силѣ“ сосуда, наполненнаго водой. Очень простое приспособленіе для увеличенія, которымъ безъ труда можно пользоваться въ лѣсу и въ полѣ, устраивается слѣдующимъ

образомъ: въ листкѣ прокалывается маленькое отверстіе, на которое помѣшаютъ капелюку воды; она дѣйствуетъ такъ же, какъ и стеклянный шарикъ.

Равнымъ образомъ уже въ очень древнія времена было извѣстно, что солнечными лучами можно зажечь огонь, пропуская ихъ сквозь стеклянный шаръ или сквозь сосудъ, наполненный водой.

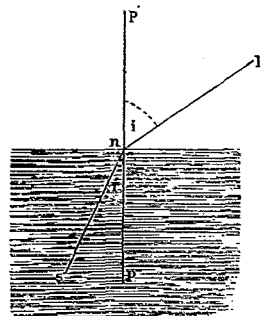
Въ „Облакахъ“ Аристофана Стрепсиадъ говоритъ Сократу, что онъ знаетъ, какъ можно отдѣлаться отъ кредиторовъ. Для этого нужно представленный счетъ положить на солнце, и заставить его таять при помощи стекла, которымъ зажигаютъ огонь¹⁾.

Плиній (23—79 гг. по Р. Х.) пишетъ, что стеклянные шары на солнцѣ могутъ обжигать и прижигать раны, а Лактанцій (умеръ въ 325 г.), учитель сына Константина Великаго, пишетъ, что стеклянный шаръ, наполненный водой, можетъ зажечь огонь, хотя вода въ немъ остается холодной. Относительно послѣдняго замѣчанія можно прибавить, что такое же дѣйствіе можетъ производить, не растаивая, шаръ или линза изъ льда. Извѣстны также случаи, когда занавѣси загорались отъ поставленной на окнѣ бутылки съ водой.

Однако, о природѣ этихъ процессовъ въ древности, повиллмому, было извѣстно только очень немного. Первый вкладъ въ этомъ отношеніи внесъ Клеомедъ, который нашель (§ 53), что лучъ свѣта, переходящій изъ менѣ плотнаго вещества въ болѣе плотное, преломляется такъ, что его новое направленіе становится ближе къ перпендикуляру (нормали къ раздѣляющей вещества поверхности) и что при обратномъ переходѣ свѣтъ идетъ тѣмъ же путемъ, т. е. въ этомъ случаѣ онъ удаляется отъ перпендикуляра. Если вверху находится менѣ плотное вещество, а внизу болѣе плотное, то путь луча будетъ lns (рис. 84), безразлично, будетъ ли лучъ идти сверху внизъ или снизу вверхъ. Такимъ образомъ, уголь, образующій лучемъ съ перпендикуляромъ къ раздѣляющей поверхности, въ болѣе плотной средѣ меньше, чѣмъ въ менѣ плотной. Птолемей, принимавшій во вниманіе при своихъ наблюденіяхъ высоту небесныхъ свѣтилъ преломленіе лучей въ атмосферѣ, дѣлалъ опыты съ цѣлью опредѣлить величину преломленія свѣта при переходѣ изъ воздуха въ воду, изъ воздуха въ стекло и изъ воды въ стекло. Здѣсь мы имѣемъ одинъ изъ чрезвычайно рѣдкихъ примѣровъ, когда древніе не удовлетворялись одними наблюденіями, а прибѣгали къ производству опытовъ. Птолемей нашель, что при переходѣ изъ воздуха въ воду уголь преломленія r равенъ 0.76 угла паденія i . Для перехода изъ воздуха въ стекло онъ нашель $r = 0.67 i$, а для перехода изъ воды въ стекло $r = 0.88 i$.

Лучъ свѣта, который переходитъ изъ воздуха въ стекло и при этомъ преломляется такъ, что $r = 0.67 i$, отклоняется какъ разъ настолько, насколько онъ отклоняется при переходѣ сначала изъ воздуха въ воду, а затѣмъ изъ воды въ стекло.

Рис. 84



Преломленіе свѣта.

¹⁾ Конечно, счетъ, написанный на покрытой воскомъ дощечкѣ *Пр. пер.*

Въ самомъ дѣлѣ, если этотъ уголъ сначала уменьшается въ отношеніи 0·76, а затѣмъ послѣдній уголъ уменьшается въ отношеніи 0·88, то въ общемъ уголъ уменьшается въ $0\cdot76 \times 0\cdot88$ разъ, что составляетъ почти точно 0·67.

Арабскій физикъ Альгазенъ, жившій въ Испаніи въ XI вѣкѣ и писавшій по оптикѣ, въ существенномъ опирается на Птолемея, но даетъ также и нѣсколько новыхъ соображеній. Такъ, онъ замѣчаетъ, что отношеніе между угломъ паденія и угломъ преломленія нѣсколько измѣняется для различныхъ положеній луча и что, слѣдовательно, законъ, опредѣляющій величину преломленія, не такъ простъ, какъ принималъ это Птолемей. Однако, прошло еще нѣсколько вѣковъ, прежде чѣмъ былъ открытъ истинный законъ.

95. Между тѣмъ арабы и европейцы продолжали заниматься стеклянными шарами и линзами, при помощи которыхъ можно было получать чудесныя изображенія, возбуждавшія огромный интересъ въ тѣ проникнутыя мистицизмомъ времена. Нѣкоторые старались объяснить образованіе этихъ изображеній математически, опираясь на то, что было извѣстно о преломленіи свѣта отъ Клеомеда и Птолемея, другіе же старались сами изслѣдовать свойства изображеній при помощи опытовъ со стеклами.

Въ послѣднемъ отношеніи особенно выдѣлялся въ это переходное время Францискъ Мавроликъ изъ Мессины (1494—1575). Онъ былъ сыномъ одного греческаго бѣглеца изъ Константинополя (§ 60). Хотя Мавроликъ принадлежалъ къ духовному сословію, онъ занимался также и многимъ другимъ, былъ директоромъ монетнаго двора и пользовался глубокимъ уваженіемъ ученыхъ и высокопоставленныхъ людей. Онъ написалъ большой математическій трудъ, въ которомъ собралъ все важное, что нашель въ древнихъ и новыхъ сочиненіяхъ. Ему также принадлежитъ сочиненіе по оптикѣ, въ которомъ было много новаго, напримѣръ, объясненіе того, почему неправильныя отверстія въ листьѣ даютъ круглыя изображенія солнца. Повидимому, онъ первый замѣтилъ, что эти изображенія солнца во время затменія имѣютъ форму серпа (§ 81).

Мавролику принадлежитъ также попытка математическаго объясненія того, какимъ образомъ шары и линзы могутъ давать изображенія.

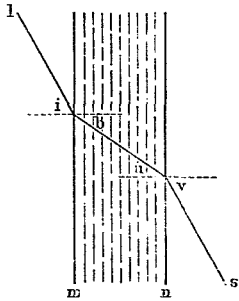
96. Если лучъ свѣта проходитъ сквозь стеклянную пластинку съ параллельными сторонами, то при входѣ въ нее онъ преломляется, но при выходѣ испытываетъ такое же преломленіе въ обратную сторону; такимъ образомъ, направленіе выходящаго луча параллельно направленію входящаго (рис. 85), послѣдній только нѣсколько смѣщенъ относительно перваго и притомъ тѣмъ больше, чѣмъ косѣе падаетъ лучъ.

97. Но если поверхность m , на которую падаютъ лучи, и поверхность n , изъ которой они выходятъ, не параллельны между собою, а образуютъ часть такъ называемой призмы (рис. 86) съ ребромъ k , то при вступленіи въ стекло лучъ приближается къ перпендикуляру p , возставленному въ точкѣ его паденія, а при выходѣ удаляется отъ перпендикуляра q и, такимъ образомъ, выходитъ въ направленіи s . Значитъ, если лучъ свѣта проходитъ сквозь кусокъ стекла, ограниченнаго двумя непараллельными поверхностями — сторонами призмы —, то лучъ удаляется отъ преломляющаго ребра призмы.

98. Если лучи свѣта проходятъ сквозь линзу, ограниченную шаровыми поверхностями и въ срединѣ болѣе толстую, чѣмъ на краяхъ, то лучъ, проходящій сквозь средину линзы, сохраняетъ свое направленіе, такъ какъ тѣ части поверхности, сквозь

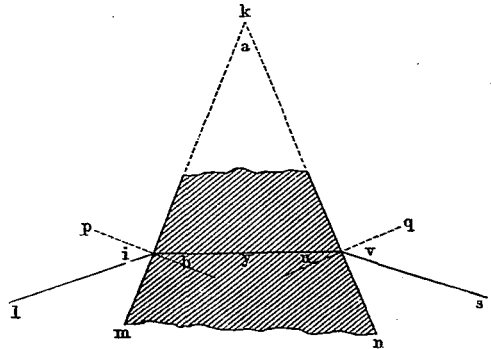
которые онъ входитъ и выходитъ, параллельны между собою (рис. 87). Напротивъ того, другіе лучи, какъ la и lb , проходятъ черезъ части поверхности, наклонныя другъ къ другу. Поэтому они удаляются отъ „преломляющаго ребра призмы“ и встрѣчаются съ первымъ лучемъ въ точкѣ s . Тѣ лучи, которые проходятъ сквозь нижнюю часть линзы, какъ lc и ld , также встрѣчаются съ остальными въ точкѣ s .

Рис. 85



Путь свѣтового луча въ стеклянной пластинкѣ.

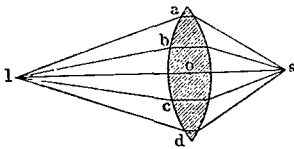
Рис. 86



Путь свѣтового луча въ призмѣ.

Сходное съ этимъ дѣйствіе производятъ всѣ линзы, которая въ срединѣ толще, чѣмъ на краяхъ (рис. 88, 1—3 слѣва). Таюя линзы соединяютъ лучи въ одной точкѣ или, по крайней мѣрѣ, дѣлаютъ ихъ менѣе расходящимися. Онѣ являются собирательными линзами. Дѣйствіе такой линзы зависитъ какъ отъ ея формы, такъ и отъ вещества, изъ котораго она слѣлана. Даже различные сорта стекла различны по своему дѣйствію. Отношенія между углами паденія и отраженія для различныхъ сортовъ стекла различны, а не одинаковы, какъ это думалъ Птолемей.

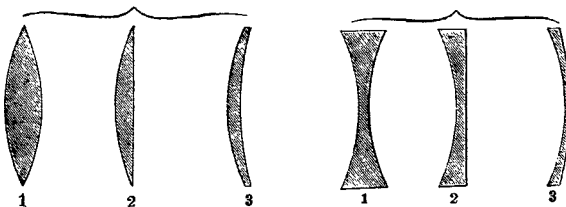
Рис. 87.



Собирательное стекло.

Разстояніе этой точки отъ линзы называется фокуснымъ разстояніемъ линзы или ея фокусной длиною. Чертежи рис. 89, на которыхъ точками отмѣнены фокусное и двойное фокусное разстоянія, представляютъ слѣдующіе случаи:

Рис. 88



Собирательныя и разсѣивающія стекла.

1. Если l находится на безконечномъ разстояніи, то s помѣщается въ фокусѣ.

2. Если l находится на конечномъ разстояніи, но дальше, чѣмъ на двойномъ фокусномъ разстояніи, то s помѣщается дальше фокуса, но ближе, чѣмъ на двойномъ фокусномъ разстояніи отъ линзы.

3. Если l находится на разстояніи двойной фокусной длины, то s также находится на двойномъ фокусномъ разстояніи.

4. Если l лежитъ дальше отъ линзы, чѣмъ фокусъ, но ближе, чѣмъ на двойномъ фокусномъ разстояніи, то s помѣщается дальше, чѣмъ на двойномъ фокусномъ разстояніи.

5. Если l находится въ фокусѣ, то s уходитъ на безконечное разстояніе.

6. Если l находится ближе, чѣмъ на фокусномъ разстояніи, то лучи вовсе не собираются, а выходятъ изъ линзы такъ, какъ будто идутъ изъ точки s' , которая лежитъ отъ линзы по одну сторону со свѣтящейся точкой, но дальше отъ послѣдней, чѣмъ свѣтящаяся точка¹⁾.

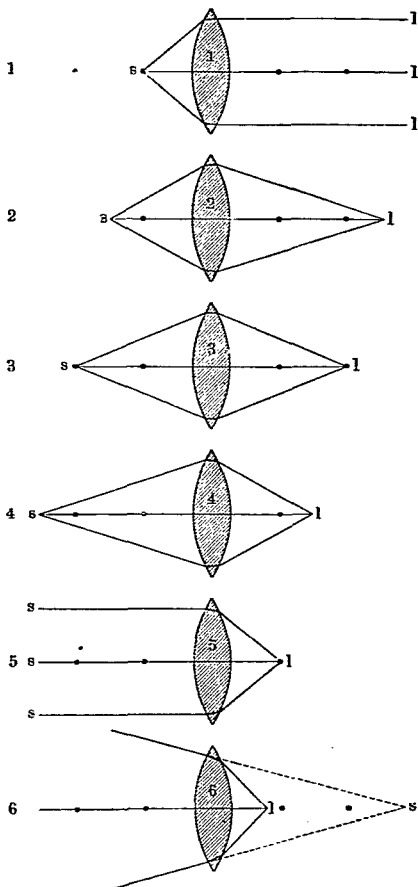
99. Такъ какъ собирающая линза производитъ на лучи свѣта такое же дѣйствіе, какъ и вогнутое зеркало, то подобнымъ же образомъ она даетъ изображенія предметовъ, изъ которыхъ выходитъ падающей на нее свѣтъ (рис. 90).

Свѣтъ, который выходитъ изъ точки a , собирается въ точкѣ α центрального луча. Такимъ же образомъ свѣтъ, выходящій изъ b и d , собирается въ точкахъ β и δ . На чертежѣ нарисованы только два центральныхъ луча. Въ результатѣ получается обратное изображеніе, которое будетъ меньше, такой же величины, или больше, чѣмъ самъ предметъ, соотвѣтственно тому, находится ли послѣдній дальше, чѣмъ на двойномъ фокусномъ разстояніи, какъ разъ на двойномъ фокусномъ разстояніи или ближе.

Эти изображенія дѣйствительны. Лучи соединяются въ одной точкѣ и поэтому

¹⁾ Если известна фокусная длина собирающей линзы, то положеніе точки соединенія лучей, какъ и при вогнутомъ зеркалѣ, можно найти при помощи рисунка или формулы $\frac{1}{l} + \frac{1}{s} = \frac{1}{p}$. Каково, напримѣръ, будетъ разстояніе точки соединенія лучей, если фокусная длина составляетъ 12 см, а разстояніе свѣтящейся точки 30 см?

Рис. 89

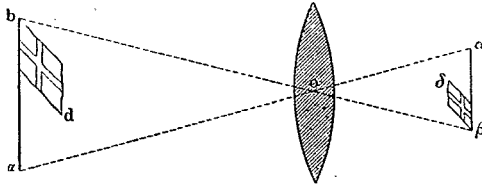


Дѣйствіе собирающаго стекла.

могутъ дать на экранѣ изображеніе. Если они пойдутъ дальше и попадутъ въ глазъ, то произведутъ въ немъ впечатлѣніе, что они выходятъ изъ предмета $\alpha\beta\delta$, не существующаго, однако. Если помѣстить экранъ слѣва отъ $\alpha\beta\delta$, то здѣсь свѣтъ отъ отдѣльныхъ точекъ собирается еще не вполнѣ. Если же помѣстить его справа отъ $\alpha\beta\delta$, то здѣсь лучи уже начинаютъ расходиться. Въ обоихъ случаяхъ получится нерѣзкое, размытое изображеніе.

100. Если предметъ находится ближе къ линзѣ, чѣмъ фокусъ, то выходящіе изъ линзы лучи не собираются, а идутъ отъ нея такъ, какъ будто они выходятъ изъ

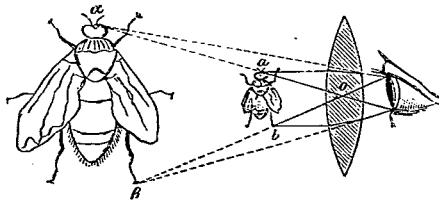
Рис. 90



Полученіе изображеній при помощи собирательнаго стекла.

точки, которая лежитъ отъ линзы дальше, чѣмъ самъ предметъ (рис. 89, 6). Такимъ образомъ, выходящій изъ линзы свѣтъ будетъ производить на глазъ впечатлѣніе, что онъ исходитъ изъ $\alpha\beta$ (рис. 91); слѣдовательно, въ этомъ случаѣ линза будетъ дѣйствовать, какъ увеличительное стекло или лупа (ср. § 94).

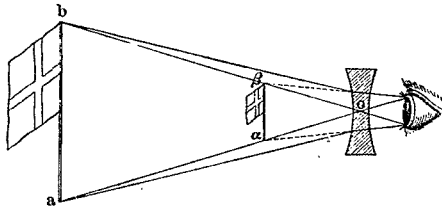
Рис. 91



Собирающее стекло, служащее для увеличенія.

101. Тѣ линзы, которыя по срединѣ тоньше, чѣмъ на краяхъ (рис. 88, 1—3 справа), очевидно, разсѣиваютъ лучи, идущіе изъ одной точки a (рис. 92). Въ самомъ дѣлѣ,

Рис. 92



Разсѣивающее стекло для уменьшенія.

въ то время какъ центральный лучъ проходитъ сквозь такую линзу непреломленнымъ, въ нижней части линзы лучи попадаютъ на поверхности, преломляющее ребро кото-

рыхъ лежить выше. Поэтому такіе лучи отклоняются внизъ. Такимъ же образомъ лучи, падающіе на верхнюю часть линзы, будутъ отклоняться вверхъ. Значить, лучи будутъ выходить изъ линзы такъ, какъ будто они идутъ изъ точки α . Такимъ же образомъ лучи, приходящіе отъ точки b , будутъ идти какъ будто изъ точки β . Поэтому разсѣивающая линза даетъ глазу уменьшенное мнимое изображеніе $\alpha\beta$ предмета.

102. Современникъ Мавролика, Джамбаттиста дела Порты вызывалъ большое изумленіе чудесными явленіями, которыя онъ производилъ посредствомъ такихъ линзъ.

Порта родился въ Неаполѣ въ 1538 г. и умеръ въ 1615 г. Это была огненная натура съ большою склонностью къ мистическому. Онъ былъ авторомъ 24 драмъ и въ возрастѣ 15 лѣтъ написалъ „Естественную магію“ въ четырехъ томахъ, трактовавшую о самыхъ различныхъ естественныхъ и сверхъестественныхъ предметахъ. Этотъ трудъ появился въ нѣсколькихъ изданіяхъ и былъ переведенъ на итальянскій, испанскій, французскій, нѣмецкій и арабскій языки. Позднѣе появилось дополненное изданіе этой книги въ 20 томахъ, которое, однако, не получило такого широкаго распространенія, какъ первая изданія.

Портъ, кромѣ того, принадлежитъ заслуга основанія первой академіи наукъ въ Италіи. Въ то время въ Италіи возникъ цѣлый рядъ ученыхъ обществъ, которыя по имени школы, основанной Платономъ, назывались академіями. Въ академіи Порты было постановлено, что ея членомъ нельзя быть, не создавъ или не открывъ чего-нибудь новаго. Однако, этой академіи не суждено было долго существовать.

Одинъ французъ, поссорившись съ Портой, обвинилъ его въ приготовленіи дьявольской мази; а такъ какъ въ то время церковь относилась къ естественнымъ наукамъ очень ревниво и такъ какъ Порты, кромѣ того, занимался и другими чудодѣйственными вещами, то это обвиненіе могло стать для него опаснымъ; поэтому онъ поѣхалъ въ Римъ и тамъ добился того, что дальнѣйшимъ жалобамъ на него перестали давать ходъ. Однако, его академія была закрыта.

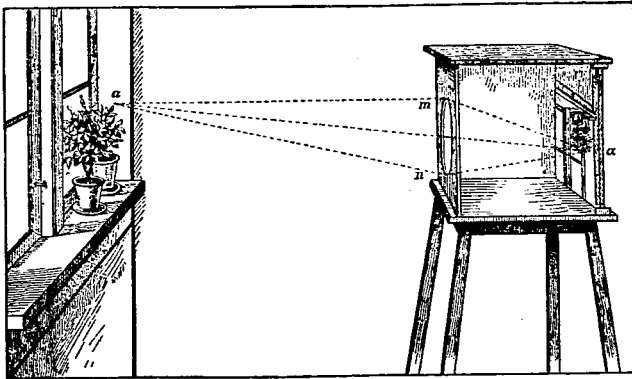
Порта описываетъ между прочимъ камеру-обскуру, снабженную собирательной линзой. Повидимому, это важное усовершенствованіе принадлежитъ ему самому. Въмѣсто простого маленькаго отверстія въ стѣнкѣ ящика или комнаты помѣщаютъ собирательную линзу mn (рис. 93) такъ, чтобы она давала на противоположной стѣнѣ или на экранѣ рѣзкое изображеніе внѣшнихъ предметовъ. Въ такомъ случаѣ весь свѣтъ, выходящій изъ a , даетъ не пятно, а точку α ; и такъ какъ каждая точка предмета передается въ изображеніи также точкой, то получается рѣзкое изображеніе. Кромѣ того, это изображеніе имѣетъ большую яркость, такъ какъ въ камеру-обскуру отъ каждой точки предмета попадаетъ большой конусъ man лучей свѣта.

Однако, для того, чтобы изображеніе было рѣзкимъ, воспринимающій его экранъ долженъ находиться на надлежащемъ мѣстѣ. А положеніе этого мѣста зависитъ отъ разстоянія предмета. Чѣмъ больше послѣднее, тѣмъ ближе къ линзѣ получается изображеніе. Поэтому нельзя помѣстить экранъ такъ, чтобы и близкіе и далекіе предметы одновременно давали рѣзкія изображенія.

Въ настоящее время такими камерами пользуются фотографы. Прежде всего заднюю стѣнку ея (матовое стекло) помѣщаютъ такъ, чтобы на ней получалось рѣзкое изображеніе снимаемаго предмета. Если снимаютъ группу лицъ, то стараются раз-

мѣстить ихъ по возможности на одинаковыхъ разстоянiяхъ отъ камеры. Получивъ на матовомъ стеклѣ рѣзкое изображенiе, замѣняютъ матовое стекло приготовленную опредѣленнымъ образомъ пластинкой, на которую изображенiе дѣйствуетъ такъ, что позднѣе, при помощи извѣстныхъ химическихъ процессовъ, на пластинкѣ можно провить это изображенiе и закрѣпить его.

Рис. 93



Камера-обскура съ линзой.

Порта получалъ изображенiя не только предметовъ, но также и картинъ на стеклѣ. При этомъ онъ изобрѣлъ *Laterna magica* (волшебный фонарь) Внутри этого прибора, въ закрытомъ пространствѣ находится лампа, а изображенiе получается внѣ камеры.

На рис. 94 *m* представляетъ линзу (ихъ обыкновенно бываетъ нѣсколько), *a b* стеклянную пластинку съ прозрачной картиной. Такъ какъ обыкновенно изображенiе *AB* приходится воспроизводить въ больномъ масштабѣ, то весьма существенно, чтобы *a b* было освѣщено очень сильно. Линза *L* и вогнутое зеркало *M* и служатъ для того, чтобы возможно сильнѣе освѣтить воспроизводимую на экранѣ картинку.

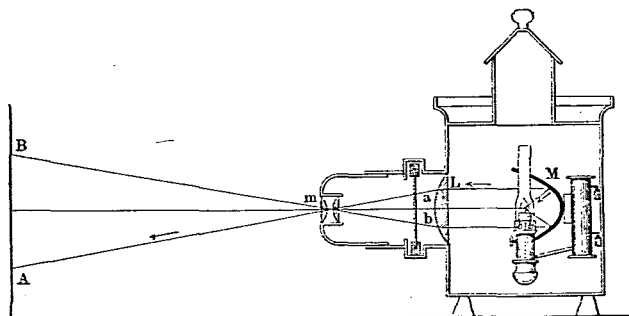
Иногда фокусники показываютъ такiя картины на больномъ экранѣ, пользуясь для этого нерѣдко даже двумя фонарями; работая ими одновременно или поочередно, можно получать, дѣйствительно, превосходныя картины.

Этотъ приборъ въ послѣднее время получилъ, подѣ названiемъ скюптикона, еще большее значенiе. Онъ дѣлается тщательнѣе, чѣмъ обыкновенная *Laterna magica*, и употребляется для того, чтобы показывать болѣе многочисленной аудиторiи изображенiя произведенiй искусства, картины астрономическаго и физическаго содержанiя, ландшафты и т. п. Въ продажѣ имѣется огромное количество фотографiй на стеклѣ (диапозитивовъ) для этой цѣли.

Если такой приборъ сдѣланъ очень тщательно, такъ что можетъ давать рѣзкiя изображенiя при очень значительномъ увеличенiи, то имъ можно пользоваться для показыванiя микроскопическихъ объектовъ. Для этого требуется очень сильное освѣщенiе, которое можно получить при помощи солнечнаго, электрическаго или Друммондова свѣта.

103. Теоретики и практики, усердно занимавшіеся, какъ было указано, изученіемъ изображеній, которыя получаютъ отъ зеркаль и линзъ, не могли не натолкнуться на мысль соединять нѣсколько зеркаль или линзъ, чтобы получать изображеніе отъ изображенія. Изъ такихъ комбинацій и выработались постепенно зрительная труба и микроскопъ. Честь ихъ изобрѣтенія не принадлежитъ одному опредѣленному лицу. Это, однако, имѣетъ второстепенное значеніе, когда мы имѣемъ въ виду познаніе самыхъ законовъ свѣта, которое имѣетъ больше значенія, чѣмъ всѣ услуги, оказанныя этими инструментами какъ въ практической жизни, такъ и въ наукѣ.

Рис. 94



Laterna magica или волшебный фонарь.

Изобрѣтеніе зрительной трубы уходитъ въ область сказочныхъ преданій. Согласно одному магометанскому преданію, на александрийскомъ маякѣ находилось огромное зеркало, при помощи котораго можно было видѣть корабли, отплывавшіе изъ Греціи. Однако, вслѣдствіе кривизны земли корабли можно было бы съ этого маяка видѣть только уже довольно далеко отъ Греціи. Если это преданіе основано вообще на чемъ-нибудь дѣйствительномъ, то, конечно, прежде всего нужно предполагать, что тамъ была комбинація большого вогнутаго зеркала съ линзой. Нѣчто подобное повѣствуется и о большой башнѣ въ Рагузѣ. Иногда изобрѣтателемъ зрительной трубы называютъ Роджера Бэкона; но изъ его книги можно, пожалуй, заключить только, что онъ представлялъ себѣ возможность сочетанія линзъ и зеркаль, хотя самъ едвали владѣлъ такимъ приборомъ.

Гораздо яснѣе выражается объ этомъ итальянскій врачъ Фракасторо изъ Вероны (1483—1553). Въ своемъ трудѣ, появившемся въ 1538 г., онъ говоритъ, что можно видѣть предметы гораздо ближе и въ увеличенномъ видѣ, положивъ двѣ линзы одну надъ другой. Если понимать это „надъ“ буквально, то, конечно, это можетъ означать микроскопъ.

Еще яснѣе пишетъ объ этомъ въ своемъ большомъ изданіи „Естественной магіи“ Порта въ 1589 г.: „Посредствомъ вогнутаго стекла ясно видны далекіе предметы, при помощи выпуклаго — близкіе. Но если правильно соединить оба эти рода стеколь, то какъ близкіе, такъ и далекіе предметы кажутся больше и яснѣе. Я оказалъ большую услугу многимъ своимъ друзьямъ, у которыхъ были плохіе глаза, и далъ имъ возможность видѣть ясно“. Эти слова едвали могутъ вызывать сомнѣшя;

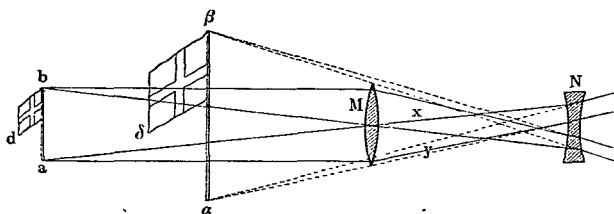
съ другой стороны, однако, почти непонятно, чтобы человекъ, подобный Портѣ, былъ знакомъ съ такимъ важнымъ изобрѣтешемъ и не описалъ его подробно, не оповѣстивъ о тѣхъ открытіяхъ, которыя онъ могъ сдѣлать на небѣ со сколько-нибудь порядочной зрительной трубой. Конечно, зрительная труба, которою владѣлъ Порта, должна была увеличивать очень мало. Но его книга, нашедшая широкое распространѣніе, можетъ быть, способствовала тому, что этимъ вопросомъ заинтересовались и другіе.

Очевидно, въ результатѣ всѣхъ этихъ занятій и явилось то, что въ 1608 г. голландскому правительству было заявлено требованіе о выдачѣ патента на зрительную трубу почти одновременно съ нѣсколькихъ сторонъ. То обстоятельство, что правительство не хотѣло дать патента ни одному изъ соискателей, а желало заплатить гонораръ за хорошо сдѣланный инструментъ одному изъ нихъ, доказываетъ, можетъ быть, лучше всего, что ни одного изъ соискателей и нельзя было считать настоящимъ изобрѣтателемъ. Если иногда называютъ изобрѣтателемъ Липперсгея, Меція или Янсена, то это, конечно, слѣдуетъ понимать такъ, что каждый изъ нихъ трехъ изготовилъ годный къ употребленію инструментъ. Во всякомъ случаѣ эти работы заслуживаютъ всей нашей признательности, и названіе зрительныхъ трубъ этого рода, которыя впервые тогда появились въ Голландіи, именемъ „Голландскаго“ телескопа вполне справедливо.

Когда въ Италію дошли слухи объ этихъ инструментахъ, одинъ телескопъ такого же рода соорудилъ Галилей. Поэтому его называютъ также Галилеевой зрительной трубой.

Галилеева труба состоитъ изъ двухъ линзъ: собирающей M (рис. 95) и разсѣивающей N . Собирающая линза должна давать маленькое изображеніе предмета $abcd$. Но еще прежде, чѣмъ получится это изображеніе, лучи попадаютъ на разсѣивающую линзу N , которая даетъ имъ другое направленіе.

Рис. 95



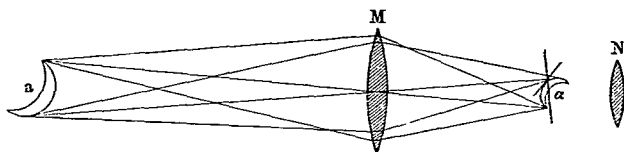
Голландская или Галилеева зрительная труба.

Такимъ образомъ, лучи ax и ay не соединяются, а отклоняются этой линзой вверхъ (въ сторону отъ преломляющаго ребра) и въ то же время разсѣиваются, такъ что кажется, что они идутъ изъ точки α . Такимъ же образомъ лучи, идущіе отъ b и d , производятъ на глазъ впечатлѣніе, будто они идутъ отъ β и δ . Поэтому предметъ кажется ближе и больше. Линзы заключаются въ трубку, которая устраняетъ посторонній свѣтъ. Длину трубки можно мѣнять и этимъ устанавливать приборъ сообразно расстоянію предмета и устройству глаза. А что это необходимо, было извѣстно уже Кеплеру въ 1610 г.

104. Въ 1611 году Кеплеръ издалъ оптику, въ которой предложилъ нѣсколь-ко другихъ зрительныхъ трубъ. Важнѣйшее изъ этихъ предложеній было осуществлено нѣсколькими годами позже его землякомъ, ученымъ иезуитомъ Шейнеромъ (1575—1650). Эта зрительная труба получила названіе Кеплеровой или астрономической. Она состоитъ изъ двухъ выпуклыхъ линзъ (рис. 96). Одна изъ нихъ M даетъ дѣйствительное изображеніе α предмета a . Это изображеніе разсматривается другою линзою N , очень выпуклою, дѣйствующею, какъ обыкновенное увеличительное стекло.

Получаемое изображеніе — обратное. Поэтому такая зрительная труба неудобна для разсматриванія земныхъ предметовъ. Зато она имѣетъ и нѣкоторыя преимущества передъ голландскою. Напримѣръ, здѣсь на томъ мѣстѣ, гдѣ получается изобра-

Рис. 96



Кеплерова или астрономическая зрительная труба.

женіе, можно помѣстить перекрестныя нити; ихъ можно при помощи линзы видѣть одновременно съ изображеніемъ предмета и, благодаря этому, можно направлять зрительную трубу на предметъ очень точно. Возможно также помѣщать на томъ же мѣстѣ трубы тонкія нити, передвигаемыя при помощи винта. Эти нити можно устанавливать такъ, чтобы онѣ касались опредѣленныхъ точекъ изображенія, напримѣръ, солнечныхъ краевъ и, такимъ образомъ, при помощи винта можно измѣрить величину этого изображенія. Это необычайно цѣнное свойство Кеплеровой зрительной трубы, которымъ не обладаетъ голландская труба, было открыто, однако, только 30 или 40 годами позже.

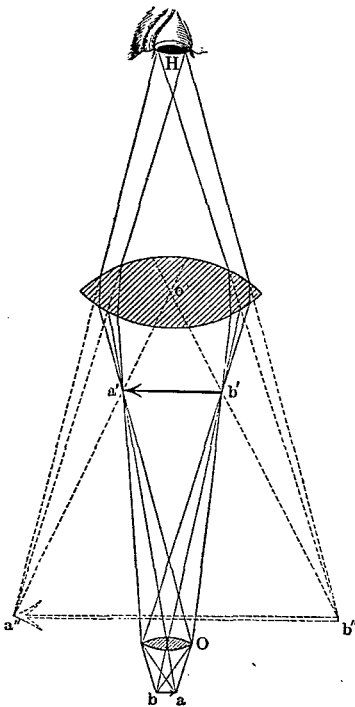
Другую форму зрительной трубы указалъ въ 1645 г. капуцинскій монахъ Ширль въ Богеміи. Она состоитъ изъ четырехъ выпуклыхъ линзъ, изъ которыхъ двѣ внутреннія переворачиваютъ (обратное) изображеніе. Такимъ образомъ, въ эту зрительную трубу предметы представляются такъ, какъ мы видимъ ихъ непосредственно, почему она и получила названіе земной зрительной трубы. Ширль первый назвалъ линзу, обращенную къ предмету, объективомъ, а обращенную къ глазу окуляромъ.

105. Раньше уже было упомянуто, что выпуклая линза или цѣлый шаръ могутъ служить увеличительнымъ стекломъ (§§ 94, 100). Вставленная въ оправу, такая линза называется лупой, а если она снабжена еще штативомъ, то — простымъ микроскопомъ. Сложный микроскопъ былъ изобрѣтенъ одновременно съ зрительной трубой, и большія заслуги въ дѣлѣ его сооруженія принадлежатъ опять-таки голландцамъ, а именно Ленсену.

Небольшая очень выпуклая линза O (теперь вмѣсто нея берутъ соединеніе нѣсколькихъ линзъ) даетъ дѣйствительное изображеніе $a'b'$ предмета ab (рис. 97); это

изображеніе разсматривается въ линзу o , какъ предметъ разсматривается въ лупу. Получается мнимое изображеніе $a'' b''$. Такъ какъ изображеніе гораздо больше предмета, то его приходится сильно освѣщать; лучше всего это достигается при помощи свѣта, падающаго на препаратъ, лежащій на стеклянной пластинкѣ, снизу. Для того, чтобы получить всѣ лучи, идущіе изъ окулярной линзы, глазъ долженъ находиться на томъ мѣстѣ, которое указано на чертежѣ. Все это устанавливается на штативѣ, который изображенъ на рис. 98. Трубка находится противъ отверстія въ столѣ, на которомъ лежитъ стеклянная пластинка съ препаратомъ и къ которому можно приближать трубку больше или меньше посредствомъ винта. Ниже этого столика помѣщается зеркало, которое можно повернуть въ любое положеніе; оно служитъ для того, чтобы отбрасывать свѣтъ лампы или дневной свѣтъ сквозь препаратъ въ трубку. Непрозрачные предметы освѣщаются сверху при помощи особой линзы. Для удобства микроскопу можно давать болѣе или менѣе наклонное положеніе.

Рис. 97



Объясненіе микроскопа.

106. Такъ постепенно создавался цѣлый рядъ полезныхъ инструментовъ, основанныхъ на преломленіи свѣта, несмотря на то, что законъ преломленія свѣта еще не былъ точно извѣстенъ. Альгазенъ зналъ (§ 94), что формулированный Птолемеемъ законъ неправиленъ. По мнѣнію Птолемея отношеніе между угломъ паденія и угломъ преломленія всегда должно оставаться однимъ и тѣмъ же, на примѣръ, для воздуха и воды оно должно быть всегда 4:3.

Наконецъ, талантливый молодой голландецъ Виллибордъ Снелль или Снеллиусъ, родившійся въ 1591 г., профессоръ математики въ Лейденѣ (ум. 1626 г.), нашелъ этотъ законъ. Однако, опубликованъ онъ былъ впервые Декартомъ въ 1637 г. и даже безъ указанія, къ кому онъ былъ открытъ, такъ что часто открытіе закона приписывали самому Декарту. Снеллиусъ написалъ объ этомъ законѣ книгу, не напечатанную, однако, и, вѣроятно, познакомилъ съ нею Декарта во время его пребыванія въ Голландіи. Этотъ законъ можно формулировать слѣдующимъ образомъ (рис. 99): если отъ точки o , въ которой лучъ проходитъ границу между взятыми средами, отложить на обѣихъ частяхъ луча равные отрезки ol и os , провести чрезъ l и s линіи, параллельныя разделяющей поверхности, до перпендикуляра къ этой поверхности, то отношеніе этихъ двухъ параллельныхъ отрезковъ для каждой пары веществъ имѣетъ вполне опредѣленное

отношеніе. Этотъ законъ можно формулировать слѣдующимъ образомъ (рис. 99): если отъ точки o , въ которой лучъ проходитъ границу между взятыми средами, отложить на обѣихъ частяхъ луча равные отрезки ol и os , провести чрезъ l и s линіи, параллельныя разделяющей поверхности, до перпендикуляра къ этой поверхности, то отношеніе этихъ двухъ параллельныхъ отрезковъ для каждой пары веществъ имѣетъ вполне опредѣленное

значение (напримѣръ, для воздуха и воды оно составляетъ 4:3), независимо отъ того, какой уголъ составляетъ лучъ съ границей, раздѣляющей взятыя средины¹⁾.

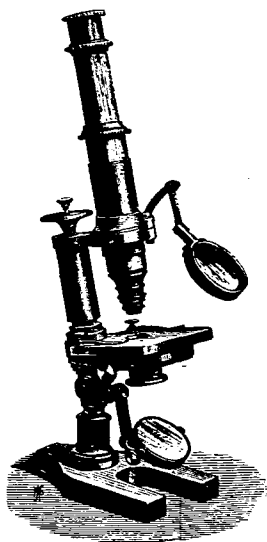
107. Если лучъ ao (рис. 100) будетъ идти въ направленіи oa_1 , лучъ bo въ направленіи ob_1 , лучъ co въ направленіи oc_1 и горизонтальный лучъ do въ направленіи od_1 , такъ что od или od_1 относится къ $d_1\delta$, какъ 4 къ 3, то эти лучи будутъ и въ обратномъ направленіи проходить тѣмъ же путемъ. Лучъ, который приходитъ къ поверхности, раздѣляющей средины, въ направленіи d_1o , такимъ образомъ выходитъ изъ нея горизонтально, т. е. въ направленіи поверхности воды. Повидимому, Кеплеръ первый задалъ вопросъ и указалъ, какъ долженъ идти въ водѣ лучъ, который, какъ e_1o , идетъ еще ближе къ поверхности. Согласно закону преломленія свѣта такой лучъ не можетъ перейти въ воздухъ. Кеплеръ²⁾ нашелъ, что онъ полностью отражается отъ раздѣляющей поверхности и притомъ по общему закону отраженія.

Значить, въ спокойную воду весь свѣтъ вступаетъ по направленіямъ, отклоняющимся отъ перпендикуляра паденія ни въ какомъ случаѣ не дальше od_1 . Слѣдовательно, въ этомъ направленіи рыбѣ представляется ея горизонтъ, рисуемой ей въ видѣ круга на поверхности воды. Дальше вверхъ она видитъ — какъ сквозь большое окно — тѣ предметы, которые находятся выше въ воздухѣ, а равно и предметы, находящіеся въ водѣ въ этомъ направленіи. Но дальше въ сторону, т. е. внѣ этого круга, поверхность воды представляетъ совершенное зеркало, въ которомъ отражается все, что находится подъ водою (рис. 101).

Вслѣдствіе полного внутренняго отраженія лучъ свѣта не можетъ пройти сквозь призму, стороны которой образуютъ достаточно большой уголъ. Пусть, напримѣръ, линія ab (рис. 102) образуетъ съ двумя поверхностями призмы oa и ob такіе малые углы, что свѣтовой лучъ не можетъ выйти изъ призмы и претерпѣваетъ полное внутреннее отраженіе; очевидно, то же будетъ имѣть мѣсто и для всякаго другого луча mn ; онъ сможетъ войти въ призму по направленію nb , но въ точкѣ b подвергнется полному внутреннему отраженію.

108. Какъ сказано выше, вплоть до XVII столѣтія было извѣстно только два закона о лучахъ свѣта: законъ ихъ прямолинейнаго распространенія и законъ отраженія; кое что было извѣстно и о третьемъ законѣ — законѣ преломленія, который былъ понятъ вполне, однако, только уже въ этомъ столѣтіи. Но греки и ихъ преемники

Рис. 98



Микроскопъ.

¹⁾ Математически этотъ законъ выражается очень просто. Если i есть уголъ паденія, b уголъ преломленія, а n постоянное отношеніе, то

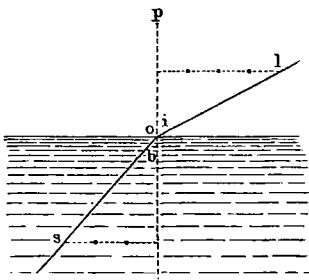
$$\frac{\sin i}{\sin b} = n.$$

²⁾ При жизни Кеплера точный законъ преломленія еще не былъ извѣстенъ.

умѣли хорошо воспользоваться и этими немногими фактами. Къ этому же періоду относится и постепенное ознакомленіе съ устройствомъ глаза.

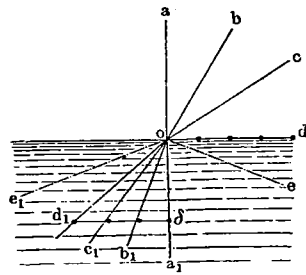
Объ устройствѣ глаза греки не знали, повидимому, ничего. Аристотель думалъ, что между глазомъ и предметомъ должно быть извѣстное количество воздуха для того, чтобы свѣтъ могъ распространяться; въ самомъ дѣлѣ, если держать предметъ совсѣмъ

Рис 99



Законъ преломленія свѣта.

Рис. 100



Полное внутреннее отраженіе.

близко къ самому глазу, то его нельзя видѣть ясно. Евклидъ думаетъ, что лучъ свѣта, дающій намъ возможность видѣть, есть безконечно-тонкая (математическая) линія. Напротивъ того, Альгазень не довольствуется умозрѣшемъ; онъ разсѣкаетъ глазъ и описываетъ его различныя части. Онъ полагаетъ, что отъ каждой точки предмета долженъ выходить не одинъ лучъ, а цѣлый пучекъ лучей, конусъ лучей, вступающій

Рис. 101

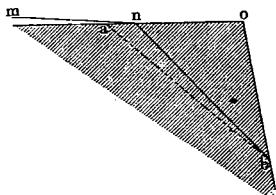


Поле зрѣнія рыбы.

въ глазъ черезъ зрачокъ, какъ черезъ окно въ комнату. Непосредственно позади зрачка онъ находитъ хрусталикъ — прозрачное кругловатое, нѣсколько сплющенное тѣло, которое и считаетъ органомъ зрѣнія.

109. Честь перваго указанія, что глазъ есть родъ камеры-обскуры, принадлежитъ Леонардо да Винчи. Онъ родился близъ Флоренціи въ 1452 г. Въ молодости Леонардо провель нѣсколько лѣтъ въ Египтѣ на службѣ Каирскаго султана, позднѣе жилъ въ Верхней Италіи, гдѣ прославился, какъ живописецъ, скульпторъ, архитекторъ, музыкантъ и математикъ. Ему принадлежитъ сочиненіе о живописи, при составленіи котораго онъ широко пользовался своими математическими и физическими познаніями. Леонардо умеръ во Франціи въ 1519 году, куда былъ призванъ Францискомъ I за три года до того.

Рис. 102



Полное внутреннее отраженіе въ призмѣ.

Леонардо была извѣстна только простая камера-обскура (безъ линзы) и потому ему не было доступно полное объясненіе дѣйствія глаза. Съ другой стороны, Делла Порта, хотя ему уже была извѣстна усовершенствованная форма камеры-обскуры (съ линзой), въ существенномъ, повидимому, не ушелъ дальне Альгазена, такъ какъ и онъ считаетъ хрусталикъ тѣмъ органомъ, на который дѣйствуетъ свѣтъ.

Впервые правильно опредѣляетъ роль хрусталика Мавроликъ; онъ говоритъ, что хрусталикъ дѣйствуетъ, какъ стеклянная линза, тогда какъ зрительное воспріятіе должно возникать въ глазу дальне, позади хрусталика. Если эта линза имѣетъ слишкомъ большую кривизну, то ея дѣйствіе нужно исправить при помощи отшлифованныхъ вогнутыхъ очковъ (близорукій глазъ). Если же, наоборотъ, ея кривизна слишкомъ мала, то этому можно помочъ выпуклыми стеклами (дальнозоркій глазъ). Впрочемъ, очки были извѣстны уже съ XIII вѣка. Ихъ изобрѣателемъ обыкновенно называютъ флорентійца Сальвино дельи Армати (ум. въ 1317 г.); объ этомъ, по крайней мѣрѣ, свидѣтельствуетъ надпись на его могилѣ. Конечно, это открытіе было сдѣлано безъ яснаго пониманія вопроса, а только благодаря случаю и пробамъ.

110. Наконецъ, Кеплеръ далъ правильное объясненіе функціи глаза, стонившее ему, по его собственнымъ словамъ, трехъ лѣтъ работы. Онъ говоритъ, что въ задней части глаза получается дѣйствительное изображеніе совершенно такъ, какъ оно образуется на задней стѣнкѣ камеры-обскуры. Это изображеніе должно быть обратное. А что мы, несмотря на это, видимъ предметы въ правильномъ положеніи, по мнѣнію Кеплера, обуславливается тѣмъ, что каждое мѣсто сѣтчатки получаетъ какъ бы толчекъ и мы, уже душевною дѣятельностью, сводимъ причину этого толчка на направление, по которому приходитъ толчокъ.

Теперь объясненіе дѣйствія очковъ было очень просто. Если хрусталикъ не даетъ на задней стѣнкѣ глаза отчетливаго изображенія, то очки того или другого рода увеличиваютъ или уменьшаютъ способность хрусталика собирать лучи, такъ что лучи собираются на надлежащемъ мѣстѣ.

Менѣе удачно была объяснена Кеплеромъ способность аккомодации глаза, т. е. способность приспособляться къ различнымъ разстояніямъ. Чѣмъ ближе предметъ, тѣмъ дальше получается изображеніе; Кеплеръ думалъ, что глазъ обладаетъ способностью больше или меньше удлиниться соотвѣтственно тому, находится ли предметъ ближе или дальше.

111. Правильное объясненіе аккомодации далъ Шейнеръ (§ 104), который на-

блюдалъ изображенія въ глазу быка, а затѣмъ и въ человѣческомъ глазу, соскобливши заднюю стѣнку глаза настолько, что изображеніе могло просвѣчивать сквозь нее.

Оболочка глаза состоитъ частью изъ прозрачной роговой оболочки *C* (рис. 104), отчасти изъ твердаго бѣлка *ESE*, покрытаго съ внутренней стороны темной сѣтчаткой, на которой находится сѣтъ тонкихъ нервовъ. Эта сѣтъ состоитъ изъ развѣтвленныхъ волоконъ зрительнаго нерва. Лучи свѣта, пройдя чрезъ роговую оболочку, дальше идутъ сквозь водянистую влагу, проходятъ круглое отверстіе радужной оболочки, зрачекъ *K*, хрусталикъ *L*, затѣмъ проходятъ сквозь стекловидное тѣло *M* и, наконецъ, попадаютъ на сѣтчатку, на которой и даютъ изображеніе.

Рис. 103



Леонардо да Винчи.

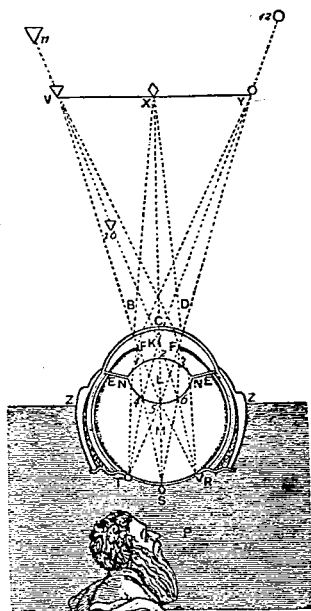
Шейнеръ объяснялъ способность аккомодации глаза тѣмъ, что форма хрусталика можетъ слегка измѣняться, благодаря напряженію извѣстныхъ мускуловъ. Онъ нанеель, что хрусталикъ обладаетъ болѣе значительной преломляющей силой, чѣмъ другія вещества, сквозь которыя свѣтъ проходитъ на своемъ пути въ глазу. Потому сжатіе этой линзы производитъ то, что она собираетъ лучи слабѣе и, такимъ образомъ, устанавливается на болѣе значительное разстояніе; утолщеніе же хрусталика производитъ болѣе сильное преломленіе и устанавливаетъ глазъ на менѣе значительныя разстоянія. Способность аккомодации имѣетъ естественный предѣлъ и потому должно существовать извѣстное разстояніе яснаго зрѣнія; по объясненію же Аристотеля, какъ было указано, причина этого должна заключаться въ томъ, что между глазомъ и предметомъ долженъ находиться воздухъ.

Рис. 105 показываетъ изображенія, которыя образуются въ глазу, направленномъ на два свѣтящихся квадрата: *a* есть изображеніе, образованное роговой оболочкой (выпуклое зеркало), *b* — изображеніе отъ передней стороны хрусталика (бо-

лѣе плоское выпуклое зеркало) и *c* — изображеніе, полученное отъ задней стороны хрусталика (вогнутое зеркало). Глазъ *A* установленъ на далекое разстояніе, глазъ *B* на близкое. Изображенія, получаемыя отъ передней стороны хрусталика, измѣняютъ свою величину, когда глазъ устанавливается на другое разстояніе.

Радужная оболочка управляется кольцеобразнымъ мускуломъ, изъ котораго исходитъ множество нитей, подобныхъ лучамъ, такъ называемыхъ рѣсничныхъ отростковъ. Подъ дѣйствіемъ извѣстнаго нерва эти мускулы расширяютъ зрачекъ въ темнотѣ и суживаютъ его на свѣту. Это не оказываетъ никакого вліянія на величину и форму изображенія на сѣтчаткѣ и вліяетъ только на его яркость.

Рис. 104

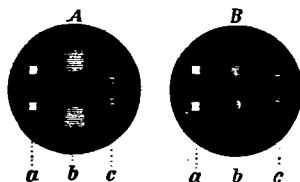


Устройство глаза по Картезію.

разсматриваемъ, а нѣсколько ближе къ носу. Когда французскій физикъ Мариоттъ занялся однажды изслѣдованіемъ чувствительности этого мѣста сѣтчатки, онъ нашелъ, къ своему удивленію, что это мѣсто совершенно не чувствительно къ свѣту. Въ этомъ можно легко убѣдиться, закрывъ лѣвый глазъ, направивъ правый на крестъ и затѣмъ приблизивъ бумагу на разстояніе приблизительно 20 см и удаляя ее, пока пятно справа не исчезнетъ.



Рис. 105



Отраженныя изображенія въ глазъ, когда онъ смотритъ вдаль (*A*) или на близкое разстояніе (*B*).

Шейнеръ показалъ далѣе, что свѣтовые лучи, попадающіе на правую сторону задней стѣнки глаза, воспринимаются, какъ идущіе отъ лѣвой стороны предмета. Именно, если сквозь маленькое отверстіе (проткнутое спицей) въ кускѣ бумаги, который держится передъ самымъ глазомъ, смотрѣть на пламя и затѣмъ двигать лезвіе ножа между глазомъ и бумагой справа на лѣво, то это лезвіе ножа закрываетъ сначала лѣвую, а потомъ правую сторону пламени.

Зрительный нервъ вступаетъ въ глазъ не въ срединѣ задней стороны его, не тамъ, гдѣ мы видимъ яснѣе всего предметъ, который



Если предметъ освѣщенъ въ достаточной степени или свѣтитъ собственнымъ

свѣтомъ, то для того, чтобы онъ произвелъ свое дѣйствіе на глазъ, достаточно одного мгновенія.

Ночью бываетъ достаточно молніи, которая не продолжается и одной тысячной доли секунды, чтобы вызвать въ глазъ ясное впечатлѣніе окружающихъ предметовъ. Напротивъ, разъ полученное впечатлѣніе исчезаетъ не сразу. Поэтому движущійся огненный предметъ кажется огненной линіей. По той же причинѣ движущійся желѣзнодорожный поѣздъ, освѣщенный въ темнотѣ молніей, производитъ впечатлѣніе неподвижнаго, — продолжительность освѣщенія такъ коротка, что замѣтить какое-нибудь измѣненіе въ положеніи поѣзда и его колесъ невозможно. На этомъ же основанъ и тауматропъ, въ простѣйшей формѣ состоящій изъ куска картона, на обѣихъ сторонахъ котораго есть рисунокъ, на примѣръ, на одной птица, а на другой клѣтка. Если укрѣпить на сторонахъ этого картона концы нитки и затѣмъ, крутя эту нитку, привести картонъ въ быстрое вращеніе, то эти два изображенія будутъ слѣдовать на сѣтчаткѣ такъ быстро одно за другимъ, что глазъ увидитъ одинъ рисунокъ — птицу въ клѣткѣ.

Каждый глазъ видитъ предметъ съ того мѣста, гдѣ онъ находится, и поэтому левый глазъ видитъ его немного больше справа, а правый глазъ — слѣва. Такимъ образомъ, изображеніе предмета въ правомъ глазѣ нѣсколько отличается отъ изображенія въ лѣвомъ. Леонардо да Винчи говоритъ, что картина никогда не можетъ производить полной иллюзіи на оба глаза, такъ какъ каждый глазъ долженъ давать свое отдѣльное изображеніе предмета. Англичанину Витстону, однако, удалось вызвать въ каждомъ глазѣ то впечатлѣніе, которое необходимо, чтобы получилось ощущеніе, какое даетъ тѣлесный предметъ.

Для этой цѣли былъ построенъ стереоскопъ, усовершенствованный Брюкстеромъ (рис. 106). Двѣ линзы, сквозь которыя оба глаза разсматриваютъ двѣ слегка отличающіяся одна отъ другой фотографіи, имѣютъ въ то же время форму призмъ, чѣмъ легче достигается совпаденіе этихъ двухъ изображеній.

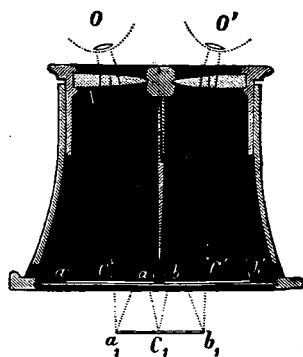


Рис. 106

Стереоскопъ.

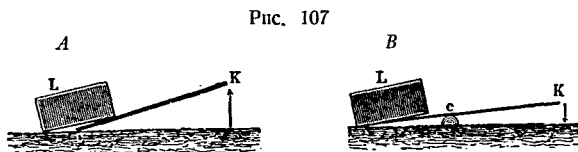
С и л а

Равновѣсіе твердыхъ тѣлъ

С и л а

112. Громадныя развалины, оставленныя намъ древними (рис. 108), достаточно доказываютъ, что они умѣли обращаться съ такими массами, справиться съ которыми при помощи непосредственной мускульной силы совершенно невозможно. Перевозка и установка обелисковъ, которыми древніе египтяне украшали входы въ свои храмы, этихъ четырехугольныхъ каменныхъ колоннъ высотой до 40 м, были бы связаны съ большими трудностями даже теперь. Значить, у народовъ древности должны были быть въ распоряженіи средства для передвиженія тяжестей, для которыхъ простой мускульной силы не хватало; не можетъ подлежать сомнѣнію, что въ этомъ важная роль принадлежала рычагу.

Изобрѣтеніе рычага такъ естественно, что о времени его нельзя ничего сказать. Рычагъ какъ одноплечій, такъ и двухплечій, безъ сомнѣнія, былъ извѣстенъ задолго до того, какъ была достигнута высокая степень культуры, о которой свидѣтельствуютъ упомянутыя развалины. Рычагъ называется одноплечимъ, если онъ имѣетъ упоръ на одномъ изъ концовъ (рис. 107), если, слѣдовательно, грузъ L и рука (стрѣлка) находятся по одну сторону отъ точки опоры и, значить, дѣйствуютъ въ



Одноплечій (А) и двухплечій (В) рычагъ.

противоположныхъ направленіяхъ, — грузъ внизъ, а рука вверхъ. Онъ получаетъ названіе двухплечаго, если грузъ L на одномъ концѣ его и рука на другомъ дѣйствуютъ по одному и тому же направленію (внизъ), тогда какъ опорой служитъ точка, лежащая между грузомъ и рукой. Можно легко замѣтить, что необходимая для движенія рычага сила тѣмъ меньше, чѣмъ ближе точка опоры лежитъ къ грузу.

Примѣненіе рычага при возведеніи построекъ въ древности показываетъ рис. 109. Люди на переднемъ планѣ подталкиваютъ камень, лежащій на каткахъ, тогда какъ другіе поднимаютъ камень двухплечими рычагами съ одной ступени пирамиды на другую.

113. Но умѣніе пользоваться подобными вспомогательными средствами, добытое опытомъ, еще не показываетъ, однако, что эти приборы были поняты по существу, и у насъ нѣтъ никакихъ доказательствъ того, что египетскіе жрецы, руководившіе этими сооружениями, обладали болѣе глубокимъ пониманіемъ этихъ приѣмовъ. Уже

то обстоятельство, что намъ постоянно приходится примѣнять ту или другую силу, можетъ наводить на такое пониманіе, но все же существенный шагъ впередъ былъ сдѣланъ лишь тогда, когда начали говорить о величинѣ силы — измѣрять силу.

Рис. 108

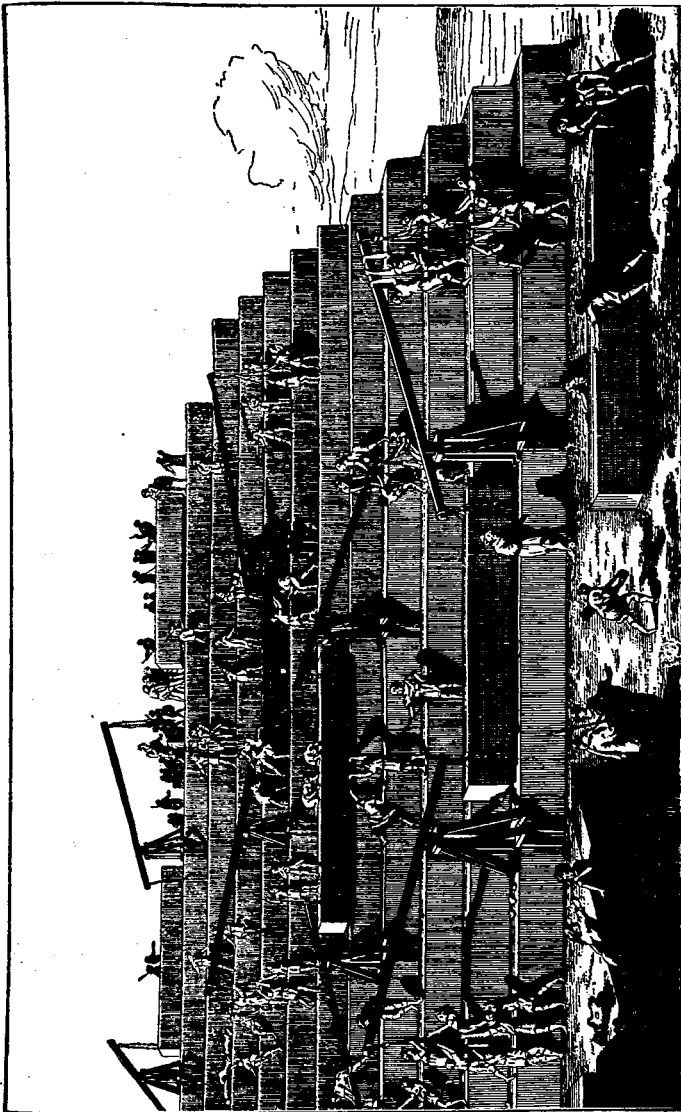


Развалины Карнакского храма въ Верхнемъ Египтѣ.

Халдеямъ, сумѣвшимъ измѣрить кругъ и углы (§ 11), равнымъ образомъ принадлежать значительные успѣхи и въ дѣлѣ измѣренія силы.

Всякое взвѣшивашіе есть уже собственно измѣреніе силы, именно той силы, которая тянетъ предметъ внизъ. Развитіе первыхъ приспособленій для взвѣшиванія те-

Рис. 109

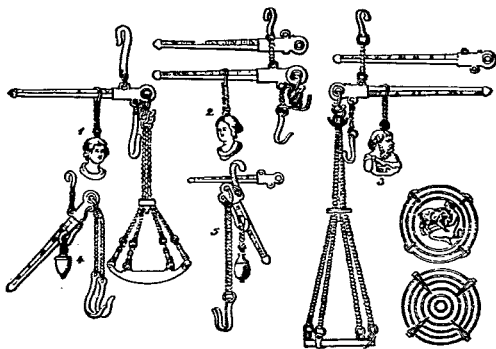


Постройка пирамиды въ древности.

ряется въ доисторическомъ времени. Всѣми особенно пользовались промышленные и торговые народы и ихъ можно найти въ различныхъ формахъ у большинства об-

разованныхъ народовъ, оставившихъ намъ предметы своей культуры. При раскопкахъ въ Помпеяхъ были найдены красивые безмены (рис. 110). Безмень есть двуплечій рычагъ, подвѣшенный на крючкѣ на извѣстномъ разстояніи отъ концовъ. На одномъ концѣ виситъ, кромѣ того, еще другой крючекъ (4) или чашка (1) для взвѣшиваемого товара. По другому, болѣе длинному плечу рычага, можетъ передвигаться грузъ, ко-

Рис. 110

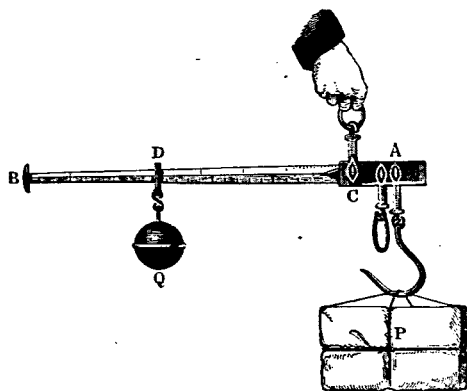


Помпейскіе безмены.

торымъ вѣсы приводятся въ равновѣсіе; въ помпейскихъ вѣсахъ этотъ грузъ часто имѣетъ форму человѣческой головы. Чѣмъ дальше приходится придвинуть грузъ къ концу для полученія равновѣсія, тѣмъ тяжелѣе товаръ и нанесенныя разъ навсегда числа указываютъ вѣсъ товара, соотвѣтствующій положенію груза. Въ очень многихъ безменахъ на другой сторонѣ ближе къ концу приделанъ еще одинъ крючокъ. Если повѣсить безмень на этомъ крючкѣ, то имъ можно взвѣшивать болѣе тяжелые предметы. Соотвѣтственныя числа находятся на другой сторонѣ коромысла. Рис. 111 показываетъ, какъ мало современный безмень отличается отъ древнихъ.

Въ скандинавскомъ безменѣ грузъ укрѣпленъ на одномъ концѣ коромысла, а взвѣшиваемый предметъ привѣшивается на другомъ концѣ. Грузъ и коромысло вмѣстѣ представляютъ деревянную воронку, въ широкій конецъ которой вливается свинецъ (рис. 112). По коромыслу передвигается петля до тѣхъ поръ, пока безмень не приходитъ въ равновѣсіе. На коромыслѣ, какъ и у обыкновеннаго безмена, нанесены мѣтки и числа, дающія вѣсъ, который соотвѣтствуетъ данному положенію петли. Эти дѣленія, однако, находятся не на одинако-

Рис. 111

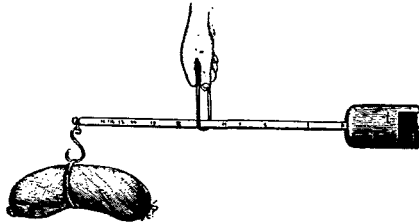


Современный безмень.

ковыхъ разстоянiяхъ другъ отъ друга, какъ и должно быть, если мѣтки даютъ послѣдовательные фунты.

114. Самую трудную часть задачи установленiя правильной системы мѣръ представляетъ выборъ единицы мѣры и указанiе способовъ, которыми ее всегда можно провѣрить и опредѣлить вновь. Обыкновенно въ качествѣ единицы мѣры прежде пользовались размѣрами легко доступнаго естественнаго предмета. Для мѣръ длины чаще всего пользовались частями человѣческаго тѣла, каковы, напримѣръ, дюймъ (digitus, большой палецъ), пядь, футъ (нога), локоть, сажень. Часто за мѣру брали также

Рис. 112



Скандинавскiй безмень.

плоды и сѣмена, напримѣръ, ячменные зерна, макъ, финиковыя косточки. Примѣръ системы мѣръ можно найти въ указѣ короля Оттокара II Богемскаго (1253 — 1278): „4 ржаныхъ зерна, положенныхъ рядомъ, даютъ одинъ поперечникъ пальца, десять поперечниковъ пальца даютъ пядь; мѣра пшеницы составляетъ столько, сколько можно удержать обѣими руками“. Другой примѣръ попытки создать правильную нормальную мѣру (футъ) находится въ одномъ сочиненiи, появившемся во Франкфуртѣ въ 1584 г.: „Нужно, чтобы 16 человекъ высокихъ и низкихъ, какъ они выходятъ, напримѣръ, изъ церкви, поставили каждый свои башмаки одинъ передъ другимъ; эта длина должна быть законной общей мѣрой, которою надлежитъ мѣрять поля“. Иногда предлагали брать за мѣру разстоянiе между зрачками взрослога человѣка.

Ниже мы будемъ говорить подробно о болѣе новыхъ и въ то же время болѣе опредѣленныхъ, но зато и менѣе легко доступныхъ способахъ опредѣленiя единицы длины. За эти единицы принимали пространство, проходимое падающимъ тѣломъ въ первую секунду, длину секунднаго маятника (Гюйгенсъ) и окружность земли (ср. § 28). Наконецъ, за единицу длины былъ принятъ метръ: длина платинового жезла, хранящагося въ Парижѣ.

Такъ какъ уже опредѣленiе одной только единицы мѣры (единицы длины) представило столько трудностей, то, очевидно, было бы очень удобно сочетать различныя роды единицъ въ одну совершенно опредѣленную, связную систему. Великая заслуга перваго шага здѣсь принадлежитъ халдеямъ; именно, они связали воедино главные роды измѣренiй: измѣренiя пространства, силы, цѣнности и времени.

Разъ установлена единица длины, изъ нея легко выводится единица повѣрхности и единица объема. Первая есть квадратъ, построенный на единицѣ длины, а послѣдняя кубъ, ребро котораго есть единица длины. Въсь такой единицы объема воды, „вавилонскiй талантъ“, былъ единицей въса и, слѣдовательно, единицей силы. Такой же въсь серебра былъ единицей цѣнности. Наконецъ, халдеи такъ регулировали

свои водяные часы, бронзовые сосуды съ однимъ отверстіемъ, что изъ нихъ вытекалъ талантъ воды въ $\frac{1}{24}$ сутокъ. Эта часть сутокъ и стала единицей времени. Установленіе такой связи между различными единицами мѣры знаменуетъ собою значительный прогрессъ въ естествознаніи и потому не удивительно, что халдейская система мѣръ пробилась себѣ дорогу у египтянъ, грековъ, римлянъ и другихъ народовъ.

Лишь въ новѣйшее время снова была введена такая система, въ которой кубъ съ ребромъ въ $\frac{1}{10}$ м представляетъ единицу объема (литръ), а вѣсъ такого куба воды представляетъ единицу вѣса (килограммъ). При современномъ совершенствѣ приборовъ и при современныхъ условіяхъ сношеній общее введеніе одной и той же основной мѣры представляеть гораздо меньше трудностей, чѣмъ во времена халдеевъ. Тѣмъ болѣе приходится сожалѣть, что и до нынѣшняго дня еще не всѣ культурные народы примкнули къ метрической системѣ мѣръ и во многихъ странахъ (Данія, Англія) еще пользуются единицами мѣры, ничѣмъ не связанными между собою.

115. Астрономія у египтянъ и халдеевъ широко пользовалась вспомогательными средствами, огромными приспособленіями для визировація и измѣренія; позднѣе греки обогатили ее мыслительнымъ аппаратомъ (математикой) и гениально переработали ее. Подобное развитіе прошла и наука о силахъ. Нѣтъ ничего величественнѣе египетскихъ памятниковъ зодчества и нельзя превзойти халдейскую систему мѣръ. Но, повидимому, этимъ народамъ остались неизвѣстными истинные законы природы, управляющіе дѣйствіемъ силъ. Ученія греческихъ философовъ отъ VI до IV вѣка до Р. X. привели къ переоцѣнкѣ роли мышленія, которое, согласно Платону, должно было вести къ познанію вѣчно неизмѣннаго, къ познанію идей. Вплоть до III вѣка до Р. X. греческіе ученые относились съ презрѣніемъ къ занятіямъ механикой и къ попыткамъ добиться успѣха механическими средствами тамъ, гдѣ чистое мышленіе не приводило къ цѣли.

Аристотель, который во многихъ отношеніяхъ былъ противникомъ Платона, написалъ, впрочемъ, книгу о силахъ; но она содержитъ такъ много невѣрнаго, что позднѣе часто являлась препятствіемъ для отысканія истины (ср. § 59).

Но въ III вѣкѣ до Р. X. механика, ученіе о законахъ силъ, такъ сказать, развернулась сразу. Именно, появился одинъ изъ величайшихъ мыслителей, какіе когда-либо жили, Архимедъ Сиракузскій. Эта наука развилась сразу съ такой силой и ясностью и охватила такую массу научныхъ истинъ, что исторія наукъ едва ли можетъ привести другой подобный примѣръ.

116. Архимедъ (287—212 до Р. X.) былъ родственникъ царя Гіерона, правившаго въ то время (269—215) въ Сиракузахъ. Но Архимедъ, повидимому, не пользовался этимъ родствомъ для того, чтобы создать себѣ вліятельное положеніе, — онъ нашель удовлетвореніе въ занятіяхъ математикой и механикой. Онъ изобрѣлъ около 40 машинъ, въ томъ числѣ полиспасть, Архимедовъ винтъ и „бесконечный“ винтъ. Какъ извѣстно, при помощи полиспаста (рис. 114) можно поднять на веревкѣ зна-

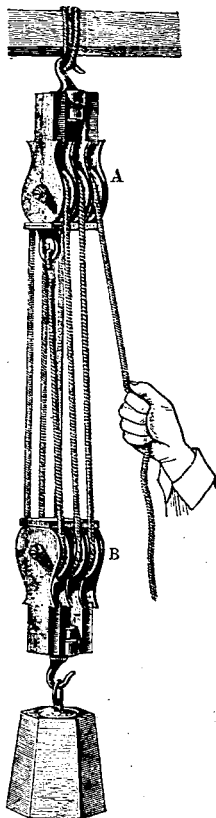
Рис. 113



Архимедъ.

чительную тяжесть сравнительно небольшимъ усилиемъ. Архимедовъ и безконечный винты основаны на томъ, что, при вращеніи винта около его оси, отдѣльное мѣсто нарѣзки какъ бы скользить отъ одного конца къ другому. Архимедовъ винтъ (рис. 115) состоитъ изъ наклонно поставленнаго барабана съ винтовой спиралью внутри. При каждомъ оборотѣ самая нижняя часть винта погружается въ воду и захватываетъ извѣстное количество воды, которое дальнѣйшими поворотами винта подымается на высоту и, наконецъ, выливается у верхняго конца винта. Архимедовъ винтъ представляетъ превосходную машину для подъема воды, которая находитъ

Рис. 114



Полиспастъ или тали.

большое примѣненіе еще и теперь. Подобное же перемѣщеніе сообщаетъ вращеніе безконечнаго винта (рис. 116) зубчатому колесу, которое, такимъ образомъ, поворачивается на одинъ зубецъ при каждомъ оборотѣ винта.

117. Когда, послѣ смерти царя Герона, Сиракузы впутались въ войну съ могучимъ Римомъ, онѣ оказали римскимъ войскамъ подъ начальствомъ Аннія Клавдія и флоту подъ начальствомъ Марцелла необычайное сопротивление, которымъ городъ, по единогласному свидѣтельству современнѣхъ и позднѣйшихъ греческихъ и римскихъ писателей, былъ обязанъ Архимеду. Полибій восклицаетъ: „такъ велика была сила одного человѣка, такъ велико дѣйствіе его гения. При тѣхъ значительныхъ силахъ, которыя осаждали городъ съ суши и съ моря, онъ долженъ былъ попасть въ руки римлянъ при первомъ же нападеніи, не будь въ Сиракузахъ этого старца. Архимедъ находится въ стѣнахъ города — и римляне не осмѣливаются идти на нихъ“. — Когда римскій полководецъ попытался взять городъ штурмомъ, его легіоны были прогнаны дождемъ мелкихъ камней, которымъ осыпали ихъ метательныя машины Архимеда. Когда Марцеллъ приблизился къ стѣнамъ съ самбукой, громадной штурмовой лѣстницей на двухъ корабляхъ, самбука была разбита огромными камнями, выброшенными другими машинами. Равнымъ образомъ у Архимеда оказывались подходящія орудія и на тѣ случаи, когда солдаты Марцелла во мракѣ ночи на корабляхъ подкрадывались къ стѣнамъ, покрытые защитной крышей. Но если нѣкоторые изъ нихъ всетаки удерживались и приближались къ стѣнамъ, то, какъ разсказываетъ Полибій, надъ стѣной внезапно появлялся конецъ рычага, съ котораго на корабль падала прикрѣпленная на цѣпи желѣзная рука, схватывавшая ванты и палубу. Затѣмъ корабль подъемомъ рычага поднимался изъ-за стѣны въ вышину,

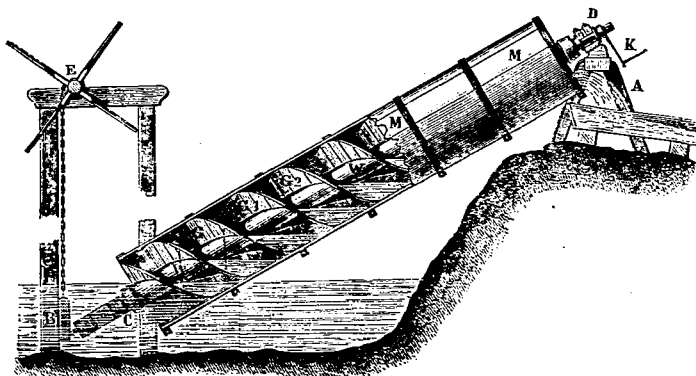
удерживался одно мгновеніе въ воздухѣ и затѣмъ пускался, такъ что съ размаху падалъ въ море, гдѣ наполнялся водой или разбивался объ утесы.

Когда римляне увидѣли наконецъ, что должны ограничиться только осадой города, заставляя его голодать, то по извѣстію, которое передаетъ одинъ позднѣйшій писатель (Антеміи), Архимедъ при помощи вогнутыхъ зеркалъ зажегъ непріятельскій флотъ.

Это, однако, в высшей степени невѣроятно. По крайней мѣрѣ попытки сдѣлать это въ новѣйшее время были напрасны. И, конечно, болѣе древніе писатели не прошли бы молчаемъ такого факта.

118. Указанныя механичесія работы прославили Архимеда на весь мѣрь, таь что выраженіемъ „настояннй Архимедъ“ и теперь еще обозначаютъ всякаго генія въ

Рис. 115



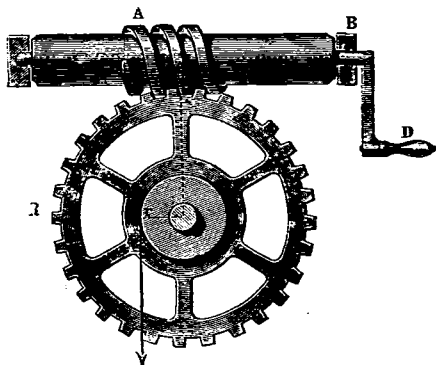
Архимедовъ винтъ.

механикѣ. И, однако, Архимедъ не придавалъ этимъ работамъ очень большой цѣны. Онъ былъ согласенъ съ Платономъ, что въ сравненіи съ чистой мыслительной работой подобныя вещи совершенные пустяки. — Архимедъ оставилъ много сочиненій,

въ которыхъ онъ разрабатываетъ труднѣйшіе математическіе и механическіе вопросы съ такимъ спокойствіемъ и ясностью, какъ будто это самая простая вещь. Особенно трудны были задачи, въ которыхъ дѣло шло о бесконечно большомъ числѣ бесконечно малыхъ величинъ, напримѣръ, вычисленіе длины окружности, которую можно разсматривать какъ сумму безчисленнаго количества бесконечно малыхъ отрѣзковъ. Математики V и IV вѣковъ не умѣли вычислять площади круга. Но Архимедъ съ характернымъ для него спокойствіемъ и убѣдительностью показалъ, что площадь круга равна прямоугольному тре-

угольнику, одинъ катетъ котораго a равенъ радиусу r (рис. 117), а другой катетъ b равенъ окружности p круга. Что же касается длины окружности, то Архимедъ показалъ, что она меньше, чѣмъ $3\frac{1}{7}$ диаметра и больше, чѣмъ $3\frac{10}{71}$ диаметра. Разница этихъ двухъ чиселъ составляетъ только $\frac{1}{197}$.

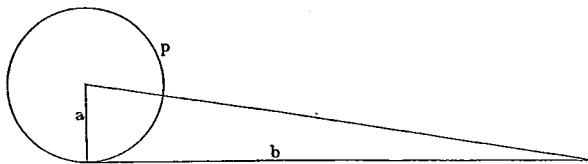
Рис. 116



Бесконечный винтъ.

Въ другомъ сочиненіи Архимедъ доказаль, что объемы конуса, шара и цилиндра одинаковаго діаметра и одинаковой высоты, относятся между собою, какъ 1:2:3 (рис. 118). Вычисленіе кривыхъ поверхностей возможно только при помощи безконечныхъ (безконечнаго количества безконечно-малыхъ); и нельзя удивляться, что человекъ, впервые сумѣвшій рѣшать такія задачи, и притомъ не только приближенно, а совершенно строго, находилъ въ этомъ такое большое наслажденіе, что выразилъ желаніе, чтобы на его могилѣ въ видѣ памятника были поставлены шаръ и цилиндръ.

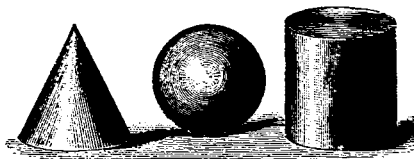
Рис. 117



Площадь круга.

119. Въ другой книгѣ Архимедъ даетъ число, которое больше числа песчинокъ, могущихъ наполнить весь міръ. Греческія числительныя не шли далѣе мириадъ (10 000). Архимедъ показываетъ, что можно отсчитать мираду мириадъ и этотъ результатъ (100 000 000) принять за единицу второго порядка. Отсчитавъ затѣмъ опять мираду мириадъ этихъ единицъ, мы получимъ единицу третьяго порядка. Продолжая такой счетъ дальше, мы получимъ единицу четвертаго порядка и т. д. Архимедъ думаль, что радіусъ звѣзднаго неба можно считать равнымъ 10 000 000 000 стадій и что 10 000 песчинокъ занимають такой же объемъ, какъ зерно мака; а 40 маковыхъ зеренъ, положенныя рядомъ, составляютъ больше, чѣмъ ширину пальца.

Рис. 118



Предложеніе Архимеда.

При этихъ допущеніяхъ онъ получаетъ, что число песчинокъ, которыя могли бы заполнить всю вселенную, составляетъ тысячу мириадъ восьмого порядка. По нашему счисленію это число нужно писать въ видѣ 1 съ 63 нулями. — Можетъ казаться, что цѣлая книга по такому вопросу представляетъ бесполезную забаву. Но на самомъ дѣлѣ это есть изліяніе гигантскаго ума, который желаетъ испытать свои силы, переступая границы непосредственныхъ чувственныхъ впечатлѣній.

120. Переходя теперь къ ознакомленію съ нѣкоторыми положеніями, на которыхъ Архимедъ основаль механику, мы, къ сожалѣнію, не можемъ точно придерживаться того способа изложенія, который находимъ въ его твореніяхъ. Это заняло бы слинкомъ много мѣста и потребовало бы большихъ знаній по математикѣ, чѣмъ мы предполагаемъ. Но самое изложеніе поражаетъ своей величественной простотой.

Плутархъ (около 100 г. по Р. Х.) пишетъ объ этомъ: „Нигдѣ во всей математикѣ нельзя найти болѣе простаго и яснаго способа рѣшенія болѣе трудныхъ и

сложныхъ задачъ, чѣмъ у Архимеда... Если ты напрасно трудился надъ тѣмъ, чтобы найти доказательство какого-нибудь положенія и затѣмъ ищешь совѣта у Архимеда, то сейчасъ же получаешь впечатлѣнїе, какъ будто ты самъ уже былъ близокъ къ открытію доказательства: такимъ легкимъ и короткимъ путемъ приходишь къ тому, что хотѣлъ доказать“.

121. Архимедъ какъ въ математикѣ, такъ и въ механикѣ исходитъ изъ простыхъ вещей, въ которыхъ никто не сомнѣвается, напримѣръ, изъ того, что если равные грузы дѣйствуютъ на равныя плечи рычага, то они удерживаютъ другъ друга въ равновѣсїи (рис. 119 А); если на равныя плечи дѣйствуютъ неравные грузы, то равновѣсїя нѣтъ, *B*: большій вѣсъ опускается; если равные грузы дѣйствуютъ на неравныя плечи, *C*, то равновѣсїя нѣтъ, а болѣе длинное плечо опускается и т. д. Отъ этихъ простѣйшихъ случаевъ онъ затѣмъ переходитъ рядомъ заключеній, при помощи чистаго мышленія, къ предложеніямъ относительно болѣе сложныхъ соотношеній.

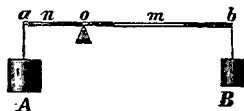
Относительно неравноплечаго рычага онъ говоритъ, что рычагъ находится въ равновѣсїи, когда грузы обратно пропорціональны длинамъ плечъ рычага. Такимъ образомъ, рычагъ (рис. 120) будетъ, напримѣръ, въ равновѣсїи, если *A* относится къ *B*, какъ *m* къ *n*. Архимедъ доказываетъ это утверженіе приблизительно слѣдующимъ образомъ.

Рис. 119



Основныя положенія Архимеда.

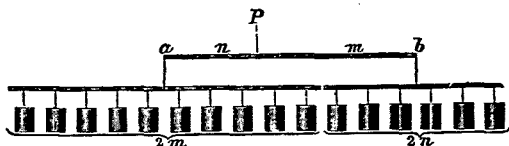
Рис. 120



Равновѣсїе рычага.

Пусть отношеніе *n* къ *m* будетъ 3:5, а отношеніе *A* къ *B*, слѣдовательно, 5:3. Въ такомъ случаѣ можно мысленно представить себѣ грузъ *A* раздѣленнымъ на 2×5 или 10 малыхъ грузовъ, а грузъ *B* на 2×3 или 6 малыхъ грузовъ такой же величины. Если такимъ же образомъ раздѣлить отрѣзокъ *n* на 3, а отрѣзокъ *m* на 5 равныхъ частей, то можно представить себѣ затѣмъ отрѣзокъ длиною $2m$ или 10, на которомъ подвѣшены маленькіе грузы, составляющіе *A*, по одному въ срединѣ каждой части. Этотъ отрѣзокъ съ малыми грузами обозначенъ $2m$ (рис. 121). Соответственно приведеннымъ выше основнымъ положеніямъ онъ находится въ равно-

Рис. 121



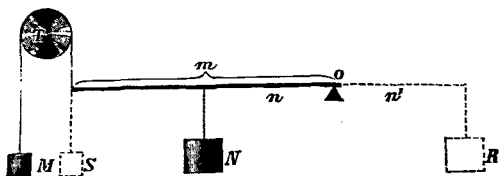
Выводъ условій равновѣсїя рычага.

вѣсїи, если подвѣшенъ какъ разъ по срединѣ. Такимъ образомъ, безразлично, подвѣсить ли въ точкѣ *a* грузъ *A* (рис. 120) или же подвѣсить въ точкѣ *a* (рис. 121) средину отрѣзка длиною 10 ($2m$) съ десятью малыми грузами. Равнымъ образомъ

будетъ безразлично, подвѣсимъ ли мы въ точкѣ b грузъ B (рис. 120) или же подвѣсимъ въ точкѣ b (рис. 121) отрѣзокъ длиною въ $6 (2n)$ съ шестью малыми грузами. Если же мы подвѣсимъ ихъ, какъ показано на рис. 121, то всѣ 16 малыхъ грузовъ будутъ висѣть въ срединахъ 16 рядомъ лежащихъ равныхъ частей одного отрѣзка. Этотъ отрѣзокъ, естественно, находится въ равновѣсїи, если подвѣшенъ въ срединѣ, а его середина есть P . Но въ такомъ случаѣ равновѣсїе должно быть, если въ a и b подвѣсить грузы A и B , замѣненные отрѣзкомъ $2m$ съ 10 малыми грузами и отрѣзкомъ $2n$ съ 6 малыми грузами.

122. Теперь легко видѣть, что одноплечій рычагъ долженъ быть въ равновѣсїи, когда на него дѣйствуютъ, въ противоположныхъ направлєніяхъ двѣ силы M и N , относящіяся между собою обратно пропорціонально разстояніямъ m и n отъ точки вращенія. Изъ рисунка видно, какъ при помощи блока можно заставить грузъ тянуть вверхъ. Если мы вообразимъ себѣ грузъ S (рис. 122) такой же величины, какъ M , подвѣшеннымъ въ той же точкѣ, въ которой M тянетъ вверхъ, то грузы S и M будутъ въ равновѣсїи. Если затѣмъ представить себѣ одноплечій рычагъ удлинненнымъ въ двуплечій, на другомъ плечѣ котораго n' , равномъ n , виситъ грузъ R такой же

Рис. 122



Одноплечій рычагъ.

величины, какъ N , то R и N также будутъ въ равновѣсїи. Но такъ какъ S равно M и R равно N , то S и R должны относиться другъ къ другу какъ n къ m или какъ n' къ m . Слѣдовательно, грузы S и R , дѣйствующіе на плечи m и n' , также удерживаютъ другъ друга въ равновѣсїи. Значитъ, всѣ эти четыре силы M, S, R и N удерживаютъ другъ друга въ равновѣсїи, а такъ какъ двѣ силы S и R взаимно уравновѣшиваются, то, слѣдовательно, въ равновѣсїи должны быть также и силы M и N .

123. Во всякомъ тѣлѣ есть точка, относительно которой вѣса всѣхъ частей тѣла находятся въ равновѣсїи. Это такъ называемый центръ тяжести тѣла; если его подпереть, то тѣло находится въ равновѣсїи. Если тѣло подперто только въ своемъ центрѣ тяжести, то весь вѣсъ тѣла дѣйствуетъ на точку опоры (или точку подвѣса).

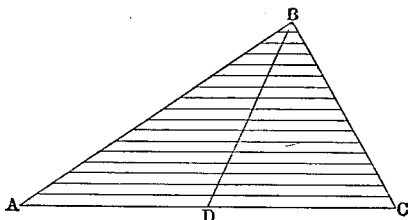
Архимедъ написалъ книгу о томъ, какъ можно математически опредѣлять центръ тяжести поверхностей различной формы. Мы должны удовольствоваться здѣсь нѣсколько инымъ способомъ изложенія, болѣе короткимъ. Если представить себѣ треугольникъ ABC (рис. 123) разрѣзаннымъ на (безчисленныя) узкія полосы параллельно одной изъ сторонъ, напримѣръ, сторонѣ AC , то каждая такая полоса будетъ въ равновѣсїи, если подпереть ее по срединѣ. Но такъ какъ средины всѣхъ такихъ полосъ лежатъ на линїи BD , которая соединяетъ вершину угла B со серединой стороны AC , то весь треугольникъ долженъ быть въ равновѣсїи, если подпереть его

вдоль линіи BD , такъ называемой медианы. На этой линіи, слѣдовательно, долженъ лежать центръ тяжести.

Подобное же разсужденіе показываетъ, что центръ тяжести треугольника долженъ также лежать на медианѣ AE (рис. 124). Слѣдовательно, онъ лежитъ въ точкѣ O пересѣченія медианъ.

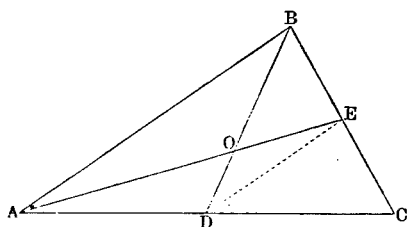
Легко видѣть, что линія ED равна половинѣ линіи AB . Но треугольникъ DOE есть, такъ сказать, треугольникъ BOA въ половинномъ масштабѣ (эти два треугольника подобны). Значитъ, не только DE равно половинѣ AB , но также и OD равно половинѣ OB . Слѣдовательно, если раздѣлить медиану BD на три равныя части, то та точка дѣленія, которая будетъ ближе къ сторонѣ треугольника, будетъ точкой пересѣченія медианъ — центромъ тяжести треугольника.

Рис. 123



Центръ тяжести треугольника лежитъ на его медианѣ.

Рис. 124



Центръ тяжести треугольника.

Чтобы найти построениемъ центръ тяжести пятиугольника, его дѣлятъ на треугольникъ и четырехугольникъ, опредѣляютъ центръ тяжести каждой изъ этихъ двухъ фигуръ и соединяютъ полученные центры тяжести. Затѣмъ повторяютъ все построение еще разъ другимъ способомъ, что даетъ вторую линію, соединяющую центры тяжести новыхъ треугольника и четырехугольника. Центръ тяжести пятиугольника долженъ лежать въ точкѣ пересѣченія этихъ двухъ линій.

Подобнымъ же образомъ можно опредѣлить центръ тяжести шестиугольника, семиугольника и т. д. Но этотъ приемъ неприложимъ къ фигурамъ, огражденнымъ кривыми линіями. Архимедъ, однако, съ присущимъ ему мастерствомъ находитъ центры тяжести различныхъ криволинейныхъ фигуръ, на чемъ мы, впрочемъ, не можемъ дольше останавливаться.

Примѣръ 1. На какой линіи долженъ лежать центръ тяжести всякой пирамиды?

Примѣръ 2. Гдѣ, слѣдовательно, долженъ лежать центръ тяжести треугольной пирамиды?

Примѣръ 3. Какой выводъ получается отсюда относительно положенія центра тяжести въ любой пирамидѣ?

125. Когда римлянамъ удалось, наконецъ, благодаря коварству и измѣнѣ, ворваться ночью въ городъ, Архимедъ въ утренней часѣ сидѣлъ въ другой части города и рисовалъ чертежи на песокѣ. Не подозрѣвая того, что произошло, онъ сидѣлъ углубленный въ свои математическія соображенія, когда римскій солдатъ бросился на него и нанесъ ему ударъ, не обращая вниманія на его крикъ: „не наступи на мои круги“. Глубоко огорченный этимъ Марцеллъ приказалъ устроить ему похороны и оказалъ почести его роднымъ. На могилѣ Архимеда былъ воздвигнутъ памятникъ, какого желалъ онъ самъ. Позднѣ Цицеронъ нашелъ памятникъ заросшимъ колючимъ кустарникомъ; то мѣсто, которое теперь называютъ могилою Архимеда, вѣроятно, не есть настоящее.

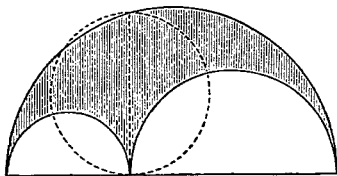
Ниже мы познакомимся еще съ другою частью физики, начало которой положилъ также Архимедъ (равновѣсіе плавающихъ тѣлъ¹⁾).

126 Мы прибавимъ теперь еще нѣсколько замѣчаній къ ученію о центрѣ тяжести, принадлежащихъ позднѣйшему времени.

¹⁾ Тотъ, кто умѣетъ вычислять площади круговъ, можетъ доказать слѣдующія положенія о кругѣ, передаваемая арабскими писателями и приписываемая Архимеду.

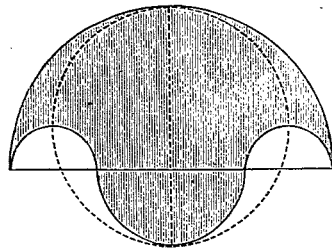
1. Данная фигура (рис. 126) ограничена тремя полукругами, такими, что сумма діаметровъ двухъ меньшихъ круговъ составляетъ діаметръ большого круга. Нужно доказать, что фигура, ограниченная этими полукругами (заштрихованная) равновелика кругу, діаметръ котораго равенъ отрезку перпендикуляра, возставленнаго къ общему діаметру въ точкѣ касанія двухъ малыхъ круговъ.

Рис. 126



Арбелонъ Архимеда.

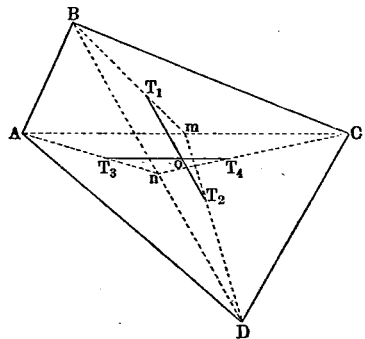
Рис. 127



Салинонъ Архимеда.

2. Два неравныхъ полукруга съ общимъ центромъ лежатъ по разныя стороны діаметра. На выступающихъ частяхъ большаго діаметра начерчены два полукруга, такъ что получается фигура 127, ограниченная четырьмя полукругами (заштрихованная). Надо доказать, что эта фигура равновелика кругу (пунктирному), діаметръ котораго равенъ суммѣ радиусовъ двухъ первыхъ полукруговъ.

Рис. 125

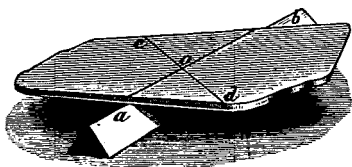


Центръ тяжести четырёхугольника.

Как и Платонъ, Архимедъ отнесся бы съ презрѣніемъ къ опредѣленію центра тяжести при помощи опыта. Однако, очень часто на практикѣ это бываетъ удобно, хотя нужно признать, что при этомъ работа мысли замѣняется чисто механическими приемами.

Если нужно найти центръ тяжести какой-нибудь плоской фигуры, то ее можно положить на острое ребро ab такъ, чтобы она приняла въ равновѣсіе, и тогда провести на этой фигурѣ линію вдоль ребра. Повторивъ это затѣмъ при другомъ положеніи фигуры, мы получимъ линію cd . Точка пересѣченія этихъ двухъ линій есть центръ тяжести взятой фигуры (рис. 128).

Рис. 128

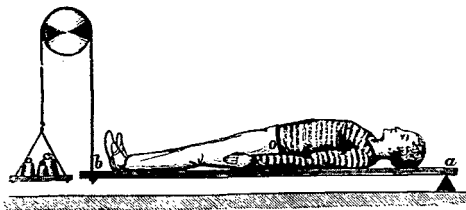


Опредѣленіе центра тяжести при помощи опыта.

Опредѣленіе центра тяжести любого тѣла можно опредѣлить также тѣмъ способомъ, который указываетъ рис. 129. Одинъ конецъ доски покоится на ребрѣ, а другой, какъ видно изъ рисунка, держится на вѣсу. Положивъ тѣло на доску, нужно положить на чашку извѣстный грузъ, чтобы возстановить нарушенное равновѣсіе. Положимъ, что для этого понадобилось 30 кг. Если, кромѣ того, извѣстенъ вѣсъ предмета и разстояніе точекъ a и b , то положеніе центра тяжести получается при помощи простого вычисленія. Имено, условіе равновѣсія состоитъ въ томъ, что вѣсъ тѣла относится къ вѣсу груза, дѣйствующаго въ точкѣ b , какъ разстояніе точки b отъ a къ разстоянію центра тяжести отъ a . Если, напримѣръ, ab равно 2·5 м, а вѣсъ тѣла 75 кг, то разстояніе центра тяжести отъ a равно 1 м.

Другой способъ нахождения центра тяжести состоитъ въ подвѣшиваніи тѣла на веревкѣ, укрѣпленной въ произвольной точкѣ тѣла. Центръ тяжести долженъ лежать

Рис. 129



Опредѣленіе центра тяжести при помощи опыта.

на продолженіи веревки. Если поэтому подвѣсить тѣло въ другой точкѣ, то получится вторая линія, на которой также долженъ лежать центръ тяжести. Значитъ, онъ будетъ находиться въ точкѣ пересѣченія этихъ двухъ линій.

127. Тѣло, подпертое или подвѣшенное такъ, что его центръ тяжести не можетъ опускаться, находится въ равновѣсіи. Напротивъ, тѣло, находящееся въ такомъ положеніи, что его центръ тяжести можетъ опускаться, приходитъ въ движеніе (вслѣдствіе силы тяжести).

Пусть центръ тяжести тѣла, которое стоитъ на опорной поверхности ab (рис.

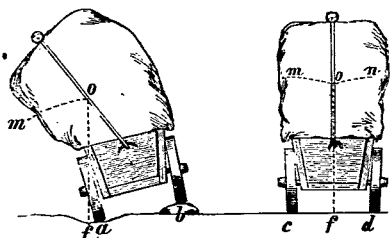
130), будетъ въ точкѣ o . Тѣло должно опрокинуться влѣво, ибо при вращеніи около a центръ тяжести o движется по дугѣ круга om и уже въ первое мгновеніе (при положеніи o) идетъ нѣсколько внизъ. Такъ будетъ всегда, когда основаніе отвѣсной линіи, опущенной изъ центра тяжести, падаетъ внѣ площади опоры. Если, напротивъ того, эта точка приходится внутри площади опоры cd , то тѣло продолжаетъ стоять, такъ какъ движеніе центра тяжести можетъ происходить только по дугѣ om или по дугѣ on , а въ обоихъ этихъ случаяхъ центръ тяжести сперва долженъ немного подняться.

Когда человѣкъ стоитъ, онъ безознательно заботится о томъ, чтобы отвѣсная линія изъ центра его тяжести падала внутри площади его опоры, т. е. поверхности, ограниченной тѣми линіями, по которымъ касаются земли наружныя части его подошвъ. Чѣмъ ближе приходится основаніе отвѣса изъ центра тяжести къ этимъ линіямъ, тѣмъ легче можно упасть. Когда же отвѣсъ приходится на точку внѣ площади опоры, то человѣкъ падаетъ, если только онъ сейчасъ же не воспрепятствуетъ начавшемуся паденію, напрымѣвъ, переставивъ ноги, какъ онъ это постоянно дѣлаетъ при ходьбѣ.

128. Даже если площадь опоры сводится къ одной точкѣ, равновѣсіе сохраняется, разъ эта точка лежитъ по отвѣсу подъ центромъ тяжести. Однако, такое равновѣсіе можетъ обладать различными свойствами.

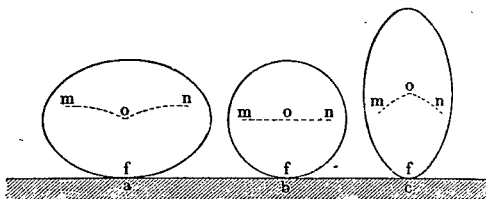
Если тѣло, опирающееся одной точкой, заставить двигаться (безъ скольженія), то могутъ представиться слѣдующіе случаи: центръ тяжести подымается (рис. 131 a), остается на одной и той же горизонтальной линіи (b) или опускается (c). Если затѣмъ пре-

Рис. 130



Условіе устойчивости тѣла.

Рис. 131



Виды равновѣсія лежащаго тѣла.

доставить тѣло самому себѣ, то въ первомъ случаѣ оно вернется къ первоначальному положенію равновѣсія, при которомъ центръ тяжести занимаетъ самое низкое положеніе. Во второмъ случаѣ тѣло будетъ въ равновѣсіи и при новомъ положеніи, и потому оно будетъ оставаться въ этомъ положеніи. Въ третьемъ случаѣ тѣло будетъ продолжать свое движеніе, а центръ его тяжести будетъ двигаться далѣе внизъ. Первое тѣло находится въ такъ называемомъ устойчивомъ равновѣсіи, второе въ безразличномъ, третье въ неустойчивомъ.

Тѣ же случаи могутъ имѣть мѣсто, если тѣло подвѣшено въ какой-нибудь

точкѣ d (рис. 132). Соответственно тому, будетъ ли точка подвѣса лежать надъ центромъ тяжести, въ немъ самомъ или подъ нимъ, тѣло будетъ находиться въ устойчивомъ, безразличномъ или неустойчивомъ равновѣси. Въ самомъ дѣлѣ, небольшое движеніе тѣла въ первомъ случаѣ (d_1) будетъ производить поднятіе, въ третьемъ (d_3) пониженіе центра тяжести, тогда какъ во второмъ случаѣ (d_2) центръ тяжести будетъ сохранять свое положеніе.

129. Первый случай лежитъ въ основѣ такъ называемаго Карданова подвѣса, которымъ пользуются для того, чтобы дать предметамъ возможность оставаться

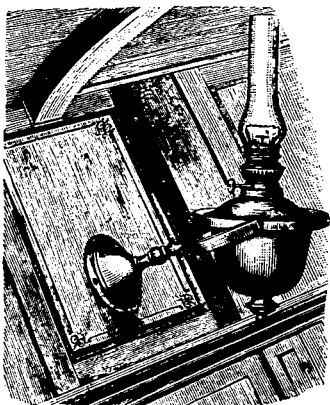
Рис. 132



Виды равновѣсія подвѣшеннаго тѣла.

Этотъ способъ подвѣса получилъ свое названіе отъ итальянскаго математика и врача Кардани (1501—1576). Въ его лицѣ мы находимъ удивительную смѣсь суевѣрій и борьбы съ суевѣріями, что отчасти было обусловлено тогдашнимъ временемъ. Онъ выступалъ, напримѣръ, противъ привидѣній и тому подобнаго, но съ другой стороны вѣрилъ, что 1 апрѣля въ 8 часовъ утра онъ можетъ выпросить у неба все, чего пожелаетъ, хотя не можетъ сдѣлать этого въ другое время. Повидимому, онъ

Рис. 133



Кардановъ подвѣсъ.

заморилъ себя голодомъ въ томъ году, въ которомъ долженъ былъ умереть по астрологическому предсказанію. Хотя въ области физики Карданъ не сдѣлалъ ничего существенно крупнаго, но онъ много разъ обнаруживалъ большое искусство. Онъ принималъ участіе въ математическихъ диспутахъ, которые часто устраивались въ то время, особенно въ Италіи, и которые много помогли сліянію древнегреческой геометріи съ буквеннымъ счисленіемъ, изобрѣтеннымъ индусами¹⁾.

Существуетъ много игрушекъ, въ которыхъ играетъ роль центръ тяжести. Если прикрѣпить на одномъ концѣ палочки изъ бузиновой сердцевины кусочекъ свинца и положить эту палочку на столъ, то она сама собою станетъ вертикально. Для того, чтобы заставить штопальную иглу „танцовать“

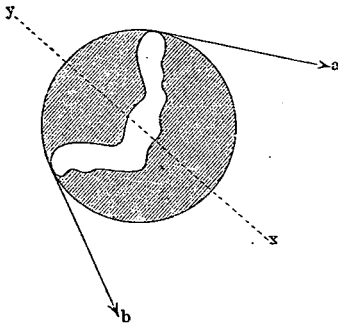
1) Такъ называемая Карданова формула рѣшенія уравненій третьей степени составляеть, однако, какъ призналъ самъ Кардани, изобрѣтеніе его земляка Тарталья (ум. 1559).

на головкѣ булавки, ее протыкають вертикально сквозь пробку, въ которую съ боковъ втыкаются двѣ вилки, направленные косо внизъ. Центръ тяжести всей этой системы лежитъ ниже конца иглы; поэтому, если поставить иглу остриемъ на не слишкомъ гладкую головку булавки, воткнутой въ пробку закупоренной бутылки, то игла вмѣстѣ съ пробкой и вилками будетъ находиться въ устойчивомъ равновѣсїи и потому будетъ плавно колебаться.

130. Въ числѣ тѣхъ, кто впервые въ эпоху возрожденія снова занялся ученіемъ о равновѣсїи Аристотеля, нужно назвать Леонардо да Винчи (§ 109). Особенныя заслуги въ дальнѣйшемъ развитіи этого ученія въ XVI вѣкѣ принадлежать Убальдо дель Монте (род. 1545). Окончивъ университетъ, Дель Монте принялъ участіе въ войнѣ противъ турокъ и позднѣе былъ главнымъ инспекторомъ крѣпостей въ Тосканѣ. Онъ пользовался своимъ вліяніемъ, чтобы создать молодому Галилею хорошее положеніе (§ 140), и послѣдній всегда чтилъ въ немъ не только благорасположеннаго друга, но и дѣльнаго физика. Дель Монте былъ истиннымъ представителемъ эпохи возрожденія, — онъ сначала перевелъ ученіе о равновѣсїи Архимеда, а затѣмъ написалъ механику, въ которой развилъ ученіе о равновѣсїи дальне. Дель Монте умеръ въ 1607 году.

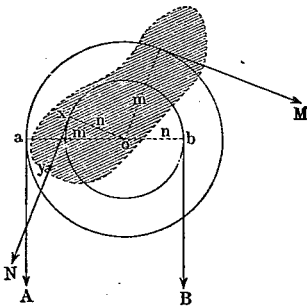
131. Когда на веревку, лежащую на блокѣ, дѣйствуютъ двѣ силы a и b (рис. 134), то само собою понятно, что эти силы будутъ въ равновѣсїи, если онѣ равны. Въ са-

Рис. 134



Равновѣсїе относительно оси вращенія по Дель Монте.

Рис. 135



Равновѣсїе неравнѣхъ силъ относительно оси вращенія по Дель Монте.

момъ дѣлѣ, на чертежѣ всѣ части будутъ расположены симметрично относительно оси xu и нѣтъ никакихъ основаній, почему бы блокъ долженъ былъ повернуться въ одну сторону, а не въ другую.

Затѣмъ непосредственно ясно, что равновѣсїе не нарушится, когда веревка будетъ прикреплена къ блоку; оно не нарушится и въ томъ случаѣ, если удалить затѣмъ заштрихованныя части блока. Пока блокъ не выйдетъ изъ положенія равновѣсїя, конечно, безразлично, есть эти части или онѣ отсутствуютъ.

На двойномъ блокѣ съ радиусами m и n (рис. 135) силы A и B , очевидно, находятся въ равновѣсїи, если онѣ обратно пропорциональны радиусамъ, т. е. если ихъ

отношеніе равно отношенію n къ m . Въ этомъ случаѣ ab можно разсматривать, какъ рычагъ, на который дѣйствуютъ силы A и B . Съ другой стороны, какъ указано выше, сила N должна уравнивать силу B , когда N равна B ; точно такъ же сила M должна быть въ равновѣсіи съ силой A , если M равно A . Такимъ образомъ, силы M и N также должны быть въ равновѣсіи, если имѣютъ ту же величину, что и силы A и B , т. е. если онѣ относятся другъ къ другу, какъ n къ m .

Итакъ, если не происходитъ никакого движенія при равновѣсіи силъ M и N , то безразлично, будутъ ли остающія части двойного блока имѣть форму точнаго круга или же какую угодно другую форму, вродѣ, напримѣръ, указанной штриховкой на рис. 133. Условіе равновѣсія двухъ силъ M и N должно оставаться прежнимъ, какова бы ни была форма остальныхъ частей блока, въ этомъ случаѣ не имѣющихъ значенія. Нѣтъ также необходимости, чтобы веревка, на которую дѣйствуетъ сила N , была закрѣплена въ точкѣ x . Она можетъ быть закрѣплена и въ точкѣ y или въ какомъ угодно другомъ мѣстѣ веревки или ея продолженія.

Тѣ двѣ силы, которыя тянутъ или давятъ на блокъ, рычагъ или другое механическое приспособленіе въ противоположныхъ направленіяхъ, въ то время обыкновенно различались подъ названіемъ силы и груза, такъ какъ такими приспособленіями часто пользовались для того, чтобы двигать грузъ силою руки. Но когда Дель Монте и его послѣдователи выяснили соотношеніе между силою и грузомъ, именно, въ томъ смыслѣ, что дѣло состоитъ не въ движеніи груза силою, а лишь во взаимномъ уравниваніи ихъ, то стало очевидно, несущественнымъ, что изъ нихъ называть силой и что грузомъ. А такъ какъ, кромѣ того, со словомъ „грузъ“ связывается представленіе вѣса, т. е. притягиванія или давленія, направленного по отвѣсу внизъ, и такъ какъ посредствомъ названныхъ приспособленій сила можетъ уравниваться также другими силами, которыя будутъ тянуть или давить по инымъ направленіямъ, то различіе между силой и грузомъ стали отбрасывать и начали говорить лишь о силахъ, которыя уравниваютъ другъ друга. При этомъ подъ силой разумѣли притягиваніе или давленіе определенной величины, которое можно выразить фунтами и направленіе котораго опредѣляется особо въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ.

Эти соображенія привели Дель Монте къ слѣдующему условію равновѣсія двухъ силъ, дѣйствующихъ въ любомъ направленіи на рычагъ (тѣло), который можетъ вращаться около неподвижной точки (оси):

Изъ точки вращенія опустимъ перпендикуляры на направленія силъ. Если силы обратно пропорціональны длинамъ этихъ перпендикуляровъ и стремятся повернуть тѣло въ противоположныхъ направленіяхъ, то это тѣло находится въ равновѣсіи.

Дель Монте ввелъ, кромѣ того, новый способъ обозначенія, который по своей ясности и наглядности представляетъ значительный шагъ впередъ. Такъ какъ M и N обратно пропорціональны величинамъ m и n , то произведения Mm и Nn равны между собою. Произведеніе силы на ея разстояніе отъ точки вращенія называется статическимъ моментомъ силы. Итакъ, условія равновѣсія двухъ силъ, дѣйствующихъ на тѣло, которое можетъ вращаться около оси, перпендикулярной къ плоскости силъ, можно формулировать слѣдующимъ образомъ: Силы должны стремиться двигать тѣло въ противоположныхъ направленіяхъ, а ихъ статическіе моменты должны быть равны.

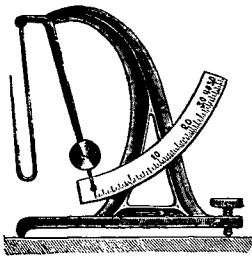
Это положеніе справедливо также и тогда, когда на тѣло дѣйствуетъ больше двухъ силъ. Въ этомъ случаѣ ихъ раздѣляютъ на двѣ группы: въ одну группу выдѣляютъ силы, которыя стремятся повернуть тѣло въ одномъ направленіи, въ другую тѣ, которыя стремятся двинуть его въ противоположномъ направленіи. Тѣло будетъ находиться въ равновѣсїи, если сумма статическихъ моментовъ одной группы равна суммѣ статическихъ моментовъ другой группы.

Примѣръ 1. Ящикъ, наполненный однороднымъ веществомъ, вѣситъ 270 кг. Его три ребра имѣютъ въ длину $a = 80$, $b = 100$ и $c = 120$ см. Какое горизонтальное давленіе нужно произвести на верхнее ребро, чтобы перевернуть ящикъ около ребра a или около ребра b , если онъ стоитъ на сторонѣ ab ? Какое давленіе требуется для того, чтобы перевернуть этотъ ящикъ около a или c , если онъ стоитъ на ac , и какое давленіе для того, чтобы повернуть его около b или c , если онъ стоитъ на bc ? Отвѣтъ: $112\frac{1}{2}$, 90, 162, 108, $102\frac{1}{2}$, $168\frac{3}{4}$ кг.

Примѣръ 2. Вѣсы для писемъ, рис. 136.

132. Механику сильно подвинулъ впередъ также современникъ Дель Монте, голландецъ Симонъ Стевенсъ, обыкновенно называемый Стевиномъ, родившійся въ Брюгге въ 1548 г. Сначала онъ былъ конторщикомъ у одного антверпенскаго купца, затѣмъ предпринималъ далекія путешествія, 35 лѣтъ отъ роду началъ службу въ Лейденскомъ университетѣ и въ 1620 г. умеръ, состоя въ должности инспектора водяныхъ сооружений.

Рис. 136



Вѣсы для писемъ.

Стевинъ много занимался изслѣдованіями по механикѣ, принадлежа къ тѣмъ своимъ современникамъ, которые и въ научныхъ работахъ предпочитали родной языкъ латинскому. Въ развитіи наукъ, по его взгляду, должны принимать участіе, какъ можно больше людей, собирая опыты, и потому ученые должны писать на родномъ языкѣ, понятномъ всѣмъ, „какъ это дѣлали греки и даже римляне“. Голландскій языкъ, на которомъ онъ писалъ свои сочиненія, былъ, по его мнѣнію, особенно пригоденъ для яснаго и связнаго изложенія, благодаря большому количеству односложныхъ словъ. На этомъ языкѣ написано его главное сочиненіе „De Beginselen der Weegkonst“. Собраніе его сочиненій было, впрочемъ, издано на французскомъ языкѣ въ 1634 г., уже послѣ его смерти.

Онъ также горячо старался ввести въ употребленіе десятичную систему во всѣхъ вычисленіяхъ, равно какъ и при подраздѣленіи монетъ, мѣръ и вѣсовъ. Но только теперь, спустя 300 лѣтъ, съ введеніемъ единицы длины метра, единицы вѣса грамма и сотеннаго дѣленія большинства монетъ, эта мысль нашла осуществленіе. Замѣчательно, что одна только Англія все еще придерживается старыхъ подраздѣленій.

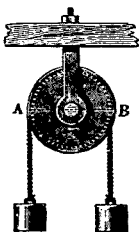
Образцомъ искусства Стевина можетъ служить устройство повозки съ парусами, которую двигалъ вѣтеръ и въ которой 18 человекъ, между ними принцъ Морицъ Нассаускій, въ 2 часа проѣхали четыре голландскія мили.

133. Одно замѣчаніе относительно блоковъ, сдѣланное впервые Стевиномъ, въ послѣдствіи приобрѣло большое значеніе. Рис. 137 а представляетъ неподвижный блокъ, т. е. блокъ, ось котораго лежитъ на неподвижныхъ подшипникахъ. Двѣ силы

находятся въ равновѣсш, если онѣ равны по величинѣ, на основанш § 131 или же въ силу того, что такой блокъ можно считать двуплечимъ рычагомъ съ одинаковыми плечами.

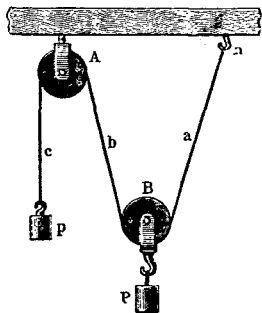
Въ подвижномъ блокѣ (рис. 137 б) одна сила P дѣйствуетъ на обойму, въ которой укрѣплена ось блока. Вмѣсто того, чтобы заставить дѣйствовать какую-нибудь силу b вверхъ, можно перебросить шнуръ черезъ неподвижный блокъ и заставить силу дѣйствовать внизъ. Величина силы отъ этого не измѣнится. Такъ какъ дѣйствіе силы P распределяется на обѣ части a и b веревки, то равновѣсіе будетъ достигнуто, если въ b будетъ дѣйствовать сила p , которая вдвое меньше силы P .

Рис. 137 а



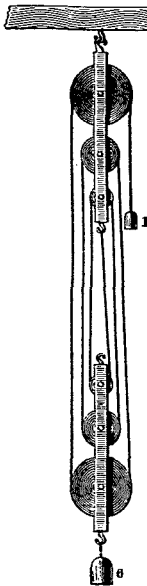
Неподвижный блокъ.

Рис. 137 б



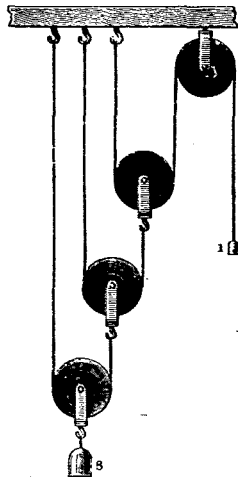
Подвижный блокъ.

Рис. 137 с



Полиспастъ перваго рода.

Рис. 137 д



Полиспастъ втораго рода.

Рис. 137 с представляетъ полиспастъ перваго рода или тали. Онъ состоитъ изъ двухъ группъ блоковъ, по нѣсколько въ каждой. Одна изъ этихъ группъ неподвижна, другая подвижна. Веревка укрѣплена въ верхней части и затѣмъ охватываетъ поочередно одинъ блокъ нижней и одинъ блокъ верхней части.

Большая сила (грузъ) дѣйствуетъ на подвижную часть, меньшая сила на свободный коней веревки. Такъ какъ дѣйствіе тяжести распределяется въ данномъ случаѣ на шесть веревокъ, то для равновѣсія на свободномъ концѣ веревки должна быть приложена сила, равная всего только шестой части груза. Вообще здѣсь сила равна грузу, раздѣленному на общее число блоковъ полиспаста.

Въ полиспастѣ втораго рода, изображенномъ на рис. 137 д, сила, которая

должна дѣйствовать на первую веревку, равна половинѣ груза, сила, дѣйствующая на вторую веревку, равна четверти груза, на третью — восьмой его части, на четвертую — шестнадцатой и т. д. Такимъ образомъ, если число блоковъ равно n , то сила должна быть въ 2^n разъ меньше груза¹⁾).

Если обозначить силу чрезъ A , а грузъ чрезъ B , то въ случаѣ

$$\begin{array}{cccc} \text{а.} & \text{б.} & \text{с.} & \text{д.} \\ A = B, & 2A = B, & 6A = B, & 8A = B. \end{array}$$

Здѣсь Стевинъ и дѣлаетъ слѣдующее замѣчаніе. Если происходитъ маленькое движеніе, напримѣръ, если A слегка подымается, а B немного опускается или наоборотъ, то лишь въ случаѣ a перемѣщеніе груза A будетъ такой же величины, какъ и перемѣщеніе груза B . Въ случаѣ b для того, чтобы грузъ B перемѣстился на одинъ дюймъ, грузъ A долженъ перемѣститься на два дюйма. Въ случаѣ c , если каждая изъ шести частей веревки укорачивается на одинъ дюймъ и, слѣдовательно, грузъ B перемѣщается на одинъ дюймъ, грузъ A долженъ передвинуться на шесть дюймовъ. Въ случаѣ d , для того, чтобы грузъ B могъ передвинуться на одинъ дюймъ, грузъ A долженъ перемѣститься на восемь дюймовъ. Если обозначить движенія грузовъ A и B черезъ a и b , то въ указанныхъ четырехъ случаяхъ получится:

$$a = b, \quad a = 2b, \quad a = 6b, \quad a = 8b.$$

Сравненіе этихъ равенствъ съ предыдущими даетъ слѣдующее положеніе: во сколько разъ одинъ грузъ (или одна сила) больше другого, во столько же разъ его перемѣщеніе меньше перемѣщенія другого груза, или же произведеніе одной силы на ея перемѣщеніе равно произведенію другой силы на ея перемѣщеніе. Но такъ какъ здѣсь имѣетъ мѣсто равновѣсіе, то флѣосообразнѣе говорить о возможномъ движеніи или о возможной скорости, чѣмъ о дѣйствительномъ движеніи или о дѣйствительной скорости. Такимъ образомъ, этому положенію можно дать слѣдующую формулировку: Данная сила уравнивается другою, если произведеніе первой силы на ея возможное перемѣщеніе равно произведенію другой силы на возможное перемѣщеніе этой второй силы.

134. Это важное положеніе, начало возможныхъ перемѣщеній, было впервые высказано Стевиномъ въ приведенной выше формѣ въ примѣненіи къ блокамъ и полиспастамъ. Его великій современникъ, молодой еще Галилей показалъ, что это положеніе, какъ мы тотчасъ увидимъ, имѣетъ болѣе широкое значеніе, а позднѣе было найдено, что оно вѣрно вообще для всевозможныхъ машинъ.

Примѣръ 1. Нетрудно видѣть, что положеніе Дель Монте о статическихъ моментахъ есть частный случай этого положенія.

Примѣръ 2. Это положеніе можно также примѣнить къ дифференціальному полиспаству (рис. 138). Два блока различныхъ діаметровъ наглухо скрѣплены одинъ съ другимъ (или выточены изъ одного куска) и могутъ вращаться около общей неподвижной оси. Безконечная цѣпь охватываетъ каждый изъ этихъ блоковъ, сдѣланныхъ такъ, что цѣпь не можетъ по нимъ скользить.

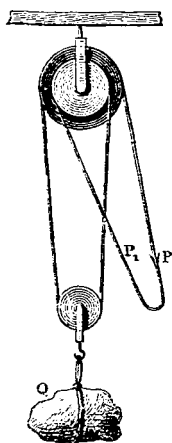
Свободно висящая часть этой цѣпи охватываетъ подвижный блокъ, на ось котораго дѣйствуетъ грузъ. Если сила (рука), дѣйствующая на цѣпь, заставляетъ вра-

¹⁾ Отсюда нѣмецкое названіе этого полиспаста: *Potenzflaschenzug*, „степенной“ полиспасть.

шаться дифференціальный блокъ, то большой блокъ подымаетъ вверхъ бѣльшій кусокъ цѣпи, чѣмъ на другой сторонѣ выпускаетъ малый блокъ. Если окружность большого блока будетъ, напримѣръ, 60 см, а окружность малаго 55 см, то одинъ оборотъ блока вытянетъ 60 см цѣпи и выпуститъ 55 см. Такимъ образомъ, часть цѣпи, несущая грузъ, укоротится на 5 см; а такъ какъ она двойная, то грузъ при этомъ подымается только на $2 \cdot 5$ см. Значитъ, въ этомъ примѣрѣ перемѣщеніе руки будетъ въ 24 раза больше перемѣщенія груза и, слѣдовательно, для равновѣсія послѣдняя сила должна быть въ 24 раза больше первой!).

Своеобразное приложеніе того же принципа представляютъ вѣсы Роберваля (рис. 139). Роберваль (1602 — 1675) былъ хорошій математикъ, принимавшій горячее участіе въ математическихъ диспутахъ своего времени. Онъ былъ членомъ Парижской академіи со времени ея учрежденія въ 1665 году.

Рис. 138

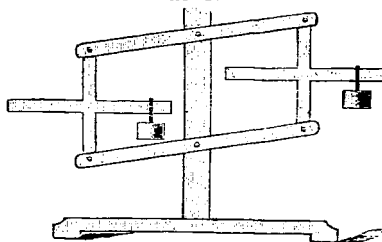


Дифференціальный полиспасть.

На этомъ основаны такъ называемые столовые вѣсы (рис. 140). Ихъ чанки поддерживаются вертикальными стержнями, которые связываютъ концы коромысла со стержнемъ $A'B'$, находящимся въ нижней части вѣсовъ.

135. Начало возможныхъ перемѣщеній легко понять, если представить себѣ двѣ силы въ видѣ двухъ грузовъ, изъ которыхъ каждый, A и B , вѣситъ 1 килограммъ

Рис. 139



Вѣсы Роберваля.

Два двуплечихъ рычага одинаковой длины вращаются около осей на вертикальномъ штативѣ. Какъ показываетъ рисунокъ, они соединены съ двумя крестами одинаковой величины при помощи четырехъ шарнировъ. Одна полоса каждого креста находится въ вертикальномъ положеніи, другая въ горизонтальномъ. При вращеніи рычаговъ оба креста удерживаютъ свое отвѣсное положеніе, такъ что каждая точка перваго движется вверхъ настолько же, насколько каждая точка другаго креста движется внизъ.

Поэтому два груза одинаковой величины должны находиться въ равновѣсіи независимо отъ того, на какое именно мѣсто креста они положены.

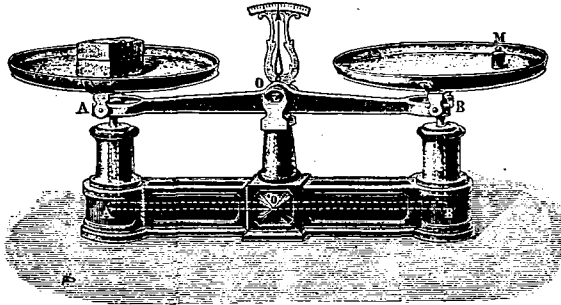
На этомъ основаны такъ называемые столовые вѣсы (рис. 140). Ихъ чанки поддерживаются вертикальными стержнями, которые связываютъ концы коромысла со стержнемъ $A'B'$, находящимся въ нижней части вѣсовъ.

135. Начало возможныхъ перемѣщеній легко понять, если представить себѣ двѣ силы въ видѣ двухъ грузовъ, изъ которыхъ каждый, A и B , вѣситъ 1 килограммъ

1) Если окружности блоковъ будутъ O и o , то часть цѣпи, поддерживающая грузъ, при каждомъ оборотѣ будетъ укорачиваться на $O - o$; грузъ, такимъ образомъ, будетъ подыматься на $\frac{O - o}{2}$. Значитъ, $A \cdot O = B \cdot \frac{O - o}{2}$. Отсюда и названіе дифференціального (разностнаго) полиспаста.

н изъ которыхъ первый движется на a сантиметровъ вверхъ, а второй на b сантиметровъ внизъ. Совершенно естественно, что здѣсь не будетъ никакого движенія и, слѣдовательно, будетъ имѣть мѣсто равновѣсіе, если перемѣшеніе каждаго килограмма на одинъ сантиметръ внизъ будетъ сопровождаться перемѣщеніемъ одного килограмма на одинъ сантиметръ вверхъ. Но это и будетъ имѣть мѣсто, когда $A.a = B.b$.

Рис. 140



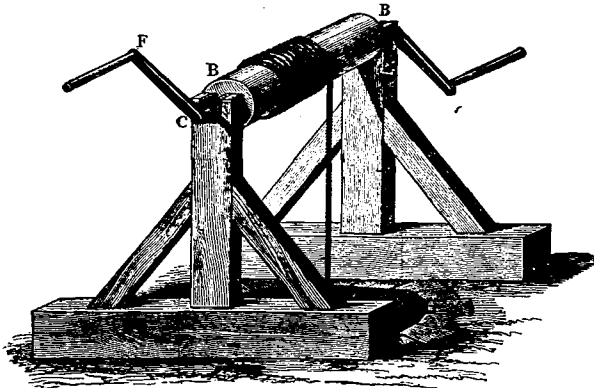
Столовые вѣсы.

Еслибы, напримѣръ, движеніе 12 кг на 7 см внизъ производило движеніе 14 кг на 6 см вверхъ, то соотвѣтственныя двѣ силы были бы въ равновѣсіи, такъ какъ 12×7 равно 14×6 .

Примѣръ 1. Диаметры дифференціального блока имѣютъ 28 и 27 см . Во сколько разъ сила будетъ меньше груза?

Примѣръ 2. Вороть (рис. 141). Каждую изъ двухъ его ручекъ вращаетъ одинъ человѣкъ. Подымаемое ведро вѣситъ 45 кг . Поперечникъ вала равенъ 20 см ,

Рис. 141



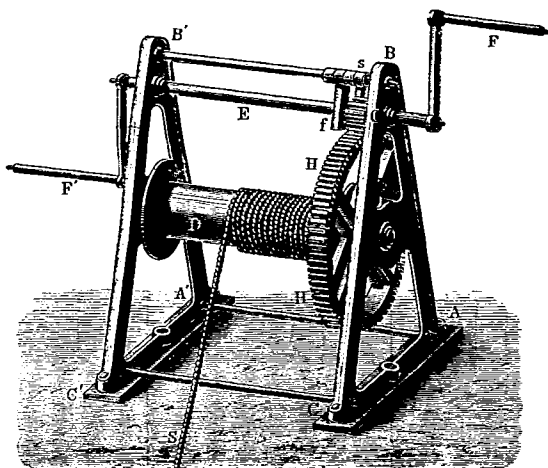
Простой вороть.

длина рукоятки CF равна 42 см . Какое давленіе долженъ оказывать каждый изъ этихъ людей на рукоятку?

Примѣръ 3. Воротъ съ приводомъ (рис. 142). На каждую изъ двухъ рукоятокъ дѣйствуетъ рука, производя давлеше въ 12 кг. Длина рукоятокъ составляетъ 40 см, поперечникъ вала 22 см. Маленькое зубчатое колесо (шестерня) имѣетъ 12, а колесо, насаженное на валъ, 72 зубца. Съ какой силой тянетъ веревка?

Примѣръ 4. Очень часто при помощи пасовъ и шкивовъ движеніе одной оси передается на другую ось, на большемъ или меньшемъ разстояніи отъ первой. „Безконечный“ ремень охватываетъ оба колеса (оси) такъ, что не можетъ соскользнуть съ нихъ. Если одна ось приводится во вращеніе, напримѣръ, паровой машиной, то

Рис. 142



Воротъ съ приводомъ.

должно вращаться и второе колесо, причемъ его край движется съ тою же быстротой, съ какой движется край перваго колеса. — Поперечники двухъ передаточныхъ колесъ имѣютъ 140 см и 21 см. На первое изъ нихъ, черезъ посредство рукоятки, дѣйствуетъ давлеше въ 25 кг. На вторую ось насаженъ кругъ въ 60 см діаметромъ. Какимъ давлешемъ на край этого круга можно сохранить равновѣсіе?

Примѣръ 5. Если повернуть винтъ на одинъ оборотъ, то онъ перемѣщается въ своей гайкѣ по продольному направленію на небольшое разстояніе, называемое высотой хода винта. Если длина рычага съ каждой стороны оси равна 17·5 см, если на каждомъ концѣ (каждой рукой) производится давлеше въ 15 кг и если, наконецъ, высота хода винта равна 2·5 мм, то какъ велико будетъ давлеше, производимое винтомъ? (Сопротивленіемъ, которое производится треніемъ, здѣсь нужно пренебречь).

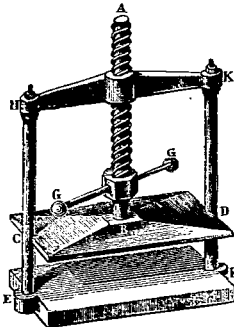
Примѣръ 6. При безконечномъ винтѣ (рис. 116) имѣется рукоятка длиною въ 22·5 см. Зубчатое колесо имѣетъ 60 зубцовъ, а поперечникъ вала, на которомъ сидитъ это колесо, равенъ 15 см. Во сколько разъ здѣсь грузъ будетъ больше силы?

136. Если тѣло можетъ безъ сопротивленія катиться или скользить по наклонной плоскости, то сила, достаточная для того, чтобы помѣшать этому скатыванію (и,

слѣдовательно, удержать тѣло въ равновѣсіи), должна быть, очевидно, меньше вѣса тѣла. Стевинъ опредѣлилъ величину этой силы оригинальнымъ способомъ, которому онъ придавалъ большое значеніе, такъ что даже заглавная страница одной изъ его книгъ снабжена чертежомъ, воспроизведеннымъ на рис. 144.

Однородная цѣпь положена вокругъ трехсторонней призмы, нижняя сторона которой горизонтальна; цѣпь лежитъ на двухъ наклонныхъ плоскостяхъ призмы и виситъ въ видѣ дуги подлѣ ея нижнею частью; она находится, очевидно, въ равновѣсіи:

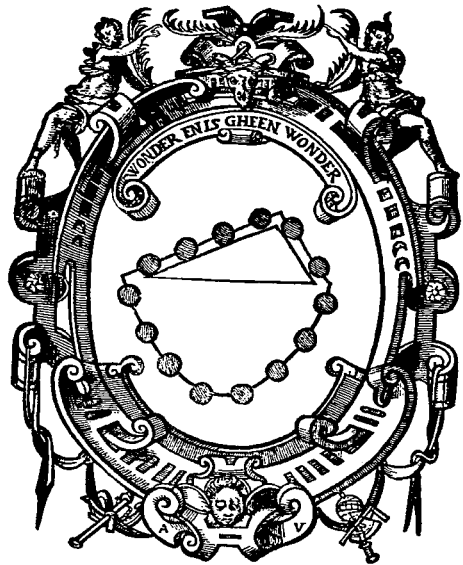
Рис. 143



Винтовой прессъ.

сама собою она не начнетъ соскальзывать ни съ одной, ни съ другой наклонной плоскости. Та часть цѣпи, которая виситъ ниже горизонтальной плоскости призмы, конечно, симметрична и тянетъ обѣ части цѣпи, лежащія на наклонныхъ плоскостяхъ, съ одинаковой силой. Поэтому послѣднія части цѣпи были бы въ равновѣсіи и въ томъ случаѣ, еслибы свободно висящая часть ея совершенно отсутствовала. Но вѣса этихъ двухъ частей цѣпи пропорціональны ихъ длинамъ, слѣдовательно, пропорціональны длинамъ этихъ двухъ наклонныхъ плоскостей. Безразлично, будутъ ли эти части цѣпи имѣть обыкновенную форму цѣпныхъ звеньевъ или онѣ будутъ состоять изъ шаровъ одинаковаго вѣса, связанныхъ шнурами. Такимъ образомъ, это разсужденіе приводитъ къ слѣдующему положенію: два тѣла, связанные одно съ другимъ шнуромъ, уравниваются другъ друга на двухъ наклонныхъ плоскостяхъ, если ихъ вѣса пропорціональны длинамъ этихъ наклонныхъ плоскостей. Если одна изъ наклонныхъ плоскостей отвѣсна (рис. 145), то тѣло d виситъ свободно и дѣйствуетъ всѣмъ своимъ вѣсомъ, длину же этой наклонной плоскости h въ такомъ случаѣ является такъ называемая высота другой наклонной плоскости l . Нашему положенію можно поэтому дать такую формулировку: Тѣло (c) на наклонной плоскости удерживается въ равновѣсіи силою

Рис. 144



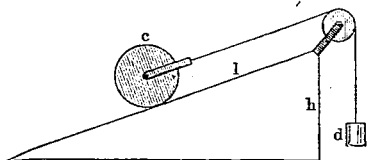
Рисунокъ Стевина на заглавной страницѣ („Чудо и не чудо“).

своею тяжестью, которая пропорціональна длинѣ наклонной плоскости, на которой она лежитъ. Если же одна изъ наклонныхъ плоскостей отвѣсна, то тѣло d виситъ свободно и дѣйствуетъ всѣмъ своимъ вѣсомъ, длину же этой наклонной плоскости h въ такомъ случаѣ является такъ называемая высота другой наклонной плоскости l . Нашему положенію можно поэтому дать такую формулировку: Тѣло (c) на наклонной плоскости удерживается въ равновѣсіи силою

(d), которая дѣйствуетъ въ направленіи наклонной плоскости и относится къ вѣсу тѣла, какъ высота (h) наклонной плоскости къ ея длинѣ (l).

137. Это предложеніе на первый взглядъ какъ будто не согласуется съ тѣмъ закономъ, что произведенія силъ на возможные перемѣщенія должны быть одинаковы въ обоихъ направленіяхъ (§ 133); силы c и d (рис. 145), очевидно, проходятъ равные пути, но сами не равны. Галилей (§ 138 и сл.) дѣлаетъ по этому поводу слѣдующее замѣчаніе: Когда c движется по наклонной плоскости вверхъ или внизъ, то длину наклонной плоскости нельзя считать тотъ путь, на величину котораго тѣло смѣщается

Рис 145.



Равновѣсіе на наклонной плоскости

изъ своего начальнаго положенія, такъ какъ тяжесть, дѣйствующая на него, тянетъ его только по отвѣсному направленію внизъ. Въ самомъ дѣлѣ, въ то время, напримѣръ, когда d опускается на разстояніе l , грузъ c подымается вверхъ только на величину высоты h наклонной плоскости. Слѣдовательно, въ концѣ концовъ согласованіе получается здѣсь и $c \cdot h$ равно $d \cdot l$.

Такимъ образомъ, положеніе, что произведенія силъ на возможные перемѣщенія равны, нужно понимать такъ, что эти перемѣщенія должны измѣряться не въ направленіи движенія, а въ томъ направленіи, въ которомъ дѣйствуетъ сила.

Примѣръ. На уклонъ въ 6 м длиною вкатывается цилиндръ вѣсомъ въ 300 кг, который при этомъ подымается на высоту 0.5 м. Какъ велика сила, дѣйствующая на ось цилиндра въ направленіи этой наклонной плоскости?

138. Настоящимъ основателемъ новаго естествознанія является Галилео Галилей. Онъ родился въ Пизѣ въ тотъ самый день, 18 февраля 1564 г., въ который

Рис. 146



Галилей.

умеръ въ Римѣ Микель-Анджело. Галилей происходилъ изъ старинной дворянской фамиліи. Его отецъ, „богатый дѣтьми, но бѣдный деньгами“, первоначально предназначалъ его въ купцы. Но сынъ дѣлалъ такіе успѣхи въ латинской школѣ, что отецъ рѣшилъ дать ему возможность посѣщать университетъ для изученія медицины. Однажды въ 1583 г. Галилей замѣтилъ въ Пизанскомъ соборѣ, что двѣ лампы различной величины, но висѣвшія на шнурахъ одинаковой длины, раскачались и продолжали качаться въ тактъ другъ другу. Раздумывая объ этомъ явленіи, онъ нашелъ, что оно противорѣчитъ сочиненіямъ Аристотеля. Именно, лампада, удалившись дальне всего отъ положенія равновѣсія, снова движется къ нему, какъ бы падая (правда, не по отвѣсу, но все же внизъ). Она приходитъ къ этому положенію съ извѣстной скоростью, вслѣдствіе

чего проходитъ дальше положенія равновѣсія, затѣмъ снова возвращается къ нему и т. д.

Галилей понялъ, что стремленіе падать должно быть одинаково сильно у двухъ различныхъ лампадъ, такъ какъ обѣ онѣ двигались одинаково быстро и, слѣдовательно, ихъ паденіе происходило въ одинаковое время. Аристотель же, напротивъ того, училъ, что предметъ вдвое бѣльшаго вѣса падаетъ съ удвоенною скоростью.

139. Но Галилей нашель, что послѣднее очень маловѣроятно: „если одна лошадь можетъ пробѣгать въ часъ 3 мили и другая столько же, то онѣ не пробѣгутъ

Рис. 147

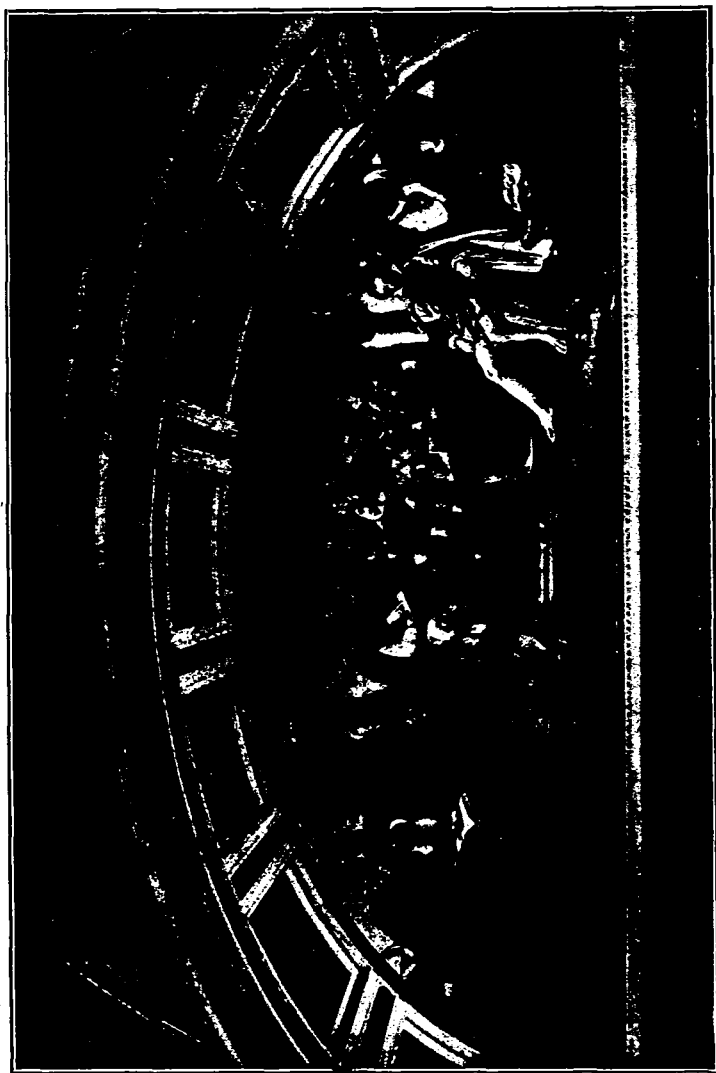


Деятнадцатилѣтній Галилей наблюдаетъ качанія лампадъ въ Пизанскомъ соборѣ (съ картины въ Tribuna di Galilei во Флоренціи).

6 миль, если ихъ заперечь вмѣстѣ; и если одна фунтовая гири падаетъ на 16 футовъ въ секунду и другая фунтовая гири столько же, то эти два груза не могутъ падать вдвое скорѣе, если ихъ связать другъ съ другомъ такъ, чтобы онѣ образовали одну двухфунтовую тяжесть“. Это доказательство такъ ясно, что нужно только удивляться, какъ его не видѣли раньше. — Однако, противъ 2000-лѣтняго авторитета Аристотеля молодой человѣкъ не могъ выступать съ одними только умозаключеніями.

Онъ долженъ былъ произвести опыты, сдѣлать которые было особенно легко съ Падающей башни въ Пизѣ (она видна справа на заднемъ планѣ рис. 148) Галилей бросалъ съ нея тѣла различнаго вѣса и нашелъ, что всѣ тѣла падаютъ съ одина-

Рис. 148



Галилей изучаетъ паденіе по наклонной плоскости. Самъ онъ стоитъ за лѣво по срединѣ. Кольцопреломленный монахъ опредѣляетъ время, считая удары пульса. Слѣва нѣсколько человѣкъ изучаютъ Аристотеля, справа сидитъ сынъ великаго герцога (съ картины въ Tribuna di Saniti)

ковой скоростью, если только ихъ поверхность не очень велика въ сравненіи съ ихъ вѣсомъ, чтб можетъ сдѣлать замѣтнымъ сопротивленіе воздуха падающему тѣлу.

Но если тѣло имѣть большую поверхность по отношенію къ своему вѣсу (перья, бумага и т. п.), то оно падаетъ медленно. То же относится и къ мелко раздробленнымъ частицамъ тяжелыхъ веществъ, напримѣръ, къ опилкамъ, такъ какъ и здѣсь поверхность велика въ сравненіи съ вѣсомъ. Въ самомъ дѣлѣ, если поперечникъ свинцоваго шарика равенъ $\frac{1}{10}$ поперечника другого свинцоваго шарика, то его поверхность составитъ только $\frac{1}{100}$ поверхности, а вѣсъ $\frac{1}{1000}$ вѣса второго шара. Такимъ образомъ, меньшій грузъ будетъ испытывать сопротивленіе въ 100 разъ меньше, чѣмъ большой, но все же въ 10 разъ больше, чѣмъ каждая тысячная доля послѣдняго.

Позднѣе, уже послѣ изобрѣтенія воздушнаго насоса, было доказано, что въ безвоздушномъ пространствѣ кусокъ свинца и перо падаютъ дѣйствительно съ одинаковой скоростью. Но доказательствомъ этого можетъ также служить слѣдующій очень простой опытъ. На большую монету, которую держать въ горизонтальномъ положеніи, накладываютъ кусочекъ бумаги, меньше монеты, и затѣмъ даютъ монетѣ падать вмѣстѣ съ бумажкой. Теперь бумажка падаетъ на землю съ тою же скоростью, какъ и монета, такъ какъ ей не приходится преодолевать сопротивленія воздуха. Конечно, нужно, чтобы монета падала въ горизонтальномъ положеніи и чтобы воздухъ не могъ проникнуть между нею и бумажкой.

140. Эти опыты Галилея на Падающей башнѣ въ Пизѣ послужили началомъ цѣлаго ряда другихъ опытовъ, при помощи которыхъ Галилей обосновалъ ученіе о движеніи; этимъ онъ, такъ сказать, возвелъ опытъ въ методъ изслѣдованія природы. Конечно, и раньше уже въ нѣкоторыхъ отдѣльныхъ случаяхъ производились опыты какъ, напримѣръ, опыты Птолемея надъ преломленіемъ свѣта и опыты Аристотеля съ опредѣленіемъ вѣса пузыря. Но основаніе настоящаго искусства экспериментированія — искусства, такъ сказать, выпрашивать природу посредствомъ систематическихъ опытовъ — представляетъ одну изъ великихъ заслугъ Галилея. Опыты на Падающей башнѣ въ Пизѣ дали толчокъ къ разработкѣ подобныхъ методовъ, благодаря которымъ связь между явленіями природы становится все яснѣе и яснѣе.

Совершенно естественно, что молодой человѣкъ, нашедшій ошибки у Аристотеля, могъ возгордиться; но товарищи, съ которыми онъ много говорилъ объ этихъ вещахъ, совершенно не понимали его идей. Онъ не публиковалъ о нихъ ничего, пока не достигъ 25 лѣтъ отъ роду и не получилъ, по рекомендаціи Дель Монте (§ 130), мѣста учителя математики въ Пизѣ.

Весьма основательная критика Аристотеля Галилеемъ, само собою разумѣется, встрѣтила большое одобреніе, но создала ему также многихъ противниковъ, главнымъ образомъ потому, что Галилей подрывалъ авторитетъ Аристотеля. Его противники воспользовались также тѣмъ обстоятельствомъ, что Галилей (впрочемъ, совершенно справедливо) раскритиковалъ землечерпательную машину, изобрѣтенную сыномъ великаго герцога Козимо I. Ему устраивали столько неприятностей, что онъ, наконецъ, отказался отъ своей должности. Къ счастью, его карьера нисколько не пострадала отъ этого, такъ какъ Дель Монте и одинъ венеціанскій другъ, по имени Сагрето, при-

Рис. 149



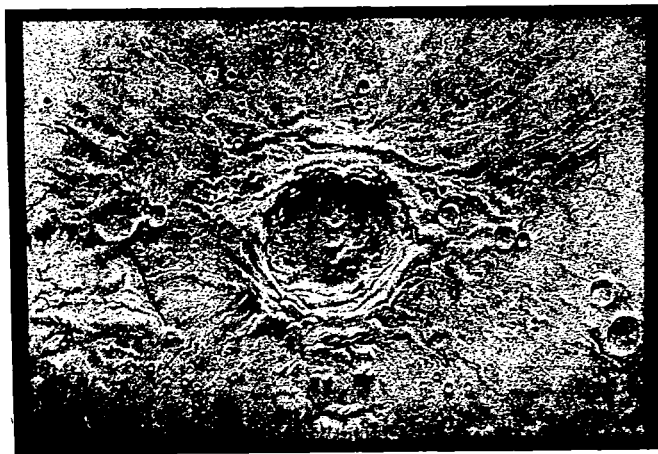
Юпитеръ и его спутники.

строили Галилея на мѣсто преподавателя университета въ Падую, которая въ то время принадлежала Венеціанской республикѣ. Здѣсь, въ возрастѣ 27 лѣтъ, Галилей

произвелъ тѣ работы, которыя составляютъ основу учения о движеніи и о которыхъ будетъ еще сказано ниже. Кромѣ того, онъ читалъ здѣсь превосходныя лекціи многочисленнымъ слушателямъ, къ которымъ принадлежалъ также Густавъ Адольфъ, впоследствии король Шведскій.

Въ 1609 г. Галилей услышалъ объ изобрѣтеніи голландской зрительной трубы (§ 130) и тотчасъ взялся самъ за ея изготовленіе. Готовый инструментъ онъ послалъ своему правительству въ Венецію. Оказалось, что этотъ инструментъ былъ гораздо лучше полученнаго изъ Голландіи. Сенаторы, которые осматривали съ башни

Рис. 150



Лунный ландшафтъ съ кратеромъ „Коперникъ“.

Адриатическое море въ эту трубу и нашли, что при ея помощи можно увидѣть вражескій флотъ на большомъ разстояніи, наградили Галилея назначеніемъ ему пожизненной пенсіи, которая была втрое больше его жалованья.

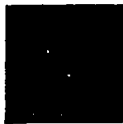
141. Самъ Галилей далъ своей трубѣ совершенно другое употребленіе, сдѣлавъ при ея помощи въ короткое время цѣлый рядъ важныхъ открытій на небѣ. Впрочемъ, имѣя въ рукахъ хорошую зрительную трубу, конечно, было нетрудно сдѣлать эти открытія. Несмотря на большое удивленіе, которое они вызвали, и связанный съ ними интересъ, ихъ все же нельзя считать величайшимъ изъ дѣлъ Галилея, принимая даже во вниманіе совершенство и тщательность его работы. Уже въ 1610 г. онъ работалъ съ трубою, равной которой въ Голландіи не было даже въ 1637 г.; тамъ въ это время еще не могли наблюдать многого изъ того, что открылъ Галилей. Важнѣйшими астрономическими открытіями Галилея были слѣдующія.....

142. Планета Юпитеръ имѣетъ четыре луны или спутника, которые движутся вокругъ нея. Но такъ какъ ихъ пути лежатъ приблизительно въ той же плоскости, въ которой движутся вокругъ солнца земля и Юпитеръ, то кажется, будто эти луны движутся около Юпитера по прямой линіи и притомъ такъ, что онѣ поочередно

отходятъ отъ Юпитера то въ одну, то въ другую сторону, а затѣмъ снова приближаются къ нему.

При наблюденіи луны Галилей нашель, что ея поверхность усѣяна кратерообразными горами, которыя отбрасываютъ черныя тѣни частью на равнины, частью внутрь кратеровъ. Галилей тотчасъ же указаль, какъ можно опредѣлить высоты этихъ горъ, измѣряя длину ихъ тѣней при извѣстномъ положеніи солнца.

Рис. 151

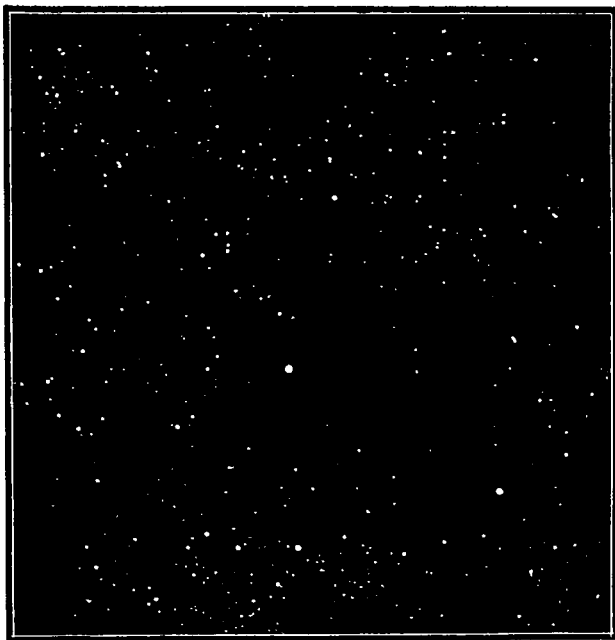


Часть созвѣздія Близнецовъ, какъ она представляется невооруженному глазу.

Неподвижныя звѣзды въ телескопъ не кажутся больше, скорѣе онѣ даже меньше, рѣзче и сильнѣе мерцаютъ, но ихъ видно значительно больше, чѣмъ при наблюденіи невооруженнымъ глазомъ. Бѣловатое сіяніе Млечнаго Пути, какъ показала зрительная труба, разрѣшается въ неисчислимые рои слабыхъ звѣздъ.

143 Въ 1610 г. Галилей послалъ сочиненіе объ этихъ открытіяхъ, между прочимъ, также и Козимо II, который былъ въ то время великимъ герцогомъ на его родинѣ въ Тосканѣ. Кромѣ того, Галилей рказаль ему особую честь, назвавъ луны Юпитера Медичейскими звѣздами. Въ отвѣтъ онъ получилъ профессорскую кафедру въ Пизѣ

Рис. 152



То же мѣсто неба, что и на рис. 151, въ зрительную трубу.

съ большимъ содержаніемъ, что, однако, не обявывало его жить въ Пизѣ. Напротивъ, великій герцогъ охотнѣ всего удерживаль Галилея при себѣ во Флоренціи.

Осенью того же года Галилей могъ продолжать свои небесныя открытія на своемъ новомъ покойномъ мѣстѣ.

Теперь онъ наблюдалъ, что Венера не всегда представляется правильнымъ кружкомъ, но совершенно такъ же, какъ луна, показываетъ фазы соотвѣтственно своему положенію относительно солнца и земли.

То же явленіе обнаружилось у Марса. Но такъ какъ послѣдній дальше отъ солнца, чѣмъ земля, то у него обращенная къ намъ сторона всегда освѣщена больше, чѣмъ на половину, а неосвѣщенной бываетъ только незначительная ея часть.

Далѣе Галилей замѣтилъ нѣчто необыкновенное у Сатурна. Ему казалось, будто „старого владыку поддерживаютъ, никогда не покидая его, два спутника, по одному съ каждой стороны“. При дальнѣйшемъ наблюденіи оказалось, что эти спутники исчезли, и Галилею такъ и не удалось разрѣшить эту загадку.

Рис. 153



Венера позади, рядомъ и (справа) передъ солнцемъ.

Наконецъ, тою же осенью Галилей открылъ еще, что на поверхности солнца есть пятна (рис. 154), и, хотя они съ теченіемъ времени измѣнялись и, наконецъ, исчезали, а другія появлялись, Галилей успѣлъ извлечь изъ ихъ движеній заключеніе, что солнце вращается около своей оси.

144. Прошло почти 70 лѣтъ съ тѣхъ поръ, какъ Коперникъ опубликовалъ свою систему. Лишь немногіе знали ее, лишь немногіе умѣли оцѣнить ея значеніе. Она имѣла, конечно, и свои слабыя стороны (§ 71), но въ упомянутыхъ открытіяхъ она нашла себѣ много подтвержденій. Совершенно такъ же, какъ земля, планеты освѣщены съ одной только стороны и это обстоятельство дѣлаетъ вѣроятнымъ родство между ними и землей. Какъ земля, нѣкоторыя планеты имѣютъ спутниковъ. Значить, и здѣсь есть сходство. И даже само солнце принадлежало къ той же семьѣ, хотя и являлось членомъ высшаго порядка: и оно вращалось около своей оси.

Галилей не упустилъ случая обратить на это вниманіе; но прошло немного времени и духовенствомъ, предъ лицомъ этихъ открытій, овладѣло большое безпокойство. Мнѣнія, однако, раздѣлились. Члены орденовъ Августинцевъ и Кармелитовъ защищали Галилея и придерживались мнѣнія, что его открытія не стоятъ въ про-

творѣчи съ Библіей. Кардиналь Берберини (позднѣ папа Урбанъ VIII) даже воспѣвалъ Медичейскія звѣзды и солнечныя пятна.

Тѣмъ рѣзче отнеслись къ этому нѣкоторые другіе, именно, нѣсколько, доминиканскихъ монаховъ, которые объявили ученіе Коперника еретическимъ, а Галилея, слѣдовательно, какъ приверженца этого учешя, еретикомъ. По ихъ мнѣнію его открытія противорѣчили Библіи и Аристотелю, который учитъ, что солнце есть чи-

Рис. 154



Часть солнца съ солнечными пятнами.

стѣйшій огонь, такъ что на немъ не можетъ быть пятенъ. Когда Галилей предложилъ имъ самимъ посмотрѣть на солнце въ зрительную трубу, они отказались прикасаться къ такому дьявольскому прибору. Въ одномъ письмѣ къ Кеплеру, который въ то же время давалъ подтвержденія правильности системы Коперника совершенно инымъ путемъ, Галилей жалуется: „Что ты скажешь о первыхъ ученыхъ здѣшняго факультета, которымъ я самъ предлагалъ тысячу разъ показать мои работы и которые съ упрямой лѣнью нажавшейся змѣи не хотятъ видѣть ни планетъ, ни луны, ни зрительной трубы. Эти люди думаютъ, что наука лишь та или другая книга, какъ Энеида или Одиссея, и что истины нужно искать не во вселенной и не въ природѣ, а (говоря ихъ собственными словами) въ сравненіи текстовъ“.

Здѣсь Галилей кладетъ палецъ прямо на язву, которая требовала серьезной операціи. До Галилея истины искали сравняемъ Библіи съ Аристотелемъ и т. д. и чистымъ умозрѣнемъ. Галилей разбиваетъ эти оковы и ищетъ истинъ природы исключительно въ томъ, что обращается къ самой природѣ.

Такъ какъ яростныя нападки Доминиканцевъ не прекращались и такъ какъ они въ то же время старались привлечь на свою сторону папу Павла V, то Галилей счелъ благоразумнымъ пріѣхать въ Римъ (1615). Здѣсь у него были добрые друзья, а за нѣсколько лѣтъ передъ тѣмъ онъ сдѣлался членомъ академіи, основанной княземъ Чечи, гдѣ показывалъ микроскопъ своей работы. Самъ папа благосклонно выслушивалъ доклады Галилея о томъ, что не подобаетъ отрицать то, что видишь собственными глазами. Но папа долженъ былъ что-нибудь предпринять и потому передалъ дѣло на разсмотрѣніе особой комиссіи. Мнѣніе комиссіи было представлено въ 1616 году и оказалось очень неблагоприятнымъ для Галилея. Всѣ книги, которыя утверждали, что движеніе земли не противорѣчитъ Библіи, запрещались. Даже

въ книгѣ Коперника, которую терпѣли цѣлыхъ 70 лѣтъ, должны были быть вычеркнуты всѣ тѣ мѣста, въ которыхъ ученіе о движеніи земли сопоставлялось съ различными мѣстами Библии.

Это побудило Галилея къ усиленной дѣятельности, а такъ какъ и его противники не уменьшали своихъ усилій, то папа увидѣлъ себя вынужденнымъ передать дѣло на разсмотрѣніе святой инквизиціи. Ея приговоръ рѣшилъ, что ученіе Галилея о движеніи земли ложно и еретично.

Если припомнить власть инквизиціи и тѣ страшныя кары, которыя она налагала, то нельзя удивляться тому, что Галилей удалился въ Арчетри близъ Флоренціи, чтобы здѣсь спокойно жить и работать.

145. На старости лѣтъ Галилей сталъ чувствовать потребность повѣдать міру о тѣхъ вопросахъ, надъ разъясненіемъ которыхъ работаль всю свою жизнь. Онъ написалъ бесѣду трехъ людей Сагрето, Сальвлати (такъ звали одного изъ его венеціанскихъ друзей) и Симпличіо. Первые двое являются приверженцами Коперниковой системы міра, послѣдній же стоитъ за систему Птолемея. Въ бесѣдѣ спокойнымъ тономъ излагаются доводы за ту и за другую системы, но въ ней легко видѣть, что доводы въ пользу системы Коперника обладаютъ гораздо большимъ вѣсомъ. Въ 1630 г. Галилей отправился въ Римъ и здѣсь, при помощи одного друга, состоявшаго секретаремъ при папѣ, ему удалось получить разрѣшеніе цензуры на печатаніе этой книги.

Эта книга вышла въ свѣтъ во Флоренціи въ 1632 г. и теперь гроза разразилась съ удвоенной яростью. Въ числѣ ярыхъ противниковъ Галилея находился одинъ пизанскій профессоръ по имени Кіарамонти, который написалъ формальную жалобу, снабдивъ ее обращеніемъ къ кардиналу Берберини, племяннику папы. Эти дѣйствія не замедлили оказать свое вліяніе. Противникамъ Галилея удалось увѣрить папу Урбана VIII, что въ добродушномъ, но невѣжественномъ Симпличіо представленъ самъ папа. Дѣло было передано на разсмотрѣніе комиссіи, составленной изъ враговъ Галилея, въ числѣ которыхъ былъ также Кіарамонти. Ея приговоръ гласилъ, что Галилей нарушилъ запретъ, наложенный на него въ 1616 г.¹⁾ и долженъ предстать предъ святой инквизиціей.

Галилей былъ вызванъ въ Римъ. За него вступился великій герцогъ Фердинандъ II, указывая на его старость, но безуспѣшно. Галилей долженъ былъ ѣхать въ Римъ, гдѣ былъ помѣщенъ подъ надзоръ, сначала легкій, затѣмъ болѣе строгій; спустя полгода, въ теченіе котораго онъ нѣсколько разъ допрашивался, ему былъ объявленъ приговоръ. Въ присутствіи инквизиторовъ, въ доминиканской церкви Галилей долженъ былъ подъ присягой отречься отъ движенія земли. — Слова, которыя Галилей будто бы пробормоталь тутъ же: „и всетаки она движется“, являются выдумкой позднѣйшаго времени. Кромѣ того, Галилей былъ присужденъ къ тюремному заключенію и въ теченіе трехъ лѣтъ долженъ былъ еженедѣльно читать семь покаянныхъ псалмовъ.

¹⁾ Подлинность протокола 1616 г., въ которомъ было сказано, что Галилей обязуется отказаться отъ Коперникова ученія и не защищать его ни устно, ни письменно, въ послѣднее время подвергалась большому сомнѣніямъ. *Прим. пер.*

Тюремное наказаніе было, однако, вскорѣ смягчено. Галилей снова получилъ разрѣшеніе жить въ Арчетри, но ему было строго воспрещено принимать посѣтителей. Несмотря на увеличивающуюся слабость, онъ усердно занимался научными работами. Въ 1634 г. Галилей издалъ свои „Бесѣды объ одной новой наукѣ“, въ кото-

Рис. 155



Галилей сообщаетъ свои открытія Торричелли (сидящему) и Вивіани.
(Съ картины въ Tribuna di Galilei).

рыхъ онъ описываетъ свои основныя открытія въ области ученія о движеніи. Когда Галилей подъ конецъ ослѣпъ и оглохъ, два молодыхъ ученыхъ Торричелли и Вивіани, имѣвшіе доступъ къ нему, записывали его слова. На ихъ рукахъ Галилей и скончался въ 1642 г. Его прахъ покоится въ церкви Санта Кроче (Св. Креста) во Флоренціи между останками другихъ великихъ людей Тосканы.

Движеніе

146. Открытіе простѣйшихъ законовъ движенія было сопряжено съ гораздо большими трудностями, чѣмъ открытіе законовъ равновѣсія.

Аристотель различалъ насильственныя и естественныя движенія. Послѣднія, по его мнѣнію, должны быть круговыми (движенія на небѣ) или въ крайнемъ случаѣ прямолинейными, направленными либо къ центру земли, либо въ обратную сторону, сообразно чему тѣла раздѣляются на тяжелыя и легкія.

Такого рода классификація на первый взглядъ можетъ показаться систематической и можетъ производить впечатлѣніе учености, на самомъ же дѣлѣ она не имѣетъ никакого научнаго значенія. Характеризуя природу движенія болѣе подробно, Аристотель говоритъ, что для того, чтобы тѣло двигалось равномерно, необходимо непрерывное дѣйствіе на него силъ, толкающихъ его впередъ, потому что въ противномъ случаѣ тѣло расходуетъ свою движущую силу и приходитъ въ состояніе покоя. Подтверженіемъ этого воззрѣнія могутъ служить, на первый взглядъ, многія явленія повседневной жизни. Тѣмъ труднѣе было Галилею доказать, что справедливо какъ разъ обратное положеніе, а именно, что каждое тѣло сохраняетъ свое состояніе движенія (состояніе покоя, если оно находится въ покоѣ, состояніе движенія по неизмѣнному направленію съ постоянной скоростью, если оно движется), если на него не воздѣйствуетъ нѣчто такое, что измѣняетъ это состояніе, и это нѣчто, могущее измѣнять состояніе движенія тѣла, называется силой. Это — законъ инерціи или косности.

То обстоятельство, что тѣло, находящееся въ покоѣ, продолжаетъ оставаться неподвижнымъ, врядъ ли можетъ подлежать сомнѣнію; но то, что оно сохраняетъ также однажды принятое состояніе движенія, повидимому, противорѣчитъ повседневному наблюденію. Галилей показалъ, что причину остановки катящагося шара слѣдуетъ искать въ извѣстныхъ силахъ, обусловленныхъ частичками песка, неровностями сопротивленіемъ воздуха и т. д. Чѣмъ полнѣе исключаются эти постороннія обстоятельства, тѣмъ яснѣе проявляется законъ инерціи. Такъ, напримѣръ, очень гладкій шаръ можетъ катиться по жолобу, обитому пергаментомъ, весьма долго.

147. Галилей открылъ, далѣе, что тѣло сохраняетъ свое движеніе и въ томъ случаѣ, если на него начинаетъ дѣйствовать новая сила, сообщающая тѣлу движеніе въ какомъ бы то ни было направленіи. Въ этомъ случаѣ тѣло одновременно имѣетъ и старое и новое движеніе, т. е. приходитъ какъ разъ въ точку, въ которую оно пришло бы, если бы сначала имѣло только первое, а затѣмъ только второе движеніе.

То обстоятельство, что катящійся по землѣ шаръ останавливается, можно, наконецъ, толковать такимъ образомъ, что онъ сохраняетъ свое первоначальное движеніе, зерна же песку и неровности сообщаютъ ему своими ударами такое же движеніе, но въ обратномъ направленіи.

Примѣры. Акробатъ, который, стоя, ѣдетъ на лошади и желаетъ перепрыгнуть черезъ барьеръ, долженъ прыгать прямо вверхъ, чтобы попасть на прежнее мѣсто лошади.

Предметъ, падающій съ мачты движущагося судна, попадаетъ на мѣсто, расположенное какъ разъ по отвѣсной линіи подъ той точкой, изъ которой онъ падаль.

Въ то время, какъ предметъ падаль, судно нѣсколько подвинулось впередъ, но и самый предметъ, обладая скоростью судна, тоже подался впередъ на такое же разстояніе. Этимъ опровергается возраженіе, которое не разъ выставлялось противъ вращенія земли, именно, что человекъ, прыгающій вертикально вверхъ, долженъ стать на землю нѣсколько западнѣе того мѣста, съ котораго онъ подпрыгнулъ.—Равнымъ образомъ, теряетъ силу возраженіе Тихо Браге, что камень, падающій съ башни, долженъ ложиться немного къ западу отъ башни, чего, однако, Тихо Браге не могъ увидѣть.

Человекъ, стоящій въ вагонѣ, который сразу приходитъ въ движеніе или сразу останавливается, въ первомъ случаѣ падаетъ назадъ, въ послѣднемъ — впередъ.

Желая во время путешествія въ вагонѣ бросить вверхъ мячъ и поймать его, мы должны бросать его вертикально вверхъ, потому что онъ уже обладаетъ скоростью вагона и сохраняетъ ее во время своего полета вверхъ и внизъ.

148. Аристотель зналъ, конечно, что падающее тѣло двигается постепенно все быстрѣе и быстрѣе; однако, онъ думалъ, что тяжесть сама по себѣ можетъ поддерживать лишь равномерное движеніе тѣла. Увеличеніе скорости, по его мнѣнію, слѣдуетъ приписать чему-либо другому, и именно тому, что воздухъ низвергается вслѣдъ за падающимъ тѣломъ и толкаетъ его внизъ.

Галилей и въ этомъ случаѣ пришелъ къ прямо противоположному выводу. Именно, разъ тѣло достигло извѣстной скорости по направлешию внизъ, то уже не требуется рѣшительно никакой силы, чтобы поддерживать эту скорость, и тяжесть, дѣйствуя непрерывно, должна поэтому все время увеличивать однажды пріобрѣтенную тѣломъ скорость. Что же касается воздуха, то онъ не ускоряетъ паденія, а, наоборотъ, замедляетъ его, благодаря сопротивленію, которое онъ оказываетъ.

Теперь является вопросъ, дѣйствуетъ ли тяжесть на падающее тѣло съ тою же самою силой, какъ и на покоящееся. Этотъ вопросъ можетъ быть разрѣшенъ только посредствомъ опыта. Однако, производить опыты надъ быстро движущимися тѣлами не легко. Поэтому Галилей сначала разбираетъ вопросъ математически. Въ основу своихъ вычисленій онъ кладетъ предположеніе, что тяжесть въ каждую секунду сообщаетъ тѣлу одно и то же измѣненіе скорости, независимо отъ того, въ какомъ состояніи движенія находится тѣло; а затѣмъ онъ изслѣдуетъ, согласуются ли дѣйствительныя движенія съ движеніями, вычисленными въ этомъ предположеніи.

149. Представимъ себѣ, что въ опредѣленный моментъ времени тѣло начинаетъ свободно падать, и пусть тяжесть въ теченіе секунды сообщаетъ ему извѣстную скорость, приблизительно 32 фута. Еслибы по истеченіи этой секунды дѣйствіе тяжести на тѣло прекратилось, то въ каждую послѣдующую секунду оно проходило бы по 32 фута.

Но въ продолженіе второй секунды, по предположенію Галилея, тяжесть дѣйствуетъ на тѣло съ тою же силой, какъ и въ первую секунду, и потому увеличиваетъ скорость тѣла съ 32 футовъ (въ началѣ второй секунды) до 64 футовъ (въ концѣ второй секунды). Въ теченіе третьей секунды тяжесть должна увеличить скорость тѣла съ 64 футовъ до 96 футовъ и т. д. Итакъ, скорость тѣла была бы такая:

въ началѣ движенія	0 фут.,
въ концѣ первой секунды	32 „

въ концѣ второй секунды	64 фут.,
„ „ третьей „	96 „
„ „ четвертой „	128 „

Въ каждый моментъ скорость равна 32 футамъ, повтореннымъ столько разъ, сколько секундъ тѣло падало¹⁾).

Что же касается вопроса, гдѣ находится тѣло въ различные моменты или какъ далеко оно ушло отъ исходной точки, то это можно опредѣлить на основаніи слѣдующихъ соображеній. Въ первую секунду тѣло имѣло всевозможныя скорости между 0 и 32 футами, и, конечно, скорость возрастала отъ начальнаго значенія 0 до конечной величины 32 равномѣрно. Можно принять, слѣдовательно, что тѣло въ теченіе этой секунды двигалось со средней скоростью въ 16 футовъ. Въ такомъ случаѣ оно прошло въ эту секунду 16 футовъ. Для двухъ первыхъ секундъ средняя скорость равна 32 футамъ. Тѣло, движущееся съ такой скоростью, въ теченіе двухъ секундъ проходитъ 64 фута. Въ три секунды скорость возрастаетъ отъ 0 до 96 футовъ, средняя скорость есть, слѣдовательно, 48 футовъ, а путь, пройденный тѣломъ съ такою скоростью за три секунды, равенъ $48 \times 3 = 144$ фута. Итакъ, тѣло падаетъ

въ 1 секунду на 16 фут. или на $16 \times 1 \times 1$ фут.,
„ 2 секунды „ 64 „ „ „ $16 \times 2 \times 2$ „
„ 3 „ „ 144 „ „ „ $16 \times 3 \times 3$ „
„ 4 „ „ 256 „ „ „ $16 \times 4 \times 4$ „

и т. д.

Такъ какъ средняя скорость падающаго тѣла вдвое меньше, чѣмъ конечная скорость, т. е. равна 16 футамъ, умноженнымъ на число секундъ, то пройденный путь равенъ 16 футамъ, умноженнымъ на вторую степень числа секундъ²⁾).

На рис. 156 слѣва на сплошной линіи указаны пути, проходимые въ каждую отдѣльную секунду, а на пунктирной линіи — скорости въ концѣ этихъ же секундъ, т. е. пути, которые были бы пройдены тѣломъ въ секунду, еслибы оно неизмѣнно сохраняло скорость, пріобрѣтенную въ концѣ предыдущей секунды.

Примѣръ 1. Камень, падая въ колодезь, достигаетъ дна въ три секунды. Какова глубина колодца и съ какой скоростью камень достигаетъ земли?

Примѣръ 2. Шарикъ, падающій съ аэростата, достигаетъ земли, имѣя скорость 245 м. Съ какой высоты и сколько времени онъ падаль ($g = 9.8$ м)?

Примѣръ 3. Сколько времени нужно тѣлу, чтобы упасть съ высоты въ 160 м (высота башенъ Кѣльнскаго собора)?

150. Такъ какъ свободно падающее тѣло уже въ небольшіе промежутки времени достигаетъ сравнительно большихъ скоростей и проходитъ значительные пути, то даже на наклонной Пизанской башнѣ было не легко провѣрить найденные законы.

¹⁾ Если обозначимъ скорость въ концѣ первой секунды черезъ g , то скорость по истеченіи t секундъ будетъ $v = gt$.

²⁾ Если s означаетъ высоту паденія за t секундъ, то $s = \frac{1}{2} g t^2$. Такимъ образомъ, мы имѣемъ два уравненія: $v = gt$ и $s = \frac{1}{2} g t^2$ съ тремя величинами v , t и s (g всегда равно 32, точнѣе 31 $\frac{1}{2}$, футовъ или 9.8 м). Значитъ, если даны двѣ изъ этихъ трехъ величинъ, то третью можно вычислить. Если исключить изъ обоихъ уравненій t , то получается уравненіе $v^2 = 2gs$.

Чтобы облегчить такую провѣрку, нужно было такъ или иначе создать силу, которая бы дѣйствовала на свободно падающее тѣло слабѣе, чѣмъ сила тяжести. Галилей достигъ этого, производя опыты надъ падающимъ тѣломъ по наклонной плоскости; при этомъ онъ по возможности устранялъ вредныя вліянія (сопротивленіе тренія) тѣмъ, что пускалъ шаръ изъ слоновой кости по жолобу, выложенному пергаментомъ (см. рис. 148).

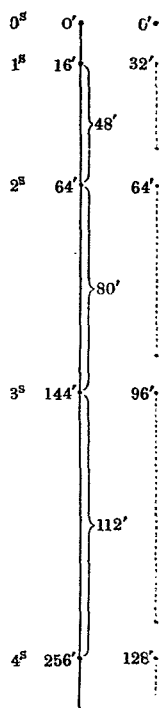
Если что-нибудь препятствуетъ шару падать по наклонной плоскости, то, какъ нашель Стевинъ (§ 136), шаръ производитъ на такое препятствіе давленіе въ направленіи наклонной плоскости, которое такъ относится къ вѣсу шара, какъ высота наклонной плоскости къ ея длинѣ. Если, на примѣръ, высота = 1, а длина = 8, то шаръ будетъ давить на препятствіе съ силой равной одной восьмой его вѣса; иными словами, на шаръ дѣйствуетъ сила, равная восьмой части силы тяжести. Галилей и полагаель, что такая уменьшенная сила должна сообщать шару соотвѣтственно меньшую скорость въ каждую секунду, т. е. въ упомянутомъ примѣрѣ восьмую часть отъ 32 или 4 фута въ концѣ первой секунды, 8 футовъ въ концѣ второй и т. д., по тому же закону, какъ и въ случаѣ свободного паденія, еъ тою только разницей, что основная скорость здѣсь не 32 фута, а 4¹⁾. Путь, проходимый тѣломъ въ извѣстное время по наклонной плоскости, такъ же, какъ и въ случаѣ свободного паденія, равенъ тому пути, который былъ бы пройденъ за то же самое время, еслибы тѣло двигалось со средней скоростью, т. е. со скоростью, равною половинѣ конечной скорости. Отсюда для наклонной плоскости получается законъ, соотвѣтствующій второму закону свободного паденія²⁾.

Такого рода опытами, при которыхъ легко было наблюдать и измѣрять движеніе тѣла, Галилей доказаль справедливость предположенія, послужившаго исходной точкой его разсужденій.

151. Если тѣло бросаютъ вверхъ съ начальной скоростью, на примѣръ, въ 128 футовъ, то сила тяжести сообщаетъ ему въ каждую секунду скорость въ 32 фута, направленную внизъ; благодаря этому скорость тѣла, наконецъ, уменьшается до нуля. Скорость тѣла по истеченіи

1 секунды	будеть	128 —	32 = 96	фут.
2 секундъ	"	128 —	2 × 32 = 64	"
3 "	"	128 —	3 × 32 = 32	"
4 "	"	128 —	4 × 32 = 0	"

Рис. 156



Свободное паденіе.

¹⁾ Для свободного паденія $v = gt$, для паденія по наклонной плоскости, уклонъ которой опредѣляется отношеніемъ 1 : 8, $v = \frac{1}{8} gt$.

²⁾ При свободномъ паденіи $s = \frac{1}{2} g t^2$, при паденіи по наклонной плоскости съ уклономъ 1 : 8 величина $s = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{8} g t^2$.

Таким образом, при поднятіи скорость тѣла убываетъ по тому же закону, по какому при паденіи она возрастаетъ. Время, необходимое тѣлу для движенія вверхъ, равно тому времени, въ теченіе котораго оно падаетъ съ достигнутой высоты, и скорость, съ которою оно достигаетъ земли, равна той начальной скорости, съ которою тѣло было брошено вверхъ. При паденіи тѣло проходитъ каждую точку своего пути съ тою же скоростью, какъ и при движеніи вверхъ, но только въ обратномъ направленіи.

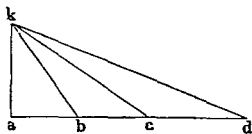
Примѣръ 1. Ружейная пуля пущена вертикально вверхъ съ начальной скоростью въ 367·5 м. Сколько времени она летитъ вверхъ и какой высоты достигаетъ? Когда и съ какою скоростью она возвращается назадъ?

Примѣръ 2. Я бросаю мячъ вертикально вверхъ и черезъ 4 секунды снова ловлю его; какой высоты достигъ мячъ и какова его конечная скорость?

Примѣръ 3. Дикій гусь летитъ прямо надо мною. Ружейная пуля, съ начальной скоростью въ 480 м, настигаетъ его въ $\frac{1}{4}$ секунды. Съ какой скоростью пуля ударяетъ въ гуся? На какой вышинѣ гусь летѣлъ и сколько времени спустя послѣ выстрѣла онъ падаетъ на землю? Сопротивленіе воздуха не принимать въ расчетъ.

152 На наклонной плоскости съ уклономъ 1:8 шаръ (§ 150) въ восемь секундъ достигаетъ скорости $4 \times 8 = 32$ фута, т. е. той самой скорости, которой свободно падающее тѣло достигаетъ въ одну секунду. Средняя скорость шара равняется 16 футамъ, а, слѣдовательно, путь, имъ пройденный, $16 \times 8 = 128$ футовъ. Путь этотъ въ восемь разъ длиннѣе, чѣмъ путь, проходимый тѣломъ при свободномъ паденіи въ одну секунду. Но, проходя путь въ восемь разъ бѣльшій, тѣло опускается внизъ по наклонной плоскости лишь на высоту, равную высотѣ наклонной плоскости. Отсюда вытекаетъ важное положеніе, что тѣло, падающее по наклонной плоскости, достигая ея основанія, обладаетъ тою же скоростью, какую оно имѣло бы, еслибы свободно упало съ высоты, равной высотѣ наклонной плоскости. Это справедливо для какого угодно уклона, такъ какъ уклонъ не вліяетъ на скорость, которой достигаетъ тѣло, падающее съ данной высоты¹⁾. Шаръ, падающій изъ точки *k* (рис. 157), приходитъ въ точку *b*, въ точку *c* и въ точку *d* съ тою же самой скоростью, какъ и въ точку *a*.

Рис. 157



Тѣло на различныхъ наклонныхъ плоскостяхъ одинаковой высоты достигаетъ одной и той же конечной скорости.

153. То же самое справедливо и въ томъ случаѣ, когда тѣло скатывается по нѣсколькимъ наклоннымъ плоскостямъ послѣдовательно. Если, на примѣръ, шаръ скатывается по наклоннымъ плоскостямъ *km* и *ml* (рис. 158), то въ точку *l* онъ приходитъ съ тою

¹⁾ Если высота наклонной плоскости есть *a*, а ея длина *b*, то стремленіе падать по такой плоскости выражается черезъ $\frac{a}{b}g$. Если, далѣе, скорости, которыхъ достигаетъ тѣло при свободномъ паденіи съ высоты *a* и при скатываніи по наклонной плоскости, обозначить соответственно черезъ *v* и *V*, то (§ 149):

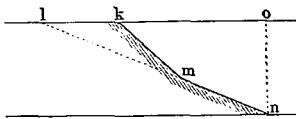
$$2ga = v^2 \text{ и } 2 \frac{a}{b}gb = V^2 \text{ или } 2ga = V^2, \text{ слѣдовательно, } v = V.$$

же скоростью, съ которою пришелъ бы, еслибы скатился по наклонной плоскости ln или же упалъ съ высоты on .

То, что справедливо для пути ktn , имѣющаго одинъ изломъ, справедливо также для пути съ нѣсколькими изломами, а также для пути съ бесконечно большимъ количествомъ изломовъ, т. е. для криволинейнаго пути. Итакъ, тѣло, двигаясь внизъ подѣ дѣйствіемъ силы тяжести, пріобрѣтаетъ скорость, которая совершенно не зависитъ отъ пути тѣла и обуславливается только разностью высотъ начальной и конечной точки пройденнаго пути. Если путь тѣла снова подымается, то тѣло мало по малу теряетъ свою скорость, и когда оно снова достигаетъ первоначальной высоты, его скорость дѣлается равной нулю, независимо отъ того, по какому пути оно достигло этой высоты.

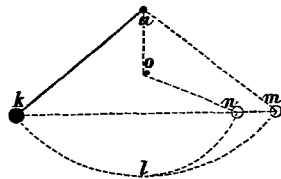
Галилей нашель подтвержденіе и этому ряду умозаключеній, именно въ слѣдующемъ опытѣ. Шаръ k (рис. 159) съ помощью бичевки подвѣшенъ къ гвоздю a . Если пустить шаръ изъ точки k , то онъ опишетъ дугу kln , и притомъ такъ, что его скорость въ наиболѣе низкой точкѣ l пути будетъ наибольшей, а въ точкѣ m ,

Рис. 158



Паденіе по двумъ наклоннымъ плоскостямъ.

Рис 159



Путь, описываемый качающимся шаромъ.

лежащей на одной высотѣ съ k , снова будетъ равной нулю. Затѣмъ шаръ начинаетъ качаться взадъ и впередъ между точками k и m , пока внѣшнія причины (сопротивленіе воздуха) мало по малу не заставятъ его остановиться.

Если укрѣпить теперь другой гвоздь въ точкѣ o и снова пустить шаръ изъ точки k , то онъ опишетъ путь kln . Точка n лежитъ на одной высотѣ съ точками k и m . Затѣмъ шаръ пробѣгаетъ тотъ же путь въ обратномъ направленіи и приходитъ въ точку k . Высота, которой онъ достигаетъ, не зависитъ отъ формы пути.

154. Приборъ, подобный ak (рис. 159), называется маятникомъ. Такимъ маятникомъ была люстра въ Пизанскомъ соборѣ, обратившая на себя вниманіе молодого Галилея. Онъ изучилъ законы движенія маятника болѣе подробно и нашель, какъ уже было упомянуто выше, что время колебанія маятника не зависитъ отъ его вѣса. Скорость паденія для всѣхъ тѣлъ одна и та же.

155. Далѣе, времена колебаній не зависятъ отъ величины размаховъ. Въ этомъ легко убѣдиться, если подвѣсить два шара на шнурахъ одинаковой длины, удалить одинъ изъ нихъ отъ положенія равновѣсія слегка, другой значительно и затѣмъ пустить оба одновременно.

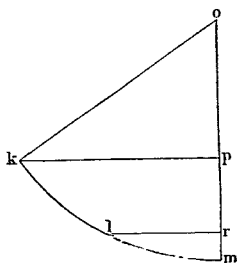
Если половина одного размаха km (рис. 160) вдвое больше половины другого lm , то высота pm по отвѣсу приблизительно вчетверо больше высоты rm . Время, которое тѣло употребило бы на то, чтобы упасть на разстояніе pm , должно быть, слѣдовательно, вдвое больше времени, въ теченіе котораго тѣло пройдетъ разстояніе

rm (§ 149). Но за вдвое бблшій промежутокъ времени тѣло приобретаетъ и вдвое бблшую скорость.

Значитъ, если тѣло приходитъ въ точку m изъ p или изъ k , то оно обладаетъ въ этой точкѣ вдвое бблшей скоростью, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда оно приходитъ туда изъ r или l . Но такъ какъ путь km вдвое больше пути lm , то тѣло тратитъ на прохожденіе того или другого пути одно и то же время.

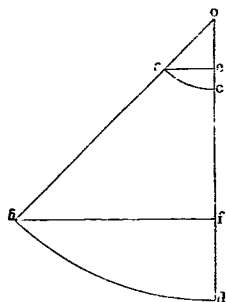
156. Наконецъ, Галилей нашель, что маятникъ, время качанія котораго вдвое, втрое, вчетверо и т. д. больше, чѣмъ время качанія другого маятника, долженъ быть вчетверо, въ девять разъ, въ шестнадцать и т. д.

Рис 160



Маятникъ, дѣлающій размахи различной величины.

Рис. 161



Различные маятники, совершающіе одинаковые размахи

разъ длиннѣе, чѣмъ этотъ послѣдній. Въ этомъ легко убѣдиться на опытѣ. Если одинъ маятникъ вчетверо длиннѣе другого, то онъ дѣлаетъ одно колебаніе въ то время, какъ другой дѣлаетъ два.

Если ob (рис. 161) вчетверо длиннѣе, чѣмъ oa , то и дуга bd вчетверо длиннѣе дуги ac , высота же паденія fd вчетверо болѣе, чѣмъ ee . Слѣдовательно, падая съ высоты fd , тѣло затрачиваетъ вдвое большее время, чѣмъ при паденіи на величину ee . Приходя въ точку d изъ f или изъ b , тѣло обладаетъ, стало быть, вдвое бблшей скоростью, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда оно приходитъ въ точку c изъ e или изъ a . Но если тѣло проходитъ вчетверо бблшій путь bd со скоростью въ два раза бблшей, то оно затрачиваетъ на это вдвое бблшій промежутокъ времени.

157. Галилей нашель, что маятникъ можетъ служить превосходнымъ измѣрителемъ времени, и употреблялъ его для опредѣленія времени при своихъ опытахъ надъ паденіемъ тѣлъ по наклонной плоскости (§ 150). Галилей предложилъ присоединить тяжелый маятникъ къ системѣ колесъ такимъ образомъ, чтобы маятникъ при каждомъ качаніи подталкивалъ одинъ зубецъ зубчатаго колеса; вращеніе этого колеса и другихъ колесъ, соединенныхъ съ нимъ, должно было автоматически показывать число качаній маятника, а, стало быть, и время. Такого рода часы были построены въ 1649 году его сыномъ, Винченцо Галилеемъ. Конечно, они имѣли большой недостатокъ, а именно, по истеченіи нѣкотораго времени, когда качанія маятника становились слишкомъ малыми, часы останавливались.

Ч а с ы

158. Часы были значительно усовершенствованы Христианомъ Гюйгенсомъ. Улучшеніе, введенное имъ, заключалось въ томъ, что онъ использовалъ маятникъ не какъ движущую силу, а только какъ регуляторъ, часовой же механизмъ у него приводился въ движеніе посредствомъ груза. Прежде чѣмъ ближе познакомиться съ работами Гюйгенса, бросимъ взглядъ на болѣе раннія попытки разрѣшить задачу измѣренія времени.

Съ развитіемъ общественности измѣреніе времени становится такимъ же необходимымъ, какъ и измѣренія длины и вѣса, но оно значительно труднѣе, потому что, въ противоположность двумъ другимъ родамъ измѣреній, оно не можетъ быть производимо съ помощью какого-либо матеріальнаго мѣрила.

Прежде всего обратили вниманіе на положеніе небесныхъ тѣлъ, въ частности солнца, съ которымъ такъ тѣсно связанъ ходъ повседневной жизни. Всѣ цивилизованные народы древности пользовались солнечными часами (§ 41). Халдеи дѣлили день на 12 часовъ. Въ царствованіе Александра Великаго Борозусъ (жрецъ бога Бела¹), написавшій на греческомъ языкѣ исторію и астрономію) ввелъ это подраздѣленіе въ Греціи. Дѣленіе часа на 60 минутъ и минуты на 60 секундъ тоже беретъ свое начало отъ халдеевъ.

Другой измѣритель времени, изобрѣтеніе котораго также относится къ доисторическимъ временамъ, представляютъ водяные часы. Они были въ употребленіи у китайцевъ, индусовъ, халдеевъ и египтянъ, а Цезарь нашелъ ихъ также и въ Британіи. Одною изъ древнѣйшихъ формъ былъ воронкообразный сосудъ съ маленькимъ отверстіемъ, изъ котораго медленно вытекала вода. Такъ какъ вода при высокомъ уровнѣ вытекаетъ быстрѣе, чѣмъ при низкомъ, то воронкообразной формой сосуда достигалось то, что поверхность воды въ началѣ и въ концѣ истечения опускалась приблизительно равномѣрно. Иногда на поверхность воды пускали поплавокъ съ вертикальнымъ, раздѣленнымъ на части стерженькомъ, дѣленія котораго отсчитывались при помощи неподвижнаго указателя.

Индусы пускали на поверхность воды раковину съ маленькимъ отверстіемъ въ днѣ. Вода проникала черезъ это отверстіе и, когда раковина наполнялась водою, она шла ко дну; это значило, что часъ кончился.

Делла Порта даетъ описаніе и изображеніе (рис. 162) водяныхъ часовъ, состоявшихъ изъ наполненнаго водою стекляннаго колокола *АВ*, помѣщеннаго надъ резервуаромъ *СD*, также наполненнымъ водою; колоколъ наливается водою до верху и затѣмъ воздухъ входитъ сверху черезъ маленькое отверстіе *E*, а вода опускается и поверхность ея каждый часъ проходитъ черезъ одинъ изъ нацарапанныхъ на стеклѣ круговъ.

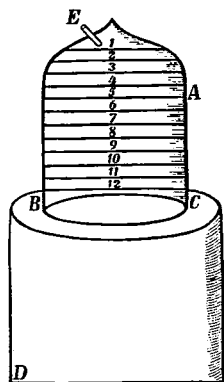
Иногда вытекающая вода вращала колесо; это колесо, въ свою очередь, вращало другое колесо, на оси котораго была укрѣплена стрѣлка, показывавшая часы. Мысль соединенія зубчатыхъ колесъ для подобной цѣли принадлежитъ, можетъ быть, Ктезибію, который жилъ за 140 лѣтъ до Р. X. въ Александріи и былъ учителемъ математика

¹ Одно изъ великихъ ассиро-вавилонскихъ божествъ, аналогичное Ваалу финикянъ. Упоминается въ Библии пророкомъ Исаіей, глава 46, ст. 1. *Прим. пер.*

Герона. Часовые промежутки въ этихъ часахъ отмѣчались падешемъ камешка въ металлическую чашку. Въ водяныхъ часахъ, подаренныхъ въ IX столѣтш калифомъ Гарунъ-Аль-Рашидомъ Карлу Великому, для той же цѣли служили мѣдные шары.

Рис. 162 изображаетъ водяные часы, бывшіе въ употребленіи еще въ XVIII столѣтш. Въ резервуаръ А сверху вливается вода, которая вытекаетъ внизу сквозь особое отверстіе для ея стока. Вытекшая вода заставляетъ подниматься илавающій колоколь, такъ что шнуръ ABC (С представляетъ собою грузъ) равномерно вращаетъ ось со стрѣлкою. Чтобы истеченіе воды происходило постоянно съ одной и

Рис. 162



Водяные часы по Делла Портѣ.

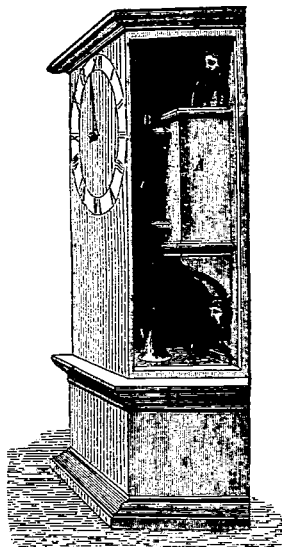
тою же скоростью, вода въ резервуарѣ А поддерживается на одномъ и томъ же уровнѣ; это достигается тѣмъ, что вода вливается скорѣе, чѣмъ вытекаетъ, и лишняя вода стекаетъ по трубкѣ, которая на рисункѣ не видна.

Производство водяныхъ часовъ процвѣтало въ особенности на Востокѣ,

въ Китаѣ, гдѣ еще и теперь водяные часы можно видѣть почти въ каждомъ городѣ, и у арабовъ, которые сдѣлали водяные часы совершенно автоматическими, причѣмъ эти автоматы показывали не только часы, праздники, положеніе солнца въ зодіакѣ, но производили также въ разные часы различные фокусы. Въ Европу водяные часы проникали медленно. Еще въ XII столѣтш сакристанъ монастыря въ Клуни долженъ былъ наблюдать звѣзды, чтобы во время будить монаховъ на молитву. Однако, въ средніе вѣка водяные часы проникли уже въ большинство крупныхъ городовъ Италиі, Франціи и Англии. На площади Св. Марка въ Венеши въ XVI столѣтш были водяные часы, на которыхъ ежечасно появлялись мавры и три волхва, привѣтствовавшіе Дѣву Марію и ударявшіе въ колоколь.

Съ точки зрѣнія мастерства работы, такимъ образомъ, не оставалось желать ничего лучшаго, но въ самомъ существенномъ, въ отношеніи точности опредѣленія времени, не было сдѣлано никакихъ важныхъ успѣховъ.

Рис. 163



Водяные часы XVIII-го столѣтш.

Вмѣсто воды примѣняли иногда (напримѣръ, Тихо Браге) ртуть или масло.

Можетъ быть, нѣсколько позднѣ появились песочные часы, которые не получили такого большого распространѣнія. Ихъ знали халдеи, а греки пользовались ими для того, чтобы отмѣрять время для рѣчей. Архимедъ также даетъ описаніе песочныхъ часовъ.

Два сосуда, имѣющихъ форму груши, соединяются другъ съ другомъ узенькимъ горлышкомъ и содержатъ болѣе или менѣе значительное количество песку. Послѣ того, какъ весь песокъ высыплется изъ верхняго сосуда въ нижній, приборъ переворачиваютъ, и песокъ снова въ извѣстное время (минуту, часть) переходитъ изъ одного сосуда въ другой. Въ среднѣ вѣка песочные часы были во всеобщемъ употребленіи. Въ Нюрнбергѣ существовалъ цехъ часовыхъ дѣлъ мастеровъ, и франты носили песочные часы, прикрѣпивъ ихъ къ колѣну. Конечно, эти часы или не особенно точно, однако, еще въ срединѣ XVII столѣтія на корабляхъ пользовались песочными часами для измѣренія времени, а вмѣстѣ съ тѣмъ и долготы. Еще и въ настоящее время на судахъ пользуются песочными часами при „лагахъ“¹⁾.

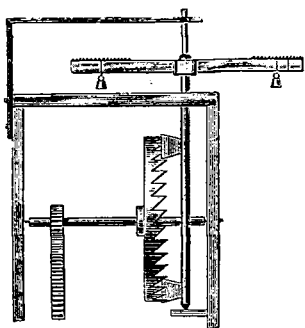
Рис. 164



Песочные часы.

159. Позднѣйшій типъ измѣрителей времени представляютъ собою часы съ колесами, приводимые въ движеніе грузомъ. На ось зубчатого колеса наматывается веревка, на которой виситъ грузъ. Послѣдній приводитъ ось во вращеніе, а зубчатое колесо захватываетъ свою окружность за другое, меньшее зубчатое колесо (такъ называемая „шестерня“ или „трибокъ“), прикрѣпленное къ другой оси. Эта ось вращается, такимъ образомъ, быстрѣ первой, и ея движеніе передается тѣмъ же способомъ третьей оси, которая въ свою очередь вращается быстрѣ второй и т. д. Послѣднее колесо вращается, такимъ образомъ, гораздо быстрѣ перваго.

Рис. 165



„Билиантъ“ въ часахъ до изобрѣтенія часовъ съ маятникомъ.

То колесо, которое вращается наиболѣе быстро, теперь какимъ-либо образомъ замедляется и притомъ такъ, чтобы ходъ всего механизма былъ равномернымъ. Въ болѣе древнія времена для этого примѣняли крылатку. Но сопротивленіе воздуха, производящее въ данномъ случаѣ замедленіе, измѣняется въ зависимости отъ температуры и плотности воздуха. Грязь въ мѣстахъ опоры осей и т. п. причины также играютъ большую роль, и потому такого рода часы обладали не особенно равномернымъ ходомъ. Подобныя приспособленія находятъ себѣ примѣненіе еще и теперь, но только тамъ, гдѣ не требуется особой точности, напримѣръ, въ музыкальныхъ коробкахъ, въ валикахъ на телеграфныхъ аппаратахъ и т. д.

Описываемый приборъ сталъ дѣйствовать лучше, когда крылатку замѣнили такъ называемымъ „билианцемъ“ (рис. 165). Изъ всей системы зубчатой передачи на ри-

¹⁾ Приборъ для опредѣленія скорости судна. *Прим. пер.*

сункъ изображена только самая верхняя ось, на которой помѣщается обыкновенная зубчатка и зубчатое колесо, устроенное особымъ образомъ. Оно приводится въ движеніе системой колесъ, но, цѣпляясь попеременно за двѣ лопатки, укрѣпленныя на оси билиянца, постоянно задерживается. Когда зубчатое колесо вращается, то одинъ изъ зубцовъ толкаетъ верхнюю лопатку назадъ. Это движеніе, однако, прекратится, какъ только другой зубецъ зацѣпится за нижнюю лопатку и начнетъ толкать ее впередъ. Затѣмъ колесо снова упирается въ верхнюю лопатку и задерживается ею и т. д. Такимъ образомъ, при каждомъ поворотѣ оси въ одну и въ другую сторону, колесо подви-

Рис. 166



Гюйгенсъ.

гается впередъ на одинъ зубецъ. Чѣмъ тяжелѣе билиянецъ, тѣмъ больше времени требуется на такое качаніе. Ходъ часовъ регулируется, поэтому, нагрузкой билиянца.

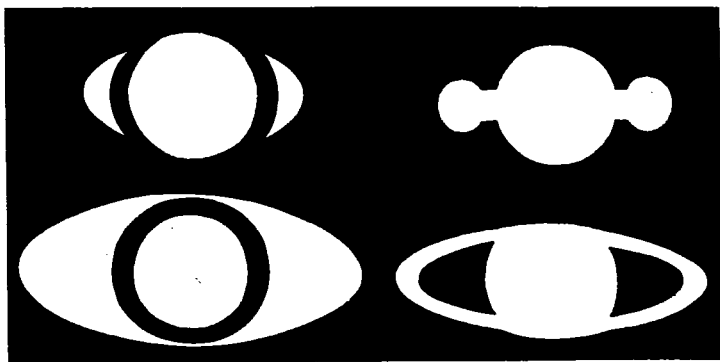
Часы съ колесами и грузами проникли въ Европу также отъ магометанъ. Распространеніе ихъ началось съ XI столѣтія. Въ 1232 году императоръ Фридрихъ II получилъ такіе часы въ подарокъ отъ египетскаго султана. Кромѣ времени, они показывали движеніе солнца, луны, планетъ и звѣздъ.

Данте упоминаетъ о такихъ часахъ въ десятой пѣснѣ „Рая“, и послѣдствіи ихъ примѣняли въ качествѣ башенныхъ часовъ во многихъ городахъ Европы, напримѣръ, въ соборѣ въ Рибѣ, въ Ютландіи. Что они шли не слишкомъ вѣрно, можно видѣть изъ того, какъ регулировались часы въ Рибѣ: билинцъ ихъ нагружался большимъ или меньшимъ количествомъ кирпичей. У Тихо Браге было четверо такихъ часовъ. Одно изъ колесъ было въ 3 фута діаметромъ и имѣло 1200 зубцовъ. Движеніе этого колеса было настолько тяжело, что его часто приходилось подгонять молоткомъ.

160. Какъ видно изъ всего сказаннаго, уже съ древнѣйшихъ временъ люди старались создать вѣрный измѣритель времени. И если, несмотря на это, построить удовлетворительный инструментъ такого рода не удавалось, то это доказываетъ, что одной потребности еще недостаточно для того, чтобы породить открытіе, пролагающее новый путь въ наукѣ. Такого рода открытіемъ мы обязаны скорѣе потребности нашего духа познавать явленія, въ данномъ случаѣ, напримѣръ, той потребности, которая побудила Галилея изучать движеніе лампады въ Пизанскомъ соборѣ. Конечно, Галилей въ этомъ случаѣ не имѣлъ въ виду создать для человѣчества измѣритель времени, и тѣмъ не менѣе, именно работы Галилея и Гюйгенса привели къ этой цѣли.

161. Христіанъ Гюйгенсъ, родившійся въ 1629 г. въ Гаагѣ, первоначальное образованіе, и именно въ области математики, получилъ отъ своего отца, богатаго и талантливаго человѣка, служившаго личнымъ секретаремъ при принцѣ Оранскомъ. Юный Гюйгенсъ посвятилъ себя изученію правовѣдѣнія, которое и закончилъ съ успѣхомъ уже въ возрастѣ 22 лѣтъ. Въ томъ же году онъ обнаружилъ превосходную математическую работу, привлечшую всеобщее вниманіе. Затѣмъ Гюйгенсъ совершилъ путешествіе по Германіи и Даніи, продолжая свои занятія математикой и

Рис. 167



Первые рисунки Сатурна.

физикой. Однимъ изъ важнѣйшихъ результатовъ его работы были часы съ маятникомъ (§ 162). Его небольшая статья объ этомъ появилась въ 1658 году; болѣе же подробное сочиненіе по теоріи и примѣненію маятника онъ издалъ въ 1673 году.

Въ 1655 году Гюйгенсъ открылъ, что замѣчательный видъ, который согласенъ предшествующимъ наблюденіямъ, имѣлъ Сатурнъ, обусловленъ существовавшимъ

кольца, окружающаго планету. Въ томъ же году Гюйгенсъ открылъ перваго изъ восьми спутниковъ Сатурна.

Конечно, эти открытія стояли въ непосредственной связи съ тѣми значительными успѣхами, которыхъ достигъ Гюйгенсъ въ дѣлѣ улучшения зрительныхъ трубъ.

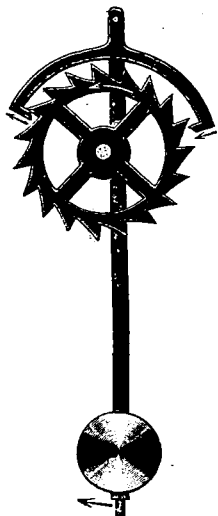
Рис. 168



Сатурнъ и его кольца.

Уже въ 1663 году, во время своего пребыванія въ Лондонѣ, Гюйгенсъ былъ избранъ въ члены Королевскаго Общества, а когда, въ 1665 году Людовикъ XIV основалъ Академію Наукъ въ Парижѣ, то наряду съ другими выдающимися учеными

Рис. 169



Маятникъ съ якоремъ и спусковымъ колесомъ.

въ Парижѣ былъ приглашенъ на выгодныхъ условіяхъ и Гюйгенсъ; предварительно министръ Кольберъ убѣдился, что это приглашеніе будетъ принято Гюйгенсомъ, у котораго въ Парижѣ было уже много добрыхъ друзей. Въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ Гюйгенсъ былъ однимъ изъ наиболѣе выдающихся членовъ Академіи, которая выпускала важныя научныя работы. Однако, вполнѣ безопасно и, подобно многимъ другимъ, уѣхалъ оттуда. Съ этого времени до самой своей смерти, послѣдовавшей въ 1695 году, онъ жилъ въ Гаагѣ.

Гюйгенсъ былъ однимъ изъ величайшихъ мыслителей и естествоиспытателей всѣхъ временъ; ему принадлежатъ выдающіяся работы не только въ тѣхъ областяхъ науки, о которыхъ было упомянуто. Впослѣдствіи мы встрѣтимся съ нимъ также въ другихъ областяхъ физики и математики, на которыя до тѣхъ поръ не ступала нога изслѣдователя.

162. Гюйгенсовы часы съ маятникомъ представляютъ собою не что иное, какъ прежніе часы съ зубчатыми колесами и грузами, въ которыхъ билянцъ замѣ-

ненъ маятникомъ. На рис. 169 изображена та форма спускового механизма, къ которой Гюйгенсъ перешель въ 1659 году и которая находится во всеобщемъ употребленіи еще до настоящаго времени. На рисункѣ изъ всей системы колесъ изображено только то колесо системы зубчатыхъ колесъ, которое движется наиболѣе быстро; оно непосредственно соединено со спусковымъ механизмомъ. Направление вращенія этого колеса указано бѣлой стрѣлкой. Въ моментъ, изображенный на рисункѣ, колесо удерживается зубцомъ якоря на лѣвой сторонѣ. Но когда затѣмъ маятникъ качнется влѣво, зубецъ якоря отпуститъ захваченный зубецъ колеса и колесо повернется далѣе, но только на ползубна, потому что зубецъ якоря справа попадетъ въ промежуттокъ между зубцами колеса и такимъ образомъ задержитъ колесо съ этой стороны. Когда послѣ этого маятникъ снова качнется вправо, то зубецъ на этой сторонѣ освободится, но зато одинъ изъ зубцовъ на лѣвой сторонѣ снова будетъ задержанъ якоремъ. Такимъ образомъ, при каждомъ качаніи маятника туда и обратно колесо подвигается впередъ на одинъ зубецъ.

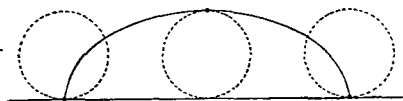
Зубцы якоря, какъ видно изъ рисунка, срѣзаны наискось, такъ что зубецъ колеса, который былъ задержанъ однимъ изъ зубцовъ якоря и затѣмъ снова отпущенъ, долженъ скользить по косою поверхности якоря. Вслѣдствіе этого якорь сообщаетъ маятнику небольшой толчокъ и этимъ достигается то, что маятникъ не можетъ мало по малу остановиться.

Если теперь придѣлать стрѣлки, отмѣчающія число оборотовъ колесъ, а, слѣдовательно, и число качаній маятника, то получится приборъ для измѣренія времени, ходъ котораго не зависитъ отъ загрязненія осей, отъ величины грузовъ и т. д., и опредѣляется только длиною маятника. Ходъ часовъ регулируется измѣненіемъ длины маятника (т. е. перемѣщеніемъ линзы).

163. Рѣшеніе этой важной задачи принесло Гюйгенсу много поздравленій и почетныхъ отличій. Не было недостатка, однако же, и въ попыткахъ оспаривать у него эту честь. Итальянцы настаивали на томъ, что приборъ, предложенный Галилеемъ, былъ часами съ маятникомъ (въ дѣйствительности это было не такъ, см. § 157), а извѣстный химикъ Бехеръ утверждалъ, что часы, регулируемые маятникомъ, были и раньше. Гюйгенсъ даже будто бы видѣлъ часы съ маятникомъ, принадлежавшіе Тихо Браге, у датскаго посланника въ Гаагѣ. Однако, Рѣмеръ объяснилъ это, указавъ на то, что маятникъ былъ прирѣзанъ къ этимъ часамъ позже; равнымъ образомъ и многіе другіе старые часы были впослѣдствіи передѣланы въ маятниковые.

164. Время, необходимое для того, чтобы маятникъ совершилъ одно колебаніе, почти не зависитъ отъ величины размаха. Гюйгенсъ не успокоился до тѣхъ поръ, пока не опредѣлилъ, по какому пути должно двигаться тѣло, чтобы время его колебанія совершенно не зависѣло отъ величины размаха. Оказалось, что такимъ свойствомъ обладаетъ линія, называемая циклоидой. Когда колесо катится по плоскости, то каждая точка его обода описываетъ въ пространствѣ циклоиду (рис. 170). Если обернуть циклоиду вогнутой стороной вверхъ (рис. 171), то получится такъ называемая „изохрона“, т. е. линія, по которой должна двигаться (колебаться) точка подъ дѣйствіемъ силы тяже-

Рис. 170



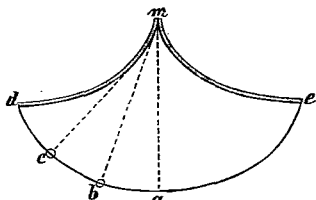
Циклоида.

сти, чтобы время ея колебанія не зависѣло отъ величины размаха. Для того, чтобы придти въ точку *a*, шару нужно будетъ употребить совершенно одинаковое время, независимо отъ того, падаетъ ли онъ изъ точки *b*, *c* или *d*.

Далѣе, Гюйгенсъ нашелъ, что тѣло можно заставить колебаться по циклоидѣ *dcb a*, подвѣсивъ его на шнуркѣ въ точкѣ *m*, гдѣ сходятся два циклоидальныхъ шаблона *md* и *me*. Впрочемъ, практическаго значенія это остроумное открытіе не имѣетъ. Обыкновенный маятникъ, линза котораго движется по дугѣ круга, оказывается болѣе цѣлесообразнымъ, потому что при малыхъ размахахъ онъ лишь незначительно уклоняется отъ циклоиды.

Впослѣдствіи другой математикъ, по происхожденію такоже голландецъ, Иванъ Бернулли (род. въ 1667 г. въ Базелѣ), нашелъ, что циклоида есть не только „таухрона“, т. е. линія равныхъ временъ паденія, но вмѣстѣ съ тѣмъ и „брахистохрона“, т. е. линія наименьшихъ временъ паденія. Для того, чтобы тѣло подѣ дѣйствіемъ тяжести пришло по возможности скоро изъ *b* въ *a*, или изъ *c* въ *a*, или изъ *d* въ *a*, оно должно двигаться по этой линіи. На каждомъ другомъ пути, между прочимъ и на прямолинейномъ, ему понадобится больше времени, чтобы прийти изъ болѣе высокой точки въ болѣе низкую.

Рис. 171



Циклоидальный маятникъ.

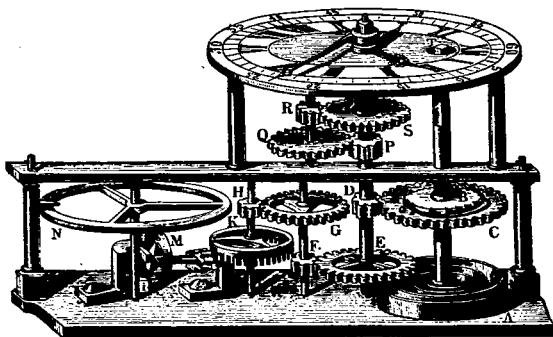
165. Часы съ грузомъ и маятникомъ не могутъ, конечно, служить въ качествѣ карманныхъ или корабельныхъ часовъ. Еще и раньше грузъ замѣняли согнутою въ спираль пружиной, а вмѣсто крылатки или билянца употребляли другіе приемы для замедленія движенія, напримѣръ, брали свиную щетину. Нѣкій Петръ Геле, уроженецъ Нюренберга, около 1510 года пустилъ въ продажу такого рода карманные часы, такъ называемые нюренбергскія яйца. Однако, удовлетворительными измѣрителями времени карманные часы сдѣлались лишь съ тѣхъ поръ, какъ ихъ снабдили приспособленіемъ, соответствующимъ маятнику, такъ называемымъ балансиромъ. Онъ былъ изобрѣтенъ, безъ сомнѣнія, лишь около 1658 года англичаниномъ Робертомъ Гуккомъ. Гукъ, однако, ничего не опубликовалъ объ этомъ, и въ 1675 году Гюйгенсъ писалъ о балансирѣ, какъ о своемъ собственномъ изобрѣтеніи. Но когда Гукъ заявилъ о своемъ первенствѣ, Гюйгенсъ съ готовностью призналъ его.

Балансиръ представляетъ собою маленькое маховое колесо *N* (рис. 172), ось котораго снабжена двумя лопатками, поочередно цѣпляющимися за зубцы спускового колеса. Спиральная пружина прикрѣпляется однимъ концомъ къ оси балансира, другимъ — къ стойкѣ, соединенной съ доскою часовъ. Когда балансиръ вращеніемъ выводится изъ положенія равновѣсія, то подѣ дѣйствіемъ упругости пружины онъ начинаетъ колебаться подобно тому, какъ колеблется маятникъ подѣ дѣйствіемъ силы тяжести. То обстоятельство, что прикрѣпленныя къ его оси лопатки захватываютъ зубцы спускового колеса, съ одной стороны постоянно прерываетъ движеніе этого колеса, а съ другой стороны поддерживаетъ движеніе балансира, благодаря тѣмъ толчкамъ, которые онъ получаетъ отъ спускового колеса. Изъ рисунка легко уяснить

себѣ, какимъ образомъ вращеніе оси, приводимой въ движеніе пружиной *A*, передается спусковому колесу, а также осямъ стрѣлокъ.

166. Робертъ Гукъ родился въ 1635 году на островѣ Байтѣ. Онъ былъ слабого тѣлосложенія. Несмотря на то, что воспитаніе его было довольно неправильно, колеблясь между обученіемъ ремесламъ и наукамъ, онъ сдѣлался ученымъ. Онъ сталъ экспериментаторомъ, а затѣмъ и секретаремъ Royal Society (Королевскаго Общества). Послѣ того, какъ онъ изобрѣлъ карманные часы (съ балансиромъ), Робертъ Бойль предложилъ ему выгодныя условія эксплуатаціи этого изобрѣтенія; однако, Гукъ со

Рис. 172



Часы съ балансиромъ *N*, приводимымъ въ движеніе заведенной пружиной *A*.

свойственной ему раздражительностью отвергъ его предложенія и изъ-за этого не получилъ никакихъ выгодъ отъ своего изобрѣтенія; да и самая честь этого открытія осталась за нимъ лишь, благодаря благородству Гюйгенса. Гукъ произвелъ важныя работы въ различныхъ областяхъ физики и построилъ много научныхъ измѣрительныхъ инструментовъ. Однако, онъ не далъ крупныхъ открытій, потому что его ученая дѣятельность затрагивала слишкомъ много различныхъ вопросовъ. Повидимому, онъ велъ довольно уединенную и печальную жизнь, и даже въ старости часто лишь подъ утро ложился одѣтымъ въ постель, проработавъ всю ночь напролетъ. — Известенъ его ожесточенный споръ съ Ньютономъ, котораго онъ обвинялъ въ томъ, что тотъ, будто бы, заимствовалъ у него теорію тяготѣнія, не приводя, однако, въ подтвержденіе этого никакихъ доказательствъ. Впрочемъ, Гукъ дѣйствительно высказывалъ мысль, что небесныя тѣла притягиваютъ другъ друга съ силой, зависящей отъ разстоянія, которая и обуславливаетъ ихъ пути; поэтому его по справедливости можно назвать предшественникомъ Ньютона¹⁾. Онъ умеръ въ 1703 году.

Другія криволинейныя движенія

167. Чтобы составить себѣ представленіе о томъ, насколько трудно было освободиться отъ аристотелевыхъ идей, стоитъ только обратить вниманіе на то, какъ сильно былъ связанъ ими Фрэнсисъ Бэконъ, современникъ Галилея, хотя онъ старался отдѣлаться отъ нихъ болѣе, чѣмъ кто либо другой.

¹⁾ Сравни примѣчаніе къ § 295.

Фрэнсисъ Бэконъ, сынъ Николая Бэкона, хранителя Большой государственной печати Англии, родился въ 1561 г. въ Лондонѣ. Онъ избралъ себѣ юридическую карьеру. Несмотря, однако, на протекцію графа Эссекса, ему не удалось получить выгоднаго мѣста на государственной службѣ. Въ процессѣ противъ графа Эссекса, завершившемся его казнью, Бэконъ сыгралъ далеко не достойную роль, а благодаря сочиненію, которое онъ написалъ, по порученію королевы Елизаветы, въ оправданіе казни графа Эссекса, онъ сталъ крайне непопулярнымъ. Лишь въ правленіе Якова VI ему удалось достигнуть своей давнишней цѣли — высокой государственной должности. Послѣ того, какъ онъ въ теченіе года исполнялъ должность хранителя Большой государственной печати, ему была поручена должность лорда-канцлера Англии. Кромѣ того, онъ получилъ титулъ барона Веруламскаго и виконта Сэнтъ-Олбэнскаго. Но едва успѣвъ достигнуть такой высоты, Бэконъ, за взяточничество при исполненіи своихъ обязанностей, былъ лишенъ титуловъ и должностей и приговоренъ къ штрафу въ 40000 фунтовъ стерлинговъ и къ пожизненному тюремному заключенію. Король, впрочемъ, отмѣнилъ тюремное заключеніе и назначилъ ему ежегодное содержаніе въ 1800 фунтовъ. Бэконъ не долго пережилъ свое униженіе. Онъ умеръ въ 1626 году.

Въ 1620 году, за годъ до своего паденія Бэконъ выпустилъ въ свѣтъ книгу, посвященную главнымъ образомъ вопросу о томъ, какъ слѣдуетъ двигать впередъ науку. Въ этой книгѣ онъ выступаетъ столь рѣшительнымъ противникомъ аристотелевской натурфилософіи, что многіе, въ особенности англичане, смотря на него, какъ на реформатора въ области научнаго изслѣдованія. Импонирова своимъ высокимъ положеніемъ въ государствѣ, онъ могъ вѣско заявлять, что „упадокъ наукъ произошелъ отъ пустыхъ мудрствованій,“ и что слѣдуетъ возвратиться къ изслѣдованію природы посредствомъ опыта (эмпириі). „Всѣ источники эмпириі изливаются въ океанъ философіи.“ Изъ нея вытекаетъ познаніе дѣйствительныхъ причинъ. Допущеніе конечныхъ причинъ, какъ объясненія физическихъ явленій, слѣдуетъ отвергнуть. Бэконъ съ такимъ ожесточеніемъ выступилъ противъ всякихъ умозрѣній, что даже математика имѣла въ его глазахъ лишь подчиненное значеніе.

Такого рода рѣчи были тогда въ высшей степени своевременны и, конечно, не пропали напрасну, тѣмъ болѣе, что исходили отъ такого высокаго лица. Разумѣется, лучше было бы вмѣсто того, чтобы говорить, больше работать въ этомъ направленіи, подобно Галилею, который поступалъ такъ гораздо раньше, чѣмъ появилась книга Бэкона. Но какъ исполнялъ свои совѣты самъ Бэконъ? Напримѣръ, онъ задается вопросомъ, какія тѣла двигаются вслѣдствіе тяжести и какія вслѣдствіе легкости, каковы предѣлы легкости и принадлежитъ ли воздухъ къ тяжелымъ или легкимъ тѣламъ. Онъ различаетъ 19 различныхъ родовъ движенія. Одинъ изъ этихъ родовъ есть „движеніе вслѣдствіе боязни движенія.“ И въ то же время онъ борется противъ конечныхъ причинъ!

168. Совѣтъ иного рода побѣда была одержана наукой тогда, когда Галилей формулировалъ законъ инерціи и высказалъ утвержденіе, что при одновременномъ дѣйствіи силъ каждая изъ нихъ производитъ то же дѣйствіе, какое она произвела бы, еслибы дѣйствовала одна. Съ помощью этой одной истины можно объяснить всѣ явленія движенія и, какъ мы уже видѣли, Галилей и выяснилъ съ ея помощью свободное паденіе, движеніе по наклонной плоскости и дви-

женіе маятника. Далѣе, онъ выяснилъ движеніе брошенныхъ тѣлъ, относительно котораго до него господствовали своеобразныя представленія.

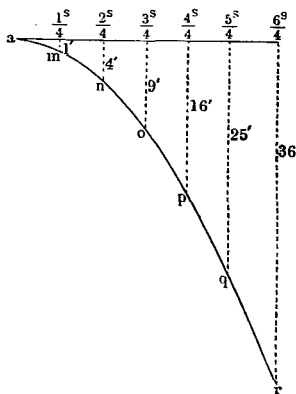
По Аристотелю движеніе тѣла, брошеннаго по горизонтальному направленію, составляется изъ трехъ: движенія по горизонтальной прямой линіи (наильственное движеніе), по дугѣ круга, а именно по четверти окружности (смѣшанное движеніе) и по вертикальной прямой линіи (естественное движеніе). Въ одномъ сочиненіи, относящемся къ 1561 году, эта теорія была измѣнена въ томъ смыслѣ, что путь брошеннаго тѣла складывается только изъ двухъ прямыхъ линій. Первую изъ нихъ тѣло пролетаетъ насильно и, когда вся сообщенная ему сила расходуется, оно падаетъ внизъ по естественному пути.

Выдающійся итальянскій математикъ Тарталья въ сочиненіи, изданномъ въ 1537 году, указалъ на то, что каждая часть пути брошеннаго тѣла должна быть искривленной. Однако, точнаго опредѣленія пути брошеннаго тѣла онъ не могъ дать.

169. Галилеево объясненіе движенія брошеннаго тѣла мы рассмотримъ на нѣсколькихъ примѣрахъ.

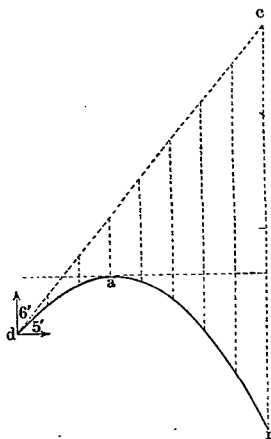
Допустимъ сначала, что тѣло брошено по горизонтальному направленію ab (рис. 173). Оно будетъ двигаться по этому направленію съ неизмѣнной скоростью,

Рис. 173



Движеніе горизонтально брошеннаго тѣла.

Рис. 174



Движеніе брошеннаго тѣла.

проходя, напримѣръ, 5 футовъ въ каждую четверть секунды. Если, съ другой стороны, вычислить (ср. § 149) пути, проходимые тѣломъ при паденіи за $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ и т. д. секунды, то окажется, что тѣло падаетъ внизъ въ

$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{6}{4}$ секунды
на 1	4	9	16	25	36 футовъ.

Тѣло, брошенное изъ точки a по горизонтальному направленію, въ томъ случаѣ, еслибы на него не дѣйствовала сила тяжести, передвинулось бы въ $\frac{6}{4}$ секунды при равномерной скорости изъ точки a въ точку b . Но вслѣдствіе дѣйствія силы тяжести оно въ то же время падаетъ, какъ указано выше. Поэтому спустя $\frac{1}{4}$

секунды тѣло приходитъ въ точку m , спустя $\frac{2}{4}$ секунды въ точку n и т. д. Путь $amnpqr$, который оно описываетъ, представляетъ собою такъ называемую параболу — кривую линію, которая была извѣстна математикамъ, жившимъ еще въ IV столѣтіи до Р. X.

170. И въ томъ случаѣ, когда тѣло брошено по какому-либо другому направленію, оно описываетъ параболу. Пусть оно будетъ брошено изъ точки d (рис. 174) по такому направленію, что въ каждую четверть секунды оно проходитъ 5 футовъ въ горизонтальномъ направленіи и 6 футовъ въ вертикальномъ. Движеніе тѣла въ горизонтальномъ направленіи отъ дѣйствія силы тяжести не измѣнится, между тѣмъ какъ высота тѣла въ каждый моментъ будетъ зависѣть также и отъ дѣйствія этой силы. Высоты, которыхъ тѣло достигло бы благодаря своей начальной скорости спустя 0, $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{6}{4}$, $\frac{7}{4}$, $\frac{8}{4}$ секунды, равны

0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 футовъ.

Но въ тѣ же промежутки времени тѣло вслѣдствіе тяжести падаетъ внизъ на

0, 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64 фута.

Поэтому высота надъ точкой d , которой оно въ дѣйствительности достигаетъ, будетъ соответственно

0, 5, 8, 9, 8, 5, 0, —7, —16 футовъ,

слѣдовательно, тѣло будетъ ниже точки a (которая помѣщается на 9 футовъ надъ d) на

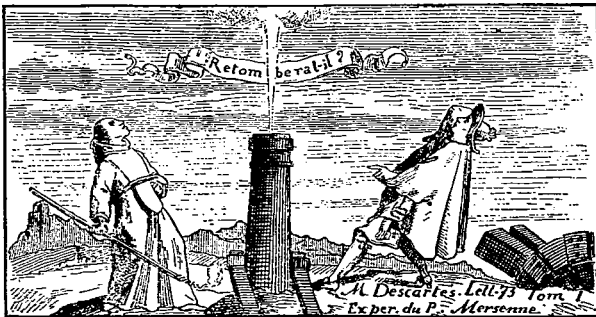
9, 4, 1, 0, 1, 4, 9, 16, 25 футовъ.

Получаются, слѣдовательно, такія же самыя пониженія, какъ и при горизонтальномъ бросаніи изъ точки a , въ которой тѣло (по истеченіи $\frac{3}{4}$ секунды) занимаетъ наивысшее свое положеніе. Согласно съ этими прочисленными величинами вычерчена кривая рис. 174, гдѣ d есть начальное положеніе, а dc путь, который былъ бы пройденъ тѣломъ въ $\frac{8}{4}$ или въ 2 секунды при отсутствіи силы тяжести. Изъ точекъ, въ которыхъ тѣло находилось бы спустя $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$ и т. д. секунды, проведены вертикальныя линіи и на нихъ нанесены соответственныя величины паденія, такимъ образомъ получился путь dar , который представляетъ собою параболу. Однако, вслѣдствіе сопротивленія воздуха въ дѣйствительности этотъ путь нѣсколько отклоняется отъ параболы.

171. Не лишено интереса сравненіе съ этими объясненіями Галилея тѣхъ теорій движенія, которыя еще позднѣе были предложены Декартомъ (Картезиемъ). Однако это сравненіе даетъ мало поучительнаго. Декартъ родился въ 1596 г. въ Лагэ (La Haye) въ Турени, а умеръ въ 1650 году въ Стокгольмѣ. Воспитаніе онъ получилъ въ иезуитской школѣ въ Лафлешѣ (La Flèche), въ молодости былъ военнымъ и принималъ участіе во многихъ походахъ, затѣмъ объѣздивъ разныя страны, долгое время жилъ въ Голландіи (§ 106) и въ концѣ концовъ, по приглашенію шведской королевы Христіны, пріѣхалъ въ Стокгольмъ. — Декартъ былъ необыкновенно даровитый человекъ. Въ особенности онъ прославился своей философіей. Но за нимъ числятся также крупныя заслуги и въ области математики (аналитическая геометрія). Въ области физики онъ далъ объясненіе лишь нѣкоторымъ отдѣльнымъ явленіямъ (напримѣръ, радугѣ), допускавшимъ математическую обработку. Въ противоположность Галилею, Декартъ считалъ умозрѣніе (спекулятивный методъ изслѣдованія) лучшимъ средствомъ изученія природы. Онъ начинаетъ съ того, что сомнѣвается во всемъ. Отсюда онъ приходитъ къ убѣжденію въ несомнѣнности своего собственнаго существованія, изъ чего выводитъ несомнѣнность существованія

Бога, изъ ученія о Богѣ онъ выводитъ свойства пространства и вещества и на основаніи этихъ свойствъ создаетъ ученіе о движеніи и ударѣ. Законы движенія, къ которымъ онъ пришелъ такимъ путемъ, представляютъ собою странное сплетеніе идей и трудно даже понять, какъ такой талантливый математикъ, какъ Декартъ, могъ удовлетвориться ими. Самъ онъ говоритъ, однако, что онъ такъ глубоко убѣжденъ въ правильности своихъ законовъ движенія, что въ случаѣ, еслибы они не подтвердились на опытѣ, онъ всетаки болыне повѣрилъ бы своему разуму, чѣмъ чувствамъ. И что, можетъ быть, еще болѣе замѣчательно, это то, что одинъ ученый за другимъ склонялись передъ его ученіемъ о движеніи и передъ „картезіанскими вихрями,“ по которымъ будто бы двигается эфиръ, увлекая за собою планеты и солнце. Въ сочиненіяхъ Декарта попадаются изображенія вродѣ рис. 175. Его товарищъ по іезуитской школѣ Мерсеннъ и артиллеристъ Пти нѣсколько разъ стрѣляли изъ

Рис. 175



Одинъ изъ вопросовъ Декарта.

пушекъ по вертикальному направленію, но обратнаго паденія ядра не наблюдали. Этимъ и объясняется надпись на рисункѣ: *Retombera-t-il* (упадетъ ли оно обратно)? Понятно, что дуло пушки было направлено не вполнѣ точно по отвѣсу, чего можно достигнуть лишь съ большимъ трудомъ.

Какъ далеко былъ Декартъ отъ того, чтобы по достоинству оцѣнить творенія Галилея, видно изъ его письма къ Мерсенну, гдѣ онъ говоритъ: „Что касается Галилея, то скажу Вамъ, что я его никогда не видѣлъ и не велъ съ нимъ никакой переписки; поэтому я ничего не могъ у него заимствовать; и въ его книгахъ я не вижу ничего такого, чему бы могъ позавидовать или признать за свое.“

Къ числу многихъ, считавшихъ Декарта непогрѣшимымъ, принадлежалъ голландецъ ванъ-Шутенъ, учитель Гюйгенса и другъ его отца. Когда Гюйгенсъ выступилъ со своимъ ученіемъ объ ударѣ, это сильно огорчило учителя, который, желая ученику добра, очень противился этому выступленію.

172. Однимъ изъ главныхъ предшественниковъ Галилея, который не признавалъ авторитета Аристотеля безусловнымъ, былъ Бенедетти (род. въ 1530 г. въ Венециі, ум. въ 1590 г. въ Туринѣ). Въ механикѣ, изданной въ 1585 г., онъ даетъ объясненіе центробѣжной силы, которая дѣйствуетъ на тѣло, движущееся по кругу. Естественно, говоритъ онъ, чтобы тѣло двигалось по прямой линіи. Поэтому, если оно

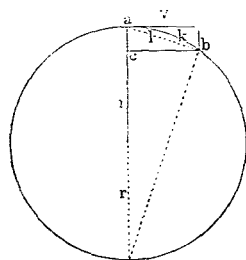
не привязано, то оно удаляется по прямой линіи (касательной), подобно грязи, отскакивающей отъ колесъ быстро движущагося экипажа. Это стремленіе тѣла удалиться отъ центра является причиной того, что называютъ центробѣжной силой.

Это соображеніе стало достаточнымъ для объясненія центробѣжной силы послѣ того, какъ Галилей формулировалъ законъ инерціи. Если тѣло принуждается къ движенію по кругу тѣмъ, что оно привязано на веревкѣ, то веревка должна съ извѣстною силою тянуть тѣло. Съ такою же силою тѣло тянетъ веревку.

Гюйгенсъ первый произвелъ вѣрное вычисленіе центробѣжной силы. По-видимому, его вниманіе было привлечено къ этому вопросу изученіемъ маятника, именно, конического маятника (центробѣжнаго). Такъ называется маятникъ, который качается не въ одной и той же плоскости взадъ и впередъ, а описываетъ поверхность конуса. Если шарикъ маятника, подвѣшенный на ниткѣ, вывести изъ положенія равновѣсія въ какую-либо сторону и затѣмъ сообщить ему скорость въ другомъ направленіи, то шарикъ станетъ описывать болѣе или менѣе растянутый эллиптической путь, а если направленіе и величина скорости размѣрены соотвѣтствующимъ образомъ, онъ будетъ двигаться по кругу¹⁾. Гюйгенсъ впервые опубликовалъ свое вычисленіе центробѣжной силы въ книгѣ о часахъ, изданной въ 1673 году. Впослѣдствіи онъ написалъ по этому вопросу болѣе подробное сочиненіе. Чтобы читатель могъ понять вычисленіе, произведенное Гюйгенсомъ, и былъ въ состояніи производить подобныя же вычисленія, сами по себѣ представляющія большой интересъ и находящія много практическихъ примѣненій, въ послѣдующихъ двухъ параграфахъ намъ придется пользоваться нѣкоторыми математическими теоремами.

173. Пусть тѣло находится въ точкѣ *a* (рис. 176) и обладаетъ такою скоростью, что въ единицу времени можетъ пройти путь *v*. Однако, тѣло не можетъ удалиться

Рис. 176



Объясненіе центробѣжной силы.

отъ круга, потому что оно соединено съ его центромъ при помощи веревки или чего-либо подобнаго. Веревка все время должна тянуть по направленію къ центру (центробѣжная сила). Эта тяга имѣетъ какъ разъ такую же величину, какъ и та тяга, которую тѣло производитъ по направленію вовнѣ вслѣдствіе центробѣжной силы; совершенно то же мы имѣемъ въ случаѣ тѣла, подвѣшеннаго на веревкѣ: веревка тянетъ вверхъ съ такою же силой, съ какою тѣло тянетъ внизъ.

Еслибы тѣло могло двигаться, подчиняясь закону инерціи, то въ единицу времени оно прошло бы отръзокъ прямой *v*. Но если оно удерживается на круговомъ пути и по прошествіи единицы времени приходитъ въ точку *b*, то, кромѣ движенія по инерціи *v*, оно должно совершить движеніе *ac*. Это послѣднее движеніе вызывается равномерною дѣйствующею тягой веревки и опредѣляется величиною центробѣжной силы *f*.

Подобно тому, какъ сила тяжести, сообщаящая тѣлу въ теченіе секунды скорость *g*, заставляетъ тѣло въ то же время пройти путь $\frac{1}{2}g$ (§ 149), такъ точно и

¹⁾ Конические маятники примѣняются въ такихъ механизмахъ, гдѣ движеніе должно быть равномернымъ, а не совершаться скачками, какъ движеніе секундной стрѣлки часовъ.

центростремительная сила f въ секунду заставить тѣло совершить путь $\frac{1}{2}f$. Слѣдовательно, лиція ac равна $\frac{1}{2}f$.

Какъ извѣстно изъ геометріи, квадратъ, построенный на ab , равенъ прямоугольнику со сторонами ac и $2r$. Но такъ какъ мы должны разсматривать движеніе въ безконечно-малый промежутокъ времени, то lk и v будутъ равны между собою. Поэтому

$$v^2 = ac \cdot 2r.$$

Но

$$ac = \frac{1}{2}f,$$

слѣдовательно,

$$v^2 = \frac{1}{2}f \cdot 2r = f \cdot r,$$

откуда

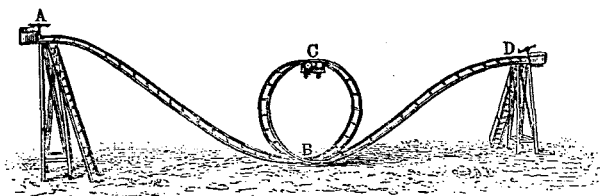
$$f = \frac{v^2}{r}.$$

Какъ видно изъ этой формулы, центростремительная, а, значить, и центробѣжная сила тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость. Если скорость будетъ въ 2, 3, 4 раза больше, то центробѣжная сила увеличится въ 4, 9, 16 разъ, т. е. центробѣжная сила растеть пропорціонально квадрату скорости. Далѣе, центробѣжная сила тѣмъ больше, чѣмъ меньше радиусъ кривизны, потому что послѣдній стоитъ въ знаменателѣ формулы. При заданной скорости v центробѣжная сила будетъ, стало бытъ, тѣмъ больше, чѣмъ быстрѣ мѣняется направленіе движенія.

Примѣръ 1. Экипажъ двигается со скоростью $2m$ въ секунду по дорогѣ, представляющей собою дугу радиусомъ въ $6m$. Центробѣжная сила равна, слѣдовательно, $\frac{2^2}{6} = 0.66m$. Такъ какъ сила тяжести равняется g или $9.8m$, то центробѣжная сила приблизительно равна $\frac{1}{15}$ силы тяжести. Лицо, сидящее въ экипажѣ, прижимается, слѣдовательно, къ внѣшней стѣнкѣ экипажа съ силой равной одной пятнадцатой части своего вѣса.

Примѣръ 2. Шаръ вѣсомъ въ 0.25 кг катится по горизонтальному жолобу со скоростью $0.3m$ въ секунду. Радиусъ кривизны жолоба равенъ 15 см . Какое давленіе производитъ шаръ на боковую поверхность жолоба?

Рис. 177



Движеніе вагонетки по центробѣжной дорогѣ.

Примѣръ 3. Вагонетка скатывается по наклоннымъ рельсамъ и затѣмъ описываетъ круговую петлю (рис. 177). При достаточной скорости вагонетка не упа-

детъ съ рельсовъ. Если діаметръ круговаго пути равенъ 6 м, то какова должна быть наименьшая начальная высота вагонетки надъ высшей точкой петли, чтобы центробъжная сила по меньшей мѣрѣ равнялась силѣ тяжести (трѣніе и сопротивленіе воздуха не принимаются въ расчетъ)?

174. Если движеніе все время происходитъ по круговому пути, то формулу можно привести къ нѣсколько болѣе удобному виду. Назовемъ время, необходимое тѣлу для совершенія одного оборота (время обращенія), черезъ T ; за это время тѣло, при скорости v , проходитъ путь vT . Но этотъ же путь, равный окружности круга, можетъ быть выраженъ формулой $2\pi r$. Итакъ,

$$vT = 2\pi r,$$

слѣдовательно,

$$v^2 T^2 = 4\pi^2 r^2$$

и

$$v^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}.$$

А такъ какъ

$$v^2 = fr,$$

то

$$fr = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}.$$

или

$$f = \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

Изъ этой формулы видно, что центробъжная сила обратно пропорціональна квадрату времени обращенія, что равнозначно прежней теоремѣ о центробъжной силѣ и скорости. Далѣе, изъ формулы видно, что центробъжная сила тѣмъ больше, чѣмъ больше радіусъ кривизны. На первый взглядъ кажется, что это противорѣчитъ прежнимъ законамъ; но на самомъ дѣлѣ этого противорѣчія нѣтъ. Пусть, напримѣръ, на рычагѣ карусели тѣло a находится на разстояніи въ 5 разъ больше отъ центра, чѣмъ другое тѣло b . Тогда, согласно послѣдней формулѣ, центробъжная сила a получается въ 5 разъ больше центробъжной силы тѣла b . Если же мы захотимъ примѣнить первую формулу, то не слѣдуетъ забывать, что скорость a въ 5 разъ больше скорости b . По этой причинѣ центробъжная сила a должна бы быть въ 25 разъ больше, чѣмъ центробъжная сила b . Но вслѣдствіе большаго радіуса кривизны она должна быть въ 5 разъ меньше, чѣмъ та, которая дѣйствуетъ на b ; $\frac{25}{5}$ равно 5.

Примѣръ 1. Тѣло движется по кругу діаметромъ въ 30 см и дѣлаетъ 60 оборотовъ въ секунду. Во сколько разъ центробъжная сила больше силы тяжести?

Примѣръ 2. Шары регулятора паровой машинны дѣлаютъ 90 оборотовъ въ минуту и удалены отъ оси на 10 см. Каково отношеніе между центробъжной силой и силой тяжести?

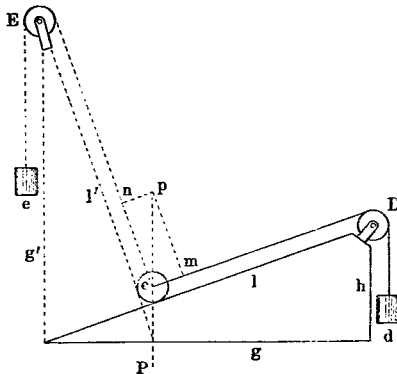
Примѣръ 3. Какая доля силы тяжести уничтожается на земномъ экваторѣ центробъжной силой, происходящей отъ вращенія земли (діаметръ экватора равенъ 1719 милямъ)?

Параллелограммъ силъ

175. Стевинъ нашель (§ 136), что шаръ c на наклонной плоскости l (рис. 178) удерживается въ равновѣсїи грузомъ d , величина котораго относится къ вѣсу c , какъ высота h наклонной плоскости къ ея длинѣ l . Это послужило Стевину исходной точкой для слѣдующихъ выводовъ.

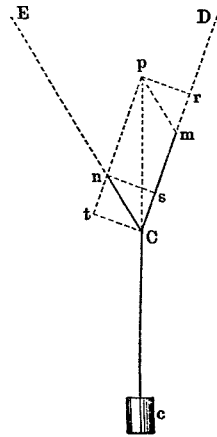
Не произойдетъ никакого нарушенія равновѣсія, если убрать наклонную плоскость и привязать къ шару c веревку, перекинутую черезъ блокъ E и натянутую грузомъ e ; при этомъ направленіе веревки должно быть перпендикулярно къ наклонной плоскости, а грузъ своимъ натяженіемъ долженъ какъ разъ замѣнить дѣйствіе опоры l .

Рис. 178



Переходъ отъ наклонной плоскости къ параллелограмму силъ.

Рис. 179



Натяженіе двухъ веревокъ грузомъ.

Можно представить себѣ теперь, что слѣва отъ c расположена вторая наклонная плоскость l' , высота которой g' равна основанію, а основание равно высотѣ первой наклонной плоскости. На этой наклонной плоскости грузъ e будетъ въ равновѣсїи съ c , если e относится къ c , какъ g' или g къ l . Теперь можно представить себѣ, что и вторая наклонная плоскость замѣнена веревкой cDd съ соответствующимъ грузомъ d . Въ такомъ случаѣ грузъ c будетъ висѣть на двухъ веревкахъ eD и cE , натянутыхъ грузами d и e , которые такъ относятся къ c , какъ h и g относятся къ l . Если теперь провести черезъ c вертикальную линію cP и придать ей длину, изображающую графически величину груза c , а затѣмъ продолжить эту линію на такое же разстояніе вверхъ, то отрѣзки ct и cn должны будутъ соответствовать величинѣ грузовъ d и e . Въ самомъ дѣлѣ, стороны маленькаго треугольника ctp относятся между собою такъ же, какъ стороны треугольника, образованнаго длиною, высотой и основаніемъ наклонной плоскости (l, h, g). Послѣднія же относятся между собою, какъ грузы d, c и e . Такимъ образомъ, сила cP можетъ быть въ равновѣсїи съ двумя другими ct и cn , представляющими собою стороны прямоугольника, въ которомъ продолженіе первой силы является діагональю. Далѣе, Стевинъ показалъ, какъ подобнымъ же образомъ

можно опредѣлить натяженіе двухъ веревокъ, привязанныхъ къ грузу, въ томъ случаѣ, если онѣ не образуютъ между собою прямого угла. Если грузъ c (рис. 179) виситъ на веревкахъ DC и EC , то вертикальную линію Cc можно продолжить вверхъ и считать, что длина Cr выражаетъ вѣсъ c . Если теперь изъ r проведемъ линію pm параллельно CE и линію pn параллельно CD , то Cm будетъ представлять собою величину натяженія веревки CD , а Cn натяженіе по CE .

Стевинъ не даетъ яснаго доказательства правильности этого положенія. Доказать его можно слѣдующимъ образомъ. Проведемъ три линіи Ct , ps и pr перпендикулярно къ Cm . По предыдущей теоремѣ, Cr можетъ быть замѣнена черезъ Ct и Cr . Но послѣдняя равна $Cm + mr$ или $Cm + Cs$. Теперь мы имѣемъ три силы Ct , Cm и Cs . Изъ нихъ первая и третья могутъ быть замѣнены черезъ Cn , слѣдовательно, Cr можетъ быть замѣнена черезъ Cm и Cn .

Итакъ, Стевинъ нашель, что силы, дѣйствующія на три веревки, связанныя въ одной точкѣ, находятся между собою въ равновѣсїи, если линіи, отложенныя по направленію веревокъ и выражающія относительныя величины силъ, имѣютъ такія длины, что діагональ параллелограмма, построеннаго на двухъ изъ этихъ линій, имѣетъ ту же величину, какъ и третья линія, но противоположное направленіе.

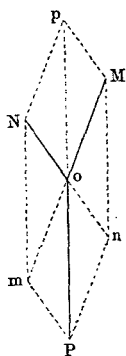
Если, напримѣръ, діагональ op (рис. 180) параллелограмма со сторонами oM и oN равна по величинѣ, но противоположна по направленію oP , то oM и oN находятся въ равновѣсїи съ oP . Такъ какъ равновѣсїе существуетъ между всѣми тремя линіями, то мы съ такимъ же правомъ можемъ сказать, что oM и oP находятся въ равновѣсїи съ oN . Отсюда слѣдуетъ, что on , діагональ параллелограмма $MoPn$, равна по величинѣ и противоположна по направленію oN . Точно также діагональ om параллелограмма $NoPt$ равна по величинѣ и противоположна по направленію oM .

176. Совсѣмъ инымъ путемъ (исходя изъ закона инерціи) Галилей открылъ положеніе, которое можно было бы назвать параллелограммомъ движеній. Если тѣло подъ дѣйствіемъ одной силы должно перейти изъ o въ M , а подъ дѣйствіемъ другой въ тотъ же самый промежутокъ времени изъ o въ N , то подъ одновременнымъ дѣйствіемъ обѣихъ силъ оно передвинется по діагонали параллелограмма изъ o въ p .

Такъ какъ, далѣе, Галилей нашель, что сила можетъ быть измѣрена той скоростью, которую она сообщаетъ тѣлу въ единицу времени (§§ 149, 150), то изъ теоремы о параллелограммѣ движеній онъ могъ бы вывести слѣдующее заключеніе. Если движеніе, которое могли бы произвести двѣ силы, дѣйствуя одновременно, равно и противоположно движенію, вызываемому нѣкоторой третьей силой, то движеніе, производимое всѣми тремя силами вмѣстѣ, равно нулю, т. е. такія три силы находятся въ равновѣсїи.

Въ такой общей формѣ теорема, однако, не была высказана ни Стевиномъ, ни Галилеемъ; несомнѣнно, впрочемъ, что вопросъ былъ выясненъ ими въ деталяхъ. Лишь Ньютонъ выразилъ теорему въ той формѣ, въ какой мы только что привели ее. Теперь эту теорему обыкновенно называютъ параллелограммомъ силъ.

Рис. 180

Дѣйствіе на точ-
ку трехъ силъ.

Параллелограммъ силъ примѣняется тогда, когда требуется найти „равнодѣйствующую силу“ двухъ силъ, приложенныхъ въ одной и той же точкѣ. Когда двѣ силы даны по величинѣ и направленію, то равнодѣйствующая сила, или „результурующая,“ представляется діагональю параллелограмма силъ, потому что эта діагональ равна по величинѣ и противоположна по направленію той силѣ, которая находилась бы въ равновѣсіи съ двумя данными.

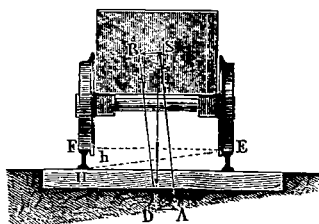
Можно „сложить“ и больше, чѣмъ двѣ силы, складывая сначала двѣ изъ нихъ, затѣмъ полученную равнодѣйствующую съ третьей силой и т. д.

Соотвѣтственнымъ образомъ можно данную силу и разложить на „слагающія“ или „составляющія“. Дѣйствительно, если начертить двѣ другія силы такъ, чтобы данная сила была діагональю параллелограмма, а двѣ новыя образовали собою его стороны, то эти двѣ силы будутъ въ состояніи произвести то же дѣйствіе, что и первая.

Съ помощью теоремы о параллелограммѣ силъ можно легко опредѣлить общее дѣйствіе тяжести и центробѣжной силы.

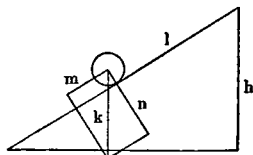
Примѣръ 1. Желѣзнодорожный поѣздъ идетъ со скоростью 20 м по закругленію радіусомъ въ 300 м. Какую долю силы тяжести составляетъ центробѣжная сила? Въ такихъ мѣстахъ внутренней рельсъ кладутъ нѣсколько ниже внѣшняго (рис. 181), такъ что равнодѣйствующая SD силы тяжести SA и центробѣжной силы SB направляется приблизительно перпендикулярно къ пути.

Рис. 181



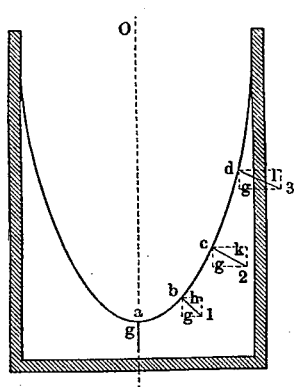
Желѣзнодорожный путь на закругленіяхъ.

Рис. 183



Разложеніе силы на двѣ составляющіихъ.

Рис. 182



Поверхность жидкости подѣйствіемъ центробѣжной силы.

Примѣръ 2. Цирковая лошадь бѣжитъ по кругу въ 20 м діаметромъ со скоростью 20 км въ часъ. Каковъ долженъ быть наклонъ дороги и какъ великъ кажущійся вѣсъ бѣгущей лошади, если дѣйствительный ея вѣсъ равенъ 420 кг?

Примѣръ 3. Впоследствии мы увидимъ, что поверхность жидкости устанавли-

вается всегда перпендикулярно къ направлению силы, дѣйствующей въ каждой точкѣ ея поверхности. Если вращать жидкость вокругъ вертикальной оси (мѣшая ее въ чашкѣ, вращая на центробѣжной машинѣ и т. п.), то ея поверхность принимаетъ форму, изображенную на рис. 182. Въ точкахъ *a*, *b*, *c* и *d* сила тяжести вездѣ одна и та же, центробѣжная же сила соотвѣтственно будетъ равна 0, 1, 2, 3. Силы, дѣйствующія въ различныхъ точкахъ, суть *g*, *h*, *k* и *l*, и поверхность въ точкахъ *a*, *b*, *c* и *d* перпендикулярна къ нимъ. Чѣмъ больше скорость вращения, тѣмъ болѣе дѣйствующія силы направляются наружу и тѣмъ круче подымается поверхность. Параболическое углубленіе становится больше. При достаточно большой скорости показывается дно сосуда, а поверхность жидкости становится почти вертикальной (цилиндрической).

Примѣръ 4. Условіе равновѣсія на наклонной плоскости можно теперь вывести инымъ способомъ, чѣмъ прежде. Въсь тѣла *k* (рис. 183), направленный вертикально внизъ, разлагается на двѣ слагающія *n* и *m*, изъ которыхъ первая даетъ давленіе на наклонную плоскость, а вторая силу, съ которой тѣло дѣйствуетъ въ направленіи наклонной плоскости. Очевидно, послѣдняя относится къ всѣу *k* такъ, какъ *h* относится къ *l* (ср. § 136).

У д а р ъ

177. Галилей и его ученикъ Торричелли замѣчаютъ, что сила удара безконечно велика въ сравненіи съ силой давленія. Ударъ и давленіе несравними между собою.

Во всякомъ случаѣ, примѣры, подобные нижеслѣдующимъ, повидимому, подтверждаютъ этотъ взглядъ. Сильный ударъ по открытой двери не такъ легко можетъ ее захлопнуть, какъ слабое давленіе. Стаканъ, могущій выдержать на себѣ давленіе вѣса человѣка, разбивается отъ быстрого удара по нему ключемъ.

Однако, утверждешіе Галилея невѣрно. Правильнѣе будетъ сказать, что ударъ есть очень сильное давленіе, продолжающееся очень недолго.

И Декартъ также былъ не вполне правъ, утверждая, что малое тѣло при ударѣ о большее, находящееся въ покоѣ, отскакиваетъ назадъ съ прежней скоростью, а большее тѣло остается въ покоѣ.

Нѣмецъ, по имени Маркусъ Марци, писавшій о движеніи нѣсколько позже Галилея, — его книга появилась въ 1639 году въ Прагѣ —, даетъ различныя указанія касательно удара, болѣе правильныя, чѣмъ большинство появившихся раньше объясненій по этому предмету. Напримѣръ, онъ совершенно правильно замѣчаетъ, что упругій шаръ при ударѣ о другой шаръ равной массы, находящійся въ покоѣ, передаетъ ему свою скорость, а самъ останавливается. Впрочемъ, въ отношеніи ясности и точности разсужденій его далеко нельзя сравнить съ Галилеемъ.

178. Прежде думали, что первый толчокъ къ изслѣдованію вопроса объ ударѣ тѣлъ былъ данъ англійскимъ Королевскимъ Обществомъ (Royal Society), которое въ 1668 году объявило премію за рѣшеніе этой задачи. Рѣшеніе было дано тремя выдающимися учеными, Джономъ Валлисомъ, Христофоромъ Реномъ и Гюйгенсомъ. Но у Гюйгенса рѣшеніе этой задачи было готово еще въ 1656 году, и онъ медлил его опубликовать лишь потому, что ванъ-Шутенъ опасался, какъ бы

онъ не скомпрометтировалъ себя передъ Декартомъ (§ 171). Когда Гюйгенсъ въ 1663 году встрѣтился въ Лондонѣ съ Реномъ, занятымъ опытами надъ ударомъ тѣлъ, онъ при помощи своихъ формулъ, которыя всегда помнилъ, могъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ предсказать результатъ. Валлисъ (1616 — 1703), профессоръ Оксфордскаго Университета, былъ выдающимся математикомъ и оставилъ нѣсколько различныхъ работъ, имѣющихъ важное значеніе еще и теперь. Ренъ (1632 — 1722) былъ профессоромъ сначала въ Лондонѣ, затѣмъ въ Оксфордѣ, но прославился, главнымъ образомъ, какъ архитекторъ. За пятидесятилѣтіе съ 1668 по 1718 годъ онъ построилъ болѣе 60 церквей и другихъ общественныхъ зданій, между прочимъ, величественную церковь Св. Павла въ Лондонѣ.

Эти три отвѣта на задачу были замѣчательны тѣмъ, что взаимно дополняли другъ друга.

Именно, Валлисъ разсматривалъ ударъ двухъ такихъ тѣлъ, которыя послѣ удара не отдѣляются другъ отъ друга. Это имѣетъ мѣсто въ случаѣ тѣлъ неупругихъ, каковы свинецъ, глина и т. п. Такія тѣла сохраняютъ измѣненіе формы, испытанное ими при ударѣ, и въ нихъ не замѣтно никакого стремленія принять снова прежнюю форму.

Валлисъ указалъ на то, что количество движенія, т. е. произведеніе массы и скорости, до и послѣ удара имѣетъ одну и ту же величину. Если, напримѣръ, шаръ въ 10 кг, движущійся со скоростью 5 м, настигаетъ шаръ въ 5 кг, движущійся со скоростью 2 м, такъ что сумма количествъ движенія есть $50 + 10 = 60$, то оба шара вмѣстѣ (15 кг) начинаютъ двигаться со скоростью 4 м, потому что $15 \times 4 = 60$ ¹⁾. Если тѣла движутся въ противоположныхъ направленіяхъ, то, естественно, количество движенія послѣ удара равно разности количествъ движенія до удара.

Примѣръ. Если сталкиваются два равныхъ неупругихъ шара, движущихся съ равными скоростями на встрѣчу другъ другу, то оба приходятъ въ состояніе покоя.

179. Ренъ и Гюйгенсъ, наоборотъ, изслѣдовали случай упругихъ тѣлъ, у которыхъ измѣненіе формы, вызванное ударомъ, проходитъ, такъ что тѣла принимаютъ первоначальную форму. Какъ Ренъ, такъ и Гюйгенсъ предполагаютъ при этомъ, что за тѣми давленіями, которыя тѣла производятъ другъ на друга въ короткій промежутокъ времени между первымъ соприкосновеніемъ и наибольшимъ сближеніемъ ихъ центровъ тяжести, слѣдуютъ совершенно соотвѣтствующія давленія, возникающія въ послѣдующій промежутокъ времени, когда тѣла другъ отъ друга удаляются; другими словами, то измѣненіе скорости, которое тѣла испытываютъ во время сдвиганія, возмѣщается въ тотъ промежутокъ времени, когда они вновь расширяются до первоначальнаго объема.

Рену принадлежитъ заслуга подтвержденія этого предположенія на опытахъ. Гюйгенсъ въ высшей степени гениальнымъ путемъ пришелъ къ тѣмъ же заключеніямъ, что и Ренъ. Сначала онъ дѣлаетъ нѣсколько простыхъ предположеній, а затѣмъ выводитъ изъ нихъ свои слѣдствія. Къ числу этихъ предположеній принадле-

¹⁾ Если взятыя массы суть M и m , скорости C и c , то скорость v послѣ удара опредѣляется уравненіемъ:

$$M \cdot C + m \cdot c = (M + m) v.$$

При взаимно противоположныхъ направленіяхъ движенія одна изъ скоростей считается отрицательной.

жить слѣдующее. Когда два упругихъ шара одинаковой величины сталкиваются съ одною и тою же скоростью, то они отскакиваютъ другъ отъ друга съ тою же скоростью, съ какой столкнулись. Во время сжатія обѣ скорости уничтожаются (§ 178, примѣръ), а во время расширенія каждый изъ шаровъ получаетъ такую же скорость въ обратномъ направленіи. Это приводитъ Гюйгенса къ предположенію, что всѣ движенія относительны, т. е. въ данномъ случаѣ, если опредѣлены относительныя движенія шаровъ, то безразлично, представлять ли себѣ все явленіе происходящимъ на неподвижномъ мѣстѣ или же на такомъ мѣстѣ, которое само находится въ движеніи (рис. 184). Если вышеупомянутый опытъ съ ударомъ двухъ равныхъ по вели-

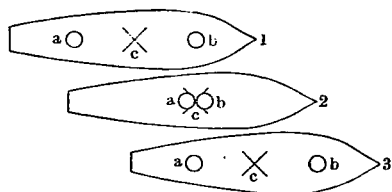
Рис. 184



Движеніе сталкивающихся шаровъ, какъ оно представляется съ лодки и съ земли (по Гюйгенсу).

чинѣ шаровъ производится въ лодкѣ, то можно различить три момента, изображенные на рис. 185: 1. *a* и *b* сближаются съ одинаковыми скоростями; 2. они сталкиваются въ серединѣ, въ точкѣ *c*; 3. они удаляются другъ отъ друга съ равными скоростями. Если лодка движется и притомъ съ тою же скоростью, что и шары, то человѣку, смотрящему съ земли, будетъ казаться, что до столкновешя (1 и 2) шаръ *b* находится какъ-бы въ покоѣ (потому что скорость *b* къ западу и скорость лодки къ востоку равны между собою), и что шаръ *a* обладаетъ вдвое бѣльшею скоростью, чѣмъ его дѣйствительная скорость. Послѣ же столкновешя наблюдателю будетъ казаться (2 и 3), что шаръ *a* находится въ покоѣ (теперь онъ столь же быстро движется на западъ, какъ лодка на востокъ), а шаръ *b* теперь имѣетъ двойную скорость. Такимъ способомъ Гюйгенсъ доказываетъ, что когда упругій шаръ *a* сталкивается съ такимъ же по величинѣ покоящимся шаромъ *b* (рис. 185, 1—2), то послѣдній (*b*) приходитъ въ движеніе со скоростью ударившаго по немъ шара, а первый (*a*) останавливается (рис. 185, 2—3).

Рис. 185



Ударъ равныхъ упругихъ шаровъ въ лодкѣ.

Подобнымъ же способомъ Гюйгенсъ разсуждалъ о столкновеніи шаровъ неравной величины, движущихся съ неравными скоростями. Здѣсь не мѣсто входить въ

Если лодка движется и притомъ съ тою же скоростью, что и шары, то человѣку, смотрящему съ земли, будетъ казаться, что до столкновешя (1 и 2) шаръ *b* находится какъ-бы въ покоѣ (потому что скорость *b* къ западу и скорость лодки къ востоку равны между собою), и что шаръ *a* обладаетъ вдвое бѣльшею скоростью, чѣмъ его дѣйствительная скорость. Послѣ же столкновешя наблюдателю будетъ казаться (2 и 3), что шаръ *a* находится въ покоѣ (теперь онъ столь же быстро движется на западъ, какъ лодка на востокъ), а шаръ *b* теперь имѣетъ двойную скорость. Такимъ способомъ Гюйгенсъ доказываетъ, что когда упругій шаръ *a* сталкивается съ такимъ же по величинѣ покоящимся шаромъ *b* (рис. 185, 1—2), то послѣдній (*b*) приходитъ въ движеніе со скоростью ударившаго по немъ шара, а первый (*a*) останавливается (рис. 185, 2—3).

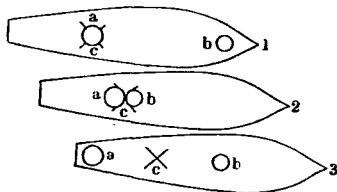
подробности этихъ вычислений; надо будетъ только указать на то, какимъ образомъ подобныя изслѣдовашя привели къ положеніямъ, играющимъ въ механикѣ чрезвычайно важную роль.

180. Въ лодкѣ, плывущей къ востоку (рис. 186, 1), лежитъ бѣльшій шаръ a на мѣстѣ, обозначенномъ крестикомъ c . Меньшій шаръ b катится съ восточнаго конца лодки, со скоростью 10 футовъ, по направлешию къ большому и сталкивается съ нимъ (рис. 186, 2). Большой шаръ приходитъ вслѣдствіе этого въ движеніе. Пусть онъ двигается со скоростью 6 футовъ по направлешию къ западу (рис. 186, 3). Допустимъ, далѣе, что лодка двигается къ востоку со скоростью 3 футовъ, т. е. со скоростью вдвое меньшей, чѣмъ шаръ a . Пока лодка переходила изъ положенія 1 въ

положеніе 2, покоящійся шаръ обладалъ абсолютной скоростью въ 3 фута по направлешию къ востоку (т. е. скоростью лодки). Когда лодка переходила изъ положенія 2 въ положеніе 3, тотъ же шаръ обладалъ абсолютной скоростью въ 3 фута по направлешию къ западу (именно, свою собственную скорость къ западу въ 6 футовъ за вычетомъ скорости лодки къ востоку въ 3 фута). Шаръ a имѣетъ, такимъ образомъ, до и послѣ удара одну и ту же скорость, но въ противоположныхъ направлешияхъ. Слѣдовательно, отъ удара другого шара онъ ни выигралъ, ни проигралъ силы (воспользуемся временно этимъ терминомъ), и потому скорость другого шара также могла измѣнить лишь свое направлешию, но не величину. До удара скорость шара b по направлешию къ западу равнялась 7 ($= 10 - 3$) футамъ, послѣ же удара онъ долженъ обладать скоростью въ 7 футовъ къ востоку. А такъ какъ лодка сама движется къ востоку со скоростью 3 футовъ, то внутри лодки шаръ будетъ двигаться со скоростью въ 4 ($= 7 - 3$) фута. До удара скорости шаровъ въ лодкѣ были 0 футовъ и 10 футовъ къ западу, послѣ удара — 6 футовъ къ западу и 4 къ востоку. До удара они, стало быть, сближались на 10 футовъ въ секунду, послѣ удара — удалялись другъ отъ друга на 10 футовъ въ секунду. Такимъ способомъ Гюйгенсъ доказалъ, что два неравныхъ шара съ неравными скоростями послѣ удара удаляются другъ отъ друга съ тою же скоростью, съ какою до удара сближались¹⁾.

То обстоятельство, что законы удара можно вывести такимъ простымъ способомъ, уже само по себѣ представляетъ интересъ. Но важнѣе всего то, что такимъ путемъ Гюйгенсъ дошелъ до разсужденій, которыя составятъ содержаніе слѣдующихъ параграфовъ.

Рис. 186



Ударъ неравныхъ шаровъ.

¹⁾ Скорость покоящагося шара по отношешию къ лодкѣ равна нулю, скорость движущагося — b . Послѣ удара первая скорость по отношешию къ лодкѣ равна — a . Пусть скорость лодки есть $a/2$. Абсолютная скорость перваго шара до удара $+ a/2$, послѣ удара — $a/2$. Абсолютная скорость дрѹгого шара до удара $a/2 - b$, послѣ удара $b - a/2$, слѣдовательно, скорость относительно лодки $b - a$. Разность между этой скоростью и скоростью перваго шара ($- a$) равна b , т. е. она осталась неизмѣнной.

Энергія

181. Еще изъ работъ Архимеда, въ особенности же изъ открытаго Стевиномомъ начала возможныхъ перемѣщешей (§ 134), вытекало, что произведеніе изъ вѣса тѣла на его высоту надъ опредѣленнымъ уровнемъ даетъ мѣру, въ футофунтахъ или килограмметрахъ, — того, что можетъ произвести тѣло, падая со своей высоты до этого уровня. Именно, оно можетъ сообщить другому тѣлу, — будетъ ли послѣднее велико или мало, — такое же число футофунтовъ. И то же самое число футофунтовъ необходимо и достаточно затратить для того, чтобы вновь поднять тѣло до прежняго уровня.

Итакъ, поднятое тѣло обладаетъ нѣкоторой способностью, которую уже не обладаетъ упавшее, именно, способностью сообщить другому тѣлу опредѣленное число футофунтовъ. Въ настоящее время эту способность называютъ энергіей, и такъ какъ извѣстно много родовъ энергіи, то эту форму энергіи, зависящую отъ высоты, на которой находится тѣло, называютъ энергіей положенія.

182. Изъ изслѣдоваши Галилея относительно паденія тѣлъ по наклонной плоскости вытекало, что при паденіи съ извѣстной высоты тѣло получаетъ опредѣленную скорость и притомъ независящую отъ того, падаетъ ли тѣло свободно, т. е. по отвѣсной линіи, или по какому-либо другому пути. Съ помощью законовъ паденія (§ 149) легко вычислить, какую скорость v имѣтъ падающее тѣло въ каждый данный моментъ, и какой путь s оно прошло. Получается слѣдующее:

Время паденія	Скорость	Высота паденія
t	$g \times t$	$\frac{1}{2} g \times t^2$
1 ^s	$32 \times 1 = 32$ фут.	$16 \times 1^2 = 16$ фут.
2 ^s	$32 \times 2 = 64$ „	$16 \times 2^2 = 64$ „
3 ^s	$32 \times 3 = 96$ „	$16 \times 3^2 = 144$ „
4 ^s	$32 \times 4 = 128$ „	$16 \times 4^2 = 256$ „
5 ^s	$32 \times 5 = 160$ „	$16 \times 5^2 = 400$ „
6 ^s	$32 \times 6 = 192$ „	$16 \times 6^2 = 576$ „
7 ^s	$32 \times 7 = 224$ „	$16 \times 7^2 = 784$ „

Отсюда видно, въ какомъ соотношеніи съ высотой паденія находится скорость; припомнимъ (§ 157), что тѣло, брошенное вверхъ съ такою же начальной скоростью, можетъ достигъ той же высоты. Тѣло, скорость котораго въ 2, 3, 4, 5 разъ больше, чѣмъ скорость другого, взлетитъ на высоту въ 4, 9, 16, 25 разъ большую, чѣмъ та, которой можетъ достигъ это другое тѣло¹⁾. А такъ какъ энергія положенія опредѣляется высотой, то тѣло благодаря своей скорости можетъ получить энергію положенія, пропорціональную второй степени скорости. Особеннаго интереса заслуживаетъ поэтому тотъ фактъ, что Гюйгенсъ спустя мѣсяць послѣ того, какъ онъ представилъ Королевскому Обществу свое сочиненіе объ ударѣ, былъ въ состояніи послать дополненіе, въ которомъ онъ приходилъ къ выводу, что при ударѣ упругихъ инаровъ остается неизмѣннымъ еще и нѣчто другое, кромѣ ихъ относительныхъ скоростей. Именно, если вычислить для каждаго изъ двухъ тѣлъ произведеніе

¹⁾ По § 149 $s = \frac{v^2}{2g}$.

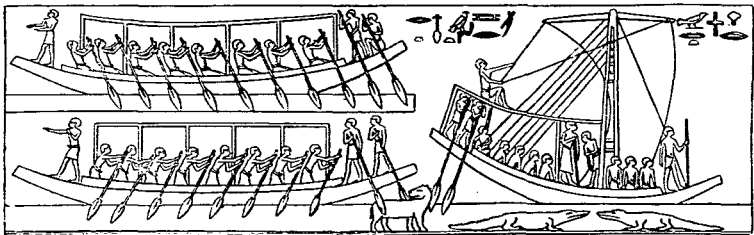
изъ вѣса (массы) на квадратъ скорости и найти сумму этихъ произведеній, то окажется, что эта сумма до и послѣ удара одна и та же¹⁾. То, что можно было бы назвать энергіей скорости (энергіей движенія), не измѣняется при упругомъ ударѣ.

Это обстоятельство заставляетъ обратить особое вниманіе на то, что энергія тѣла (энергія положенія или энергія движенія) есть нѣчто, остающееся при извѣстныхъ обстоятельствахъ неизмѣннымъ. Впрочемъ, въ то время еще не замѣтили, что это нѣчто остается неизмѣннымъ при всѣхъ обстоятельствахъ, напримѣръ, и при неупругомъ ударѣ, при которомъ энергія движенія можетъ совершенно уничтожиться (§ 178, примѣръ), причѣмъ на ея мѣсто не появляется энергія положенія. Впослѣдствіи мы увидимъ, что причиною этому служитъ лишь то, что возникаютъ другія формы энергіи, которыя въ то время еще не были извѣстны; мы увидимъ, что сохраненіе энергіи представляетъ собою общій законъ и притомъ, можетъ быть, наиболѣе всеобъемлющій законъ природы изъ всѣхъ извѣстныхъ намъ въ настоящее время. И Гюйгенсу принадлежитъ честь внести существенный вкладъ въ обосновавіе этого закона.

Жидкости

183. Законы равновѣсія жидкостей не были въ точности извѣстны культурнымъ народамъ древности, тѣмъ не менѣе они умѣли использовать нѣкоторыя изъ важнѣйшихъ свойствъ воды. Уже въ глубокой древности прибрежные жители пользовались водою, какъ путемъ сообщенія; судостроительство и мореходство было развито задолго до нашей эры. Объ искусствѣ древнихъ мореплавателей можно судить по тому факту, что за 600 лѣтъ до Р. Х., по повелѣнію египетскаго царя Нехо, финикияне совершили плаваніе вокругъ Африки (рис. 187). Наряду съ этимъ уже тогда умѣли рыть каналы, строить порты и другія водяныя сооруженія. Какъ на примѣръ, слѣдуетъ

Рис. 187

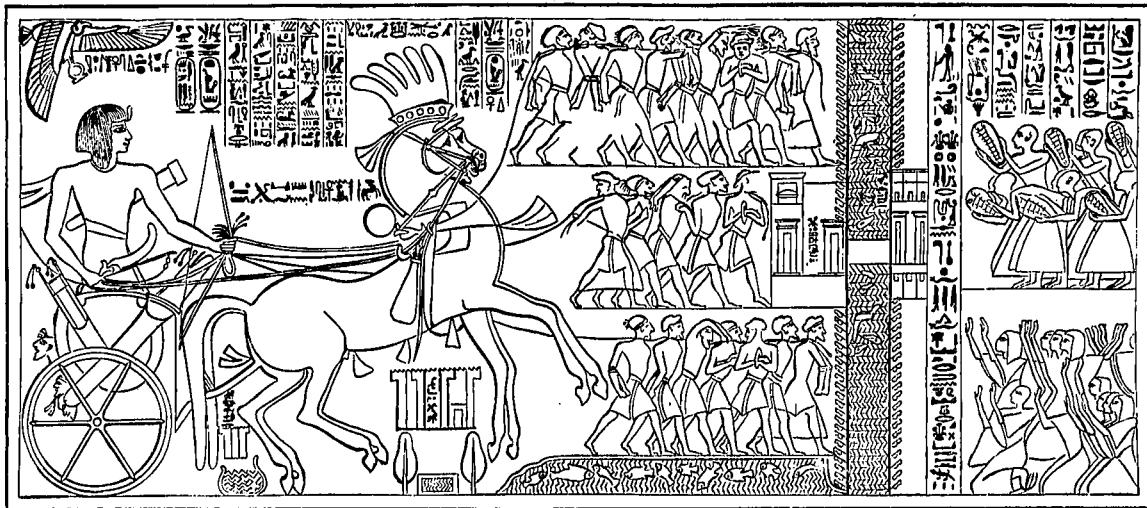


Плаваніе по Нилу. По изображенію на древнеегипетскихъ гробницахъ близъ гор. Саккара.

указать на древній Суэцкій каналъ, который былъ прорытъ при царѣ Сетосѣ (по Геродоту Сезострисъ, — ум. въ 1388 г. до Р. Х.). На внѣшней стѣнѣ храма въ Карнакѣ сохранилось изображеніе торжественной встрѣчи, устроенной египтянами полководцу, побѣдоносно возвращающемуся изъ Сиріи. Встрѣча происходитъ вблизи за-

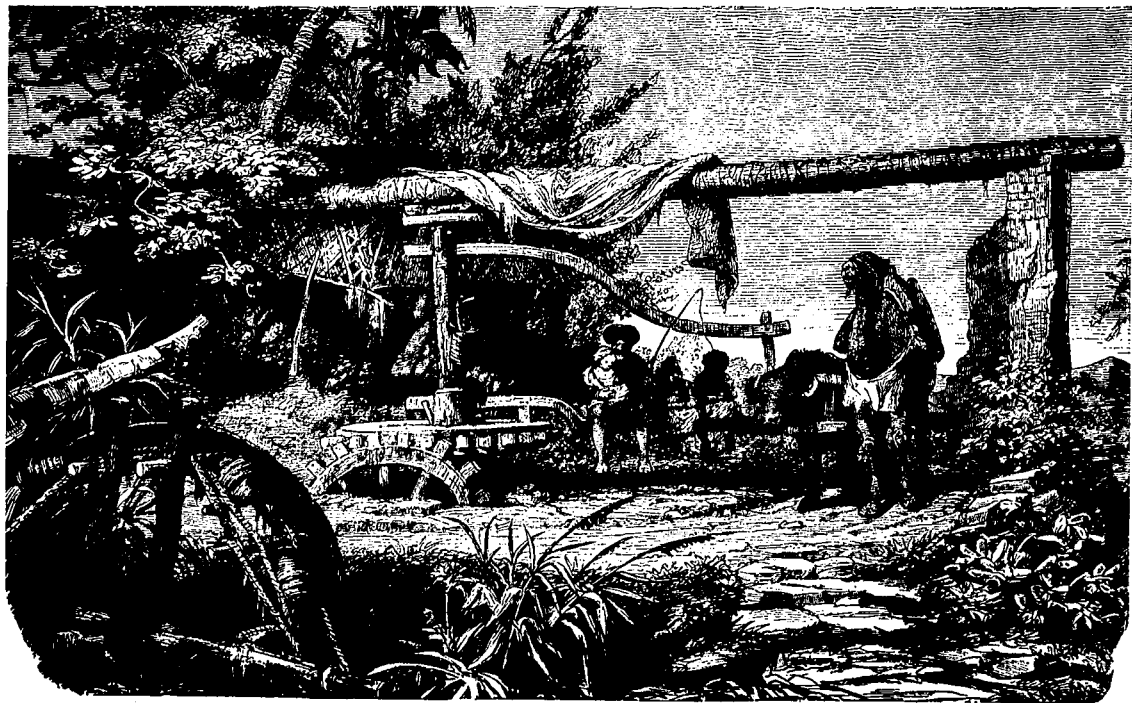
¹⁾ Если массы суть A и B , скорости до удара v и v_1 , послѣ удара c и c_1 , то $Av^2 + Bv_1^2 = Ac^2 + Bc_1^2$.

Рис. 188



Суецкій каналъ царя Сетоса I.

Рис. 189



Водочерпалка въ Египтѣ.

щищенного башнями моста черезъ этотъ каналъ, названный въ надписи „прорѣзомъ“ и обозначенный волнами и рыбами (рис. 188).

Далѣ, у многихъ древнихъ народовъ, жившихъ по берегамъ большихъ рѣкъ, было въ ходу искусственное орошеніе почвы при помощи каналовъ и шлюзовъ. Египтяне, какъ передаютъ греческіе писатели, умѣли также строить водочерпательныя машины и такія же приспособленія были, повидимому, распространены также въ значительной части Азіи. Позднѣе онѣ были перенесены въ Испашю маврами. Водочерпательная машина — водочерпалка — состоитъ изъ колеса съ прикрѣпленными къ его ободу ведрами; при вращеніи колеса ведра въ низшемъ своемъ положеніи наполняются водою, а въ наивысшемъ — опорожняются въ жолобъ. На рис. 189 на переднемъ планѣ слѣва показана такая водочерпалка, встрѣчающаяся въ Египтѣ еще и теперь. Нужно полагать, что древнія водочерпалки мало отличались отъ этихъ. Можно только замѣтить, что время изобрѣтенія зубчатого колеса неизвѣстно въ точности. Впрочемъ, первыя зубчатыя колеса, о которыхъ до насъ дошли достовѣрныя свѣдѣнія, были найдены также въ Египтѣ, а именно, они напли примѣнеше въ водяныхъ часахъ, устроенныхъ Ктезибіемъ въ Александріи въ срединѣ II в. до Р. X.

Наконецъ, водяные часы сами по себѣ свидѣтельствуютъ о томъ, что тогда умѣли уже пользоваться равномернымъ истечешемъ воды. Правда, относительно указанного свойства жидкости не было произведено ни изслѣдованій, ни вычисленій, которыя привели бы къ важнымъ выводамъ. То же самое приходится сказать и о другихъ указанныхъ свойствахъ воды, нашедшихъ уже тогда разнообразныя примѣненія. Можно вообще сказать, что вода, играющая такую важную роль въ очень многихъ явленіяхъ природы, обладаетъ извѣстными свойствами, которыя служили въ ту эпоху дѣтства человѣчества развитію сношеній и культуры, но познакомиться съ которыми можно было и безъ научныхъ изслѣдованій.

И въ этой области Архимедъ (§ 116 и слѣд.) первый установилъ общіе принципы, изъ которыхъ получилось много выводовъ, очень далекихъ отъ того, что первоначально имѣлось въ виду.

184. Витрувій, писавшій о строительномъ искусствѣ въ 13 году до Р. X., сообщая о нѣкоторыхъ трудахъ Архимеда, рассказываетъ слѣдующее: „Гіеронъ, достигши царской власти, пожелалъ, въ ознаменованіе своихъ успѣховъ, принести въ даръ одному святилищу золотой вѣнокъ. Изготовленіе вѣнка было поручено мастеру, которому для этой цѣли было отпущено опредѣленное количество золота. Къ назначенному сроку мастеръ принесъ царю прекрасно сработанный вѣнокъ, вѣсъ котораго вполнѣ соответствовалъ вѣсу выданнаго золота. Спустя нѣкоторое время царю донесли, что на вѣнокъ употреблена лишь часть выданнаго золота, остальная же часть похищена и замѣнена серебромъ равнаго вѣса. Царь, разгнѣванный мыслью объ обманѣ и не зная, какимъ путемъ обнаружить утайку золота, поручилъ Архимеду провѣрить доносъ и найти улики. Погруженный въ размышленія объ этомъ дѣлѣ, Архимедъ однажды отправился принять ванну. Опускаясь въ воду, онъ замѣтилъ, что изъ ванны выливалось тѣмъ больше воды, чѣмъ больше онъ погружался въ нее. Сообразивъ истинную причину этого явленія, Архимедъ въ сильномъ возбужденіи быстро выскочилъ изъ ванны и нагишомъ побѣжалъ домой, восклицая:

„εὑρηκα, εὑρηκα“ (нашелъ, нашелъ!). Позднѣе къ этому восклицанію прибѣгли несчетное число разъ и при гораздо менѣе важныхъ открытіяхъ.

Какъ для царя, такъ и для Архимеда затрудненіе заключалось собственно въ слѣдующемъ. Они, разумѣется, знали, что золото очень тяжеловѣсно; вѣроятно, они знали также, что оно примѣрно разъ въ 20 тяжелѣе равнаго объема воды. Въ слиткѣ, который былъ выданъ мастеру, нетрудно было, конечно, опредѣлить и вѣсъ и, пожалуй, объемъ. Но какъ найти объемъ вѣнка, состоящаго изъ тонкихъ изогнутыхъ листочковъ? Это-то именно и сообразилъ Архимедъ, погружаясь въ ванну. Наполнивъ сосудъ водою, пока она не стала вытекать изъ продѣланнаго сбоку отверстія, Архимедъ погрузилъ туда вѣнокъ и собралъ вытекшую изъ отверстія воду. Объемъ этой воды равнялся, разумѣется, объему вѣнка. Еслибъ послѣдній былъ сдѣланъ изъ чистаго золота, то вѣсъ вытекшей воды равнялся бы $\frac{1}{20}$ вѣса вѣнка. Оказалось, однако, что вытѣсненная вода вѣсила больше, такъ что вѣсъ вѣнка былъ не въ 20 разъ больше вѣса этой воды. Слѣдовательно, вѣнокъ былъ сдѣланъ не изъ чистаго золота.

Для простоты положимъ, что вѣнокъ вѣсилъ 20 фунтовъ и что онъ вытѣснилъ не 1 ф. воды, а $1\frac{1}{4}$ ф. Принявъ, что серебро въ 10 разъ тяжелѣе вытѣсняемой имъ воды, Архимеду не трудно было вычислить, что въ вѣнкѣ было 5 ф. серебра. Дѣйствительно. 5 ф. серебра вытѣсняютъ $\frac{1}{10} \times 5$ ф. = $\frac{1}{2}$ ф. воды; въ то же время 15 ф. золота вытѣсняютъ $\frac{1}{20} \times 15$ ф. = $\frac{3}{4}$ ф. воды; такимъ образомъ, золото и серебро вмѣстѣ вытѣсняютъ $1\frac{1}{4}$ ф. воды¹⁾.

185. Изложенный случай побудилъ Архимеда заняться изслѣдовашемъ вопросомъ о плаваніи тѣлъ. Онъ написалъ объ этомъ предметѣ превосходное сочиненіе, сохранившаяся часть котораго свидѣтельствуетъ о томъ, что и въ этой области онъ разрѣшалъ самые трудные вопросы со свойственной ему увѣренностью.

Онъ начинаетъ съ разсмотрѣнія условій равновѣсія жидкости. Если жидкость находится въ равновѣсіи, то любая ея частица должна испытывать одинаковое давленіе со всѣхъ сторонъ. Въ самомъ дѣлѣ, еслибы давленіе на одну какую-либо сторону ея было больше, чѣмъ на другую, то частица должна была бы придти въ движеніе, такъ какъ окружающія ея частицы не оказываютъ сопротивленія ея перемѣщенію. Архимедъ далѣе доказываетъ, что, еслибы наша земля состояла изъ воды, то она имѣла бы шаровидную поверхность. Дѣйствительно, если вообразить себѣ, что этотъ водяной шаръ составленъ изъ одинаковыхъ пирамидъ, вершины которыхъ сходятся въ центрѣ, а основанія лежатъ на поверхности шара, то всѣ онѣ будутъ устремляться къ центру и смогутъ уравновѣсить другъ друга только въ томъ случаѣ, если ихъ высоты будутъ одинаковы; отсюда слѣдуетъ, что поверхность должна быть шаровой (рис. 190). Вслѣдствіе же того, что этотъ шаръ весьма великъ, небольшая часть его поверхности по виду почти не будетъ отличаться отъ плоскости (напримѣръ, поверхность воды въ озерѣ, въ прудѣ или въ сосудѣ, ср. § 24).

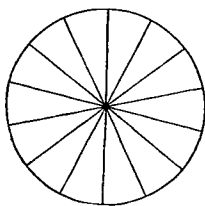
¹⁾ Если въ вѣнкѣ было x ф. серебра, то золота въ немъ заключалось $20 - x$ ф. Фунтъ серебра вытѣсняетъ $\frac{1}{10}$ ф. воды, x ф. серебра вытѣснятъ $\frac{x}{10}$ ф. воды. Такимъ же образомъ найдемъ, что $20 - x$ ф. золота вытѣснятъ $\frac{20 - x}{20}$ ф. воды. Все же количество вытѣсненной воды равно $1\frac{1}{4}$ ф. Такимъ образомъ мы получаемъ уравненіе: $\frac{x}{10} + \frac{20 - x}{20} = 1\frac{1}{4}$, откуда $x = 5$.

186. Если опустить въ воду тѣло, имѣющее точно такой же вѣсъ, какой имѣетъ равный ему объемъ воды, то оно совершенно погрузится въ нее (рис. 191, а), такъ какъ, имѣя вѣсъ вытѣсненной воды, оно оказываетъ своимъ вѣсомъ точно такое же давленіе на воду, какое оказываетъ и сама вода, мѣсто которой оно заняло.

Если же тѣло легче воды (рис. 191, b), то оно погружается въ воду не цѣликомъ; а лишь нѣкоторой частью — такою именно, что вытѣсненная ею вода имѣетъ вѣсъ, равный вѣсу всего тѣла.

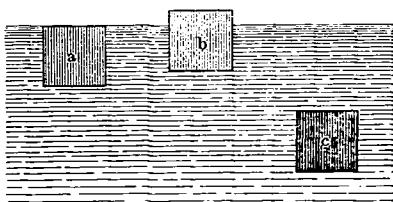
Если, наконецъ, тѣло тяжелѣе равнаго объема воды (рис. 191, c), то оно погружается совершенно и опускается, сколько возможно. При этомъ оно теряетъ лишь часть своего вѣса, между тѣмъ какъ тѣла *a* и *b* теряютъ весь свой вѣсъ.

Рис. 190



Равновѣсіе въ водяномъ шарѣ.

Рис. 191



Уменьшеніе вѣса тѣлъ въ водѣ

Такимъ образомъ, во всѣхъ трехъ случаяхъ имѣетъ мѣсто слѣдующее положеніе: при погруженіи въ воду тѣло теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненная имъ вода. Въ самомъ дѣлѣ, остальная вода поддерживала бы эту именно, вытѣсненную тѣломъ, массу воды, т. е. давила бы на нее снизу вверхъ, а отъ давленія снизу вверхъ на тѣло, замѣстившее воду, получится такой же результатъ, какъ будто тѣло соответственно потеряло въ своемъ вѣсѣ. Это важное положеніе и носить названіе закона Архимеда.

Примѣръ 1. Сколько литровъ воды вытѣсняетъ деревянный брусокъ вѣсомъ въ 60 кг, плавающий въ водѣ?

Примѣръ 2. Объемъ камня равенъ $\frac{1}{4}$ кубм. Определить, на сколько уменьшится вѣсъ, если опустить его въ воду?

Примѣръ 3. Яйцо нѣсколько тяжелѣе прѣсной воды, но легче соленой. Что съ нимъ произойдетъ при погруженіи въ прѣсную воду и при погруженіи въ соленую?

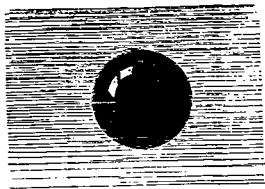
187. Въ указанномъ сочиненіи Архимедъ, такимъ образомъ, точно выяснилъ основное положеніе относительно равновѣсія жидкостей и самъ же воспользовался имъ для вывода условій равновѣсія плавающихъ тѣлъ и для установленія закона, носящаго его имя. Однако, сочиненіе его, хотя и не осталось незамѣченнымъ, не было понято, такъ что открытыя имъ законы пришлось открывать вторично. Это было сдѣлано въ концѣ XVI столѣтія Стевиномъ (§ 132), который гениально обосновалъ гидростатику, т. е. науку о равновѣсіи и давленіи воды. Сочиненіе его объ этомъ предметѣ появилось въ 1585 г. на голландскомъ языкѣ.

Прежде всего онъ устанавливаетъ слѣдующее: любая частица неподвижной массы воды должна находиться въ равновѣсіи въ любомъ мѣстѣ этой массы; въ противномъ случаѣ эта частица пришла бы въ движеніе и ея мѣсто заняла бы другая частица, которая, такимъ образомъ, также вышла бы изъ состоянія равновѣсія; мѣсто этой частицы заняла бы тогда въ свою очередь новая и т. д. до безконечности; вся масса воды находилась бы, слѣдовательно, въ состояніи непрерывнаго движенія, т. е. получилось бы *perpetuum mobile*, что представляетъ нелѣпость. Эта часть разсужденія напоминаетъ, очевидно, цѣль Стевина на треугольникъ (см. § 136). Отсюда вытекаетъ, что всякая частица спокойной жидкости поддерживается остальной водой. Но для этого должна существовать сила, дѣйствующая снизу вверхъ и уравновѣшивающая вѣсъ частицы. Если мы теперь вообразимъ, что рассматриваемая частица воды отвердѣла или закрѣплена неподвижно, то окружающая жидкость будетъ попрежнему давить на нее, при чемъ и давленіе снизу вверхъ останется прежнее. Если бы, наконецъ, вещество, составляющее отвердѣвшую частицу, стало тяжелѣе или легче, то и тогда давленіе снизу вверхъ, оказываемое на нее окружающей жидкостью, не измѣнилось бы.

Замѣчательно, какъ далеко можно пойти съ этими простыми и безспорными основными положеніями. Въ самомъ дѣлѣ, ихъ достаточно для развитія всей гидростатики.

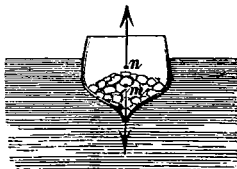
188. Положимъ, что частица воды находится въ окружающей водѣ въ равновѣсіи (рис. 192). Въ такомъ случаѣ должна существовать сила, давящая на нее снизу вверхъ, т. е. поддерживающая ее, и равная ея вѣсу. То же самое имѣло бы мѣсто и въ томъ случаѣ, еслибы оболочка этой частицы отвердѣла, а заключенная въ ней вода была бы замѣнена ртутью, оловомъ, камнемъ, свинцомъ или другимъ веществомъ;

Рис. 192



Давленіе жидкости на тѣло снизу вверхъ.

Рис. 193



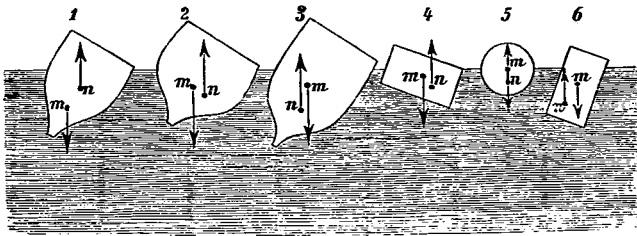
Плавающее тѣло (поперечный разрѣзъ судна).

во всѣхъ этихъ случаяхъ давленіе снизу вверхъ со стороны окружающей жидкости остается то же самое. Подъ дѣйствіемъ своего вѣса эта оболочка съ содержащимся въ ней веществомъ будетъ стремиться падать внизъ, между тѣмъ какъ сила, равная вѣсу вытѣсняемой ею воды, будетъ оказывать на нее давленіе снизу вверхъ (законъ Архимеда), — и это тѣло либо будетъ плавать на поверхности, либо останется внутри жидкости въ равновѣсіи, либо, наконецъ, опустится на дно, соответственно тому, будетъ ли его вѣсъ меньше вѣса такого же объема воды, равенъ этому вѣсу или больше его.

189. Положеніе о плавающихъ тѣлахъ, изложенное въ предыдущемъ §, было

высказано уже Аристотелемъ; Стевинъ къ этому прибавилъ еще слѣдующее. Пусть m центръ тяжести плавающего тѣла (рис. 193). Подъ дѣйствіемъ тяжести оно стремится внизъ по отвѣсу. Въ свою очередь вытѣсненная вода тоже должна имѣть свой центръ тяжести n , который является точкой приложешя силы давленія окружающей воды, „центромъ давленія“. Если эти двѣ силы, приложенныя въ точкахъ m и n , равны, то плавающее тѣло будетъ въ равновѣсіи лишь въ томъ случаѣ, когда эти точки будутъ находиться на одной вертикальной линіи. Относительно же различныхъ видовъ равновѣсія (§ 128) Стевинъ указываетъ, что устойчивое равновѣсіе возможно лишь при условіи, когда центръ тяжести тѣла находится ниже центра давленія (центра тяжести вытѣсненной воды). Рис. 194, 1 показываетъ, что въ этомъ случаѣ тѣло дѣйствительно будетъ въ устойчивомъ равновѣсіи: силы, приложенныя въ точкахъ m и n , заставляютъ наклонившееся тѣло вернуться въ положеніе равновѣсія.

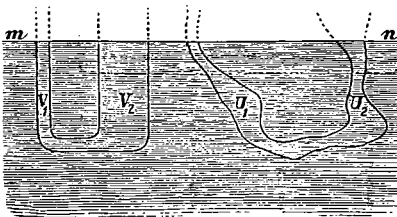
Рис. 194



Плавающія тѣла въ устойчивомъ (1, 2, 4), въ неустойчивомъ (3, 6) и въ безразличномъ (5) равновѣсіи.

Впрочемъ, для устойчивости равновѣсія это условіе можетъ и не быть выполнено съ самаго начала. Въ самомъ дѣлѣ, если даже плавающее тѣло вышло изъ положенія равновѣсія, его центръ тяжести сохраняетъ свое мѣсто въ тѣлѣ. Вытѣсненная же вода, напротивъ, имѣетъ при этомъ уже другую форму и ея центръ тяжести (центръ давленія) вслѣдствіе этого перемѣщается. А при этомъ можетъ случиться одно

Рис 195



Законъ сообщающихся сосудовъ (Стевинъ).

изъ двухъ: либо сила, приложенная въ точкѣ n и направленная вертикально вверхъ, совместно съ силой тяжести тѣла, приложенной въ точкѣ m , возвращаютъ тѣло въ положеніе равновѣсія (рис. 194, 2 и 4), либо же, наоборотъ, еще больше удаляютъ его отъ этого положенія (рис. 194, 3 и 6). Въ случаѣ шара точки m и n всегда находятся на одной вертикальной линіи и шаръ, такимъ образомъ, всегда сохраняетъ безразличное равновѣсіе.

190 Далѣе Стевинъ разсуждаетъ слѣдующимъ образомъ. Выдѣлимъ мысленно въ водѣ съ уровнемъ mn (рис. 195) ограниченный объемъ V_1 , V_2 и предположимъ сначала, что его поверхность не мѣшаетъ частицамъ воды свободно передвигаться. Ни

одна часть этой массы воды при этих условиях не обнаружит стремления перемѣщаться. Дѣло не измѣнилось бы и въ томъ случаѣ, еслибы поверхность выдѣленной массы воды сразу отвердѣла. Еслибы это случилось, то можно было бы, понятно, удалить воду, находящуюся внѣ нашей ограничивающей поверхности, нисколько не нарушая равновѣсія частицъ, заключающихся внутри ея. Мы имѣемъ тогда сообщающіеся сосуды; въ такихъ сосудахъ вода стоитъ на одинаковой высотѣ, т. е. уровень ея находится въ одной и той же горизонтальной плоскости. То, что сказано относительно $V_1 V_2$, можно буквально повторить относительно $U_1 U_2$; другими словами,

Рис. 196



Артезианскій колодезь.

законъ сообщающихся сосудовъ приложимъ къ сосудамъ любой формы. Этотъ фактъ былъ уже небезызвѣстенъ во времена Стевина. У Архимеда мы находимъ даже объясненіе этого явленія. Однако, слѣдуетъ отмѣтить оригинальное объясненіе Стевина.

На принципѣ сообщающихся сосудовъ основано устройство артезианскихъ колодезевъ. Если слой песку ограниченъ сверху и снизу слоемъ глины, извести или другой непроницаемой для воды породы (рис. 196), то черезъ буровую скважину вода можетъ подыматься до поверхности земли или даже выше.

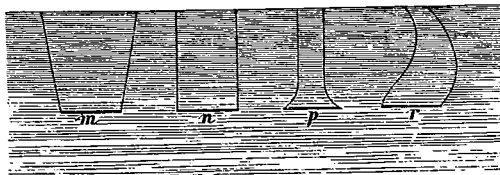
191. Аналогичнымъ образомъ Стевинъ объяснялъ давленіе воды на поверхность тѣлъ, погруженныхъ въ воду. Онъ начинаетъ съ указанія, что горизонтальная пластинка ab , помѣщенная въ водѣ (рис. 197), должна испытывать давленіе, равное

Рис. 197



Давленіе на пластинку въ водѣ.

Рис. 198

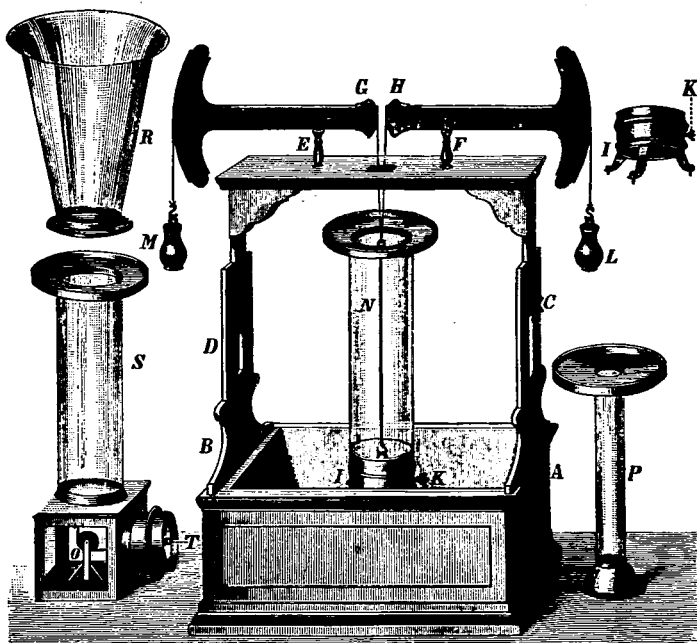


Гидростатическій парадоксъ (Стевинъ).

вѣсу водяного столба $abcd$, основаніе котораго есть ab , а высота ad . Въ самомъ дѣлѣ, если представить себѣ, что пластинка ab служитъ дномъ большого сосуда, то она должна выдерживать давленіе массы воды, находящейся въ сосудѣ, и каждая часть дна должна, разумѣется, выдерживать соотвѣтствующую часть этого давленія. Если вообразить себѣ одинаковыя горизонтальныя площади (рис. 198) m, n, p, r , расположенныя на одной и той же глубинѣ, то давленіе на всѣ эти площади должно

быть одинаково и должно равняться вѣсу водяного столба, находящагося надъ каждой площадью. Вообразимъ себѣ теперь нѣсколько поверхностей различной формы (см. рис.), не препятствующихъ перемѣщенію частицъ воды. Частицы и теперь будутъ занимать такое же расположеніе и будутъ производить то же давленіе. Если бы эти поверхности внезапно отвердѣли, не измѣняя своего положенія, то относительно воды все осталось бы попрежнему. Если, наконецъ, удалить воду, находящуюся внѣ сосудовъ, то останутся сосуды, наполненные до одной и той же высоты, но имѣющие различныя формы. Во всѣхъ этихъ сосудахъ дно испытываетъ одно и то же давленіе. Такимъ образомъ, оказывается, что давленіе на дно сосуда, наполненнаго водой, зависитъ не отъ формы сосуда и не отъ количества содержащейся въ немъ воды, а лишь отъ площади дна и отъ высоты воды въ сосудѣ. Это давленіе равно вѣсу водяного столба, имѣющаго основаніемъ дно сосуда,

Рис. 199



Такъ называемый сосудъ Паскаля, построенный Стевиномъ.

а высотой — высоту жидкости въ сосудѣ. Это положеніе получило названіе „гидростатическаго парадокса“ ввиду того, что дно сосуда можетъ испытывать небольшое давленіе при больномъ количествѣ воды и, наоборотъ, значительное давленіе при маломъ количествѣ воды.

192. Чтобы провѣрить на опытѣ справедливость этого положенія, Стевинъ построилъ приборъ, изображенный на рис. 199. Надъ сосудомъ *AB* находится переключатель, которую можно подымать и опускать, а также закрѣплять неподвижно при

помощи винтовъ *C* и *D*. На подставкахъ *E* и *F* расположено по рычагу, къ вѣшнымъ дугообразнымъ концамъ которыхъ можно привѣшивать произвольные грузы. Внутренніе концы рычаговъ соединены со стержнемъ *N* при помощи шурка.

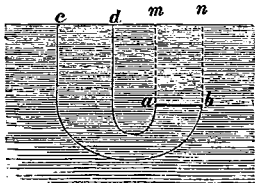
На днѣ сосуда помѣщается на треножникѣ низій цилиндръ *IK*, внутри котораго движется плотно пригнанный поршень, скрѣпленный со стержнемъ *N*. На цилиндръ *IK* можно навинчивать различныя трубки, образующія вмѣстѣ съ нимъ сосудъ, въ который наливается вода. На рисункѣ показанъ тотъ случай, когда на *IK* навинчена цилиндрическая трубка. Замѣняя ее трубкой *P*, получимъ сосудъ съ тѣмъ же основаніемъ, но съ болѣе узкой верхней частью. Если же навинтить трубку *R*, то полученный сосудъ будетъ сверху значительно шире, чѣмъ первый.

Опыты съ этими сосудами и показываютъ, что вода, уравнивающая грузы *L* и *M*, во всѣхъ трехъ случаяхъ имѣетъ одну и ту же высоту; количество же воды въ каждомъ изъ этихъ случаевъ совершенно различное. Приборъ этотъ обыкновенно носитъ названіе прибора Паскаля, такъ какъ Паскаль построилъ и описалъ сходный приборъ, не будучи знакомъ съ работой Стевина.

193. Стевинъ показалъ далѣе, что давленіе на малую поверхность внутри воды всегда остается одинаковымъ, независимо отъ ея положенія. Дѣйствительно, частица воды должна испытывать одинаковое давленіе со всѣхъ сторонъ, если только мы представляемъ ее себѣ столь малой, что можемъ пренебречь ея собственнымъ вѣсомъ. Если она находится, напримѣръ, на ребрѣ боковой стѣнки и дна сосуда, то она должна давить съ одинаковой силой какъ на стѣнку, такъ и на дно. Это можетъ быть доказано при помощи прибора *S* (рис. 199), которымъ для этой цѣли слѣдуетъ замѣнить сосудъ *IKN*. Прискрѣпленный однимъ концомъ къ рычагамъ *G* и *H* шнурокъ (при помощи блока *O* шнурку даютъ горизонтальное положеніе) другимъ своимъ концомъ привязанъ къ поршню, который движется внутри цилиндра одинаковаго діаметра съ *IK*; поверхность этого поршня отвѣсна. При этомъ оказывается, что давленіе на стѣнку равно давленію на дно, если уровень воды въ сосудѣ теперь настолько выше середины поршня *T*, насколько прежде, когда поверхность дна *IK* была горизонтальна, онъ былъ выше этой поверхности.

194. При помощи разсужденія, которымъ такъ часто пользуется Стевинъ, не трудно также доказать, что вода оказываетъ давленіе и снизу вверхъ. Площадь *ab* (рис. 200) испытываетъ сверху давленіе, равное вѣсу водяного столба *abmn*. Но съ другой стороны, эта поверхность должна испытывать такое же давленіе и снизу, иначе она пришла бы въ движеніе. Выдѣлимъ мысленно объемъ воды *abcd* и представимъ себѣ, что ограничивающая его поверхность не препятствуетъ перемѣщенію воды и затѣмъ отвердѣваетъ. Представимъ себѣ, наконецъ, что осталая вода удалена. Тогда площадь *ab* будетъ испытывать давленіе снизу вверхъ, величина котораго опредѣлится размѣрами площади и ея разстояніемъ отъ уровня *mn* или *cd*.

Рис. 200



Объясненіе давленія снизу вверхъ по Стевину.

Для нагляднаго поясненія этого положенія Стевинъ придумалъ и приборъ, который иногда неправильно называютъ клапаномъ Бойля (рис. 201). Стеклаянная

трубка, нижній конецъ которой гладко отшлифованъ, закрывается металлической пластинкой и опускается въ воду. Металлическая пластинка поддерживается давлениемъ воды. Если теперь осторожно сыпать на эту пластинку дробь до тѣхъ поръ, пока пластинка не отпадетъ, то окажется, что это произойдетъ въ тотъ моментъ, когда общій вѣсъ дробы и пластинки станетъ равнымъ вѣсу количества воды, нужнаго для наполненія трубки до уровня воды въ сосудѣ. На рисункѣ показана нить, при помощи которой придерживаютъ пластинку, пока трубка не погрузится на столько, что пластинка будетъ поддерживаться уже давлениемъ воды.

195. Эти работы Стевина вдохнули новую жизнь въ гидростатику, которая со времени Архимеда не сдѣлала никакихъ успѣховъ. Этотъ знаменитый голландецъ, смотритель водяныхъ сооружений, сумѣлъ изъ данныхъ основныхъ положеній вывести дальнѣйшія слѣдствія, имѣвшія огромное значеніе въ практикѣ водяныхъ сооружений.

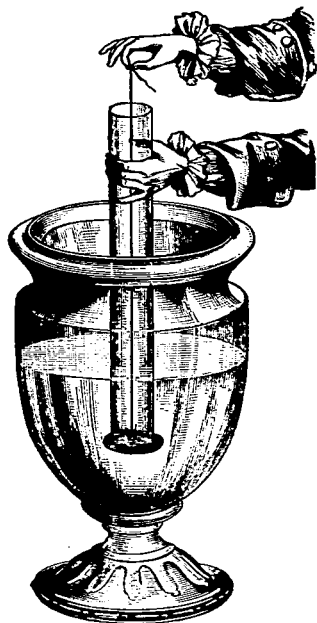
196. При помощи незначительнаго количества воды, помѣщенной въ длинной узкой трубкѣ, можно получить огромное давленіе. Вставивъ въ верхнее дно боченка достаточно длинную трубку и наполнивъ боченокъ и трубку водой, можно разорвать боченокъ давлениемъ воды. Каждый квадратный сантиметръ стѣнки и верхняго дна боченка испытываетъ давленіе, приблизительно равное давленію на квадратный сантиметръ нижняго дна при условіи, что длина трубки весьма значительна въ сравненіи съ высотой боченка.

На рис. 202 изображенъ кожаный мѣшокъ, наполненный водой. Мѣшокъ снабженъ узкой трубкой, направленной вверхъ; поверхъ мѣшка лежитъ деревянная доска, на которой стоитъ человекъ; тяжестью своего тѣла онъ заставляетъ воду подыматься въ трубкѣ; вода подымается, однако, совсѣмъ невысоко. Если, напримѣръ, поверхность соприкасанія между доской и мѣшкомъ равна 10 квдм, а вѣсъ человека 75 кг, то вода въ трубкѣ поднимется только на высоту 7.5 дм, такъ какъ $10 \times 7.5 = 75$ кубдм воды вѣсятъ 75 кг. Человекъ, стоящій на мѣшкѣ, въ состояніи самъ поднять себя, вдвывая воздухъ въ трубку.

197. Давленіе воды на вертикальную поверхность, напримѣръ, на шлюзъ Стевинъ объяснялъ слѣдующимъ образомъ.

Боковое давленіе на малую поверхность a_1 (рис. 203) равно давленію слоя воды съ основаніемъ a_1 и высотой, равной разстоянію этого слоя отъ поверхности воды $MP = MN$. Поверхность a_1 испытываетъ, слѣдовательно, такое же давленіе, какъ еслибы слой воды $a_1 b_1$ давилъ наружу (по направленію стрѣлки) съ

Рис. 201



Такъ называемый клапанъ Бойля, изобрѣтенный Стевиномъ

силой, равной вѣсу этого слоя воды. Точно также давленіе на a_2 равно вѣсу водяного слоя $a_2 b_2$ и т. д. Общее давленіе на поверхность $MNSR$ равно, такимъ образомъ, вѣсу водяной призмы $PMNSRO$.

Центръ тяжести этой призмы находится, конечно, въ плоскости UVY , которая проходитъ черезъ середины реберъ OP , RM и SN . Вѣсъ призмы можно себѣ представить равномерно распределеннымъ по треугольнику UVY или же сосредоточеннымъ въ центрѣ тяжести этого треугольника. Разстояніе центра тяжести T отъ VY равно трети YU (§ 123). Если же опустить перпендикуляръ изъ центра тяжести T

Рис. 202

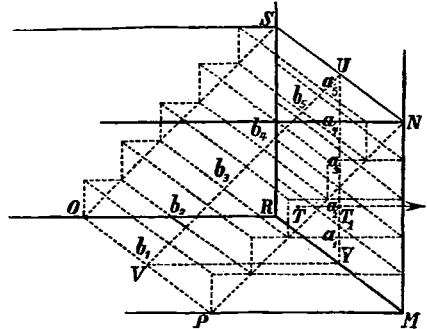


Небольшой столбъ воды уравниваетъ вѣсъ чловѣка.

Примѣръ. Шлюзъ погруженъ въ воду на 2 м и имѣетъ 1·2 м ширины. Внизу и на высотѣ уровня воды онъ поддерживается двумя горизонтальными балками. Какъ велико давленіе на каждую балку?

198. Галилей независимо отъ Стевина, съ работами котораго онъ не былъ знакомъ, открылъ законы гидростатики, аналогичные тѣмъ, какіе нашли Архимедъ и Стевинъ. При этомъ онъ исходилъ изъ допущенія, что жидкость состоитъ изъ маленькихъ шариковъ, которые, подобно частицамъ твердаго тѣла, подчиняются силѣ тяжести, но обладаютъ большою подвижностью, такъ что поддаются малѣйшему давленію. Обративъ особенное вниманіе на это свойство жидкостей, Галилей пришелъ къ такому выводу; если жидкость заключена въ закрытый сосудъ, напримѣръ, въ бутылку (рис. 204) и на одну часть поверхности производится давленіе (при помощи пробки), то оно распространится въ жидкости такимъ образомъ, что всякая другая часть поверхности такого же размѣра будетъ испытывать точно такое же давленіе. Отсюда слѣдуетъ, что давленіе, испытываемое поверхностью бутылки, относится къ давленію на пробку такъ, какъ вся поверхность бутылки къ поперечному сѣченію пробки. Поэтому бутылку, наполненную жидкостью, легко разбить однимъ

Рис 203



Боковое давленіе на шлюзъ.

на плоскость $MNSR$, то основаніе этого перпендикуляра T_1 есть такъ называемый центръ давленія, т. е. точка приложенія равнодѣйствующей всѣхъ давленій на отдѣльныя части плоскости.

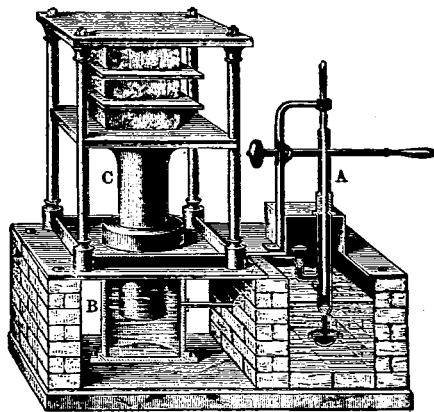
ударомъ по пробкѣ. Если подь пробкой находится воздухъ, то онъ ослабляетъ дѣйствіе удара. Галилей воспользовался этимъ обстоятельствомъ для постройки такъ называемаго гидравлическаго пресса, на который онъ получилъ въ 1594 г. отъ венеціанскаго дожа патентъ на 20 лѣтъ. Гидравлическій прессъ Галилея не нашель сколько-нибудь значительнаго примѣненія. Лишь 200 лѣтъ спустя (1795) англійскій механикъ Джозефъ Брама (1749—1814) въ Лондонѣ получилъ патентъ на такой прессъ, предназначавшійся для прессованія сѣна, хлопка и пр. Поэтому гидравлическій прессъ обыкновенно называютъ прессомъ Брама (рис. 205). Въ узкомъ ци-

Рис. 204



Передача
давленія въ
жидкости

Рис. 205



Гидравлическій прессъ.

линдръ А съ прочными стѣнками движется при помощи рычага поршень. Цилиндръ этотъ соединяется узкою трубкой съ другимъ широкимъ цилиндромъ, въ которомъ движется толстый цилиндрическій поршень с. Если, напримѣръ, поперечникъ узкаго цилиндра составляетъ $\frac{1}{10}$ поперечника широкаго, то послѣдній испытываетъ снизу давленіе въ 100 разъ больше, чѣмъ давленіе, производимое сверху на узкій цилиндръ, слѣдовательно, давленіе это болѣе, чѣмъ въ 100 разъ, превышаетъ силу, съ которой давятъ на ручку рычага. Широкий поршень подымается, конечно, только на одну сотую часть того разстоянія, на которое опускается узкій поршень, такъ какъ въ широкий цилиндръ войдетъ столько же воды, сколько ея будетъ вытѣснено изъ узкаго цилиндра. Мы видимъ, что начало возможныхъ скоростей соблюдается также и въ машинѣ, въ которой механической связью служитъ жидкость.

Чтобы имѣть возможность продолжать движеніе, узкій цилиндръ, подобно насосу, снабжаютъ клапанами, такъ что при повторномъ движеніи рычага изъ узкаго цилиндра въ широкий постоянно вгоняются новыя количества воды.

Гидравлическій прессъ, которымъ можно производить огромныя давленія, находятъ въ промышленности много примѣненій. Онъ служитъ для продавливанія дыръ въ желѣзныхъ плитахъ, для прессованія различныхъ матеріаловъ, для испытанія крѣпости цѣпей, паровыхъ котловъ и т. д.

Удѣльный вѣсъ

199. Задача объ опредѣленіи количества золота въ вѣнкѣ, предложенная царемъ Герономъ Архимеду, побудила послѣдняго заняться изслѣдованіемъ вѣса тѣла сравнительно съ ихъ объемомъ.

Подобные вопросы возбуждались и раньше. Уже давно было извѣстно, что нѣкоторыя тѣла, какъ, напримѣръ, золото, свинець, ртуть имѣютъ большой вѣсъ по сравненію со своимъ объемомъ. Извѣстна была разница въ вѣсѣ даже такихъ тѣлъ, которыя въ этомъ отношеніи мало отличаются другъ отъ друга. Знаменитый греческій врачъ Гиппократъ (456—366) указываетъ въ одномъ изъ своихъ сочиненій, что дождевая вода легче всякой другой воды. Что она легче морской воды, это, пожалуй, нетрудно было замѣтить. Но нужно удивляться тому, какъ древніе греки со своими несовершенными инструментами сумѣли подмѣтить, что дождевая вода легче колодезной. Нужно думать, что къ этому выводу они пришли скорѣе умозрительнымъ, чѣмъ опытнымъ путемъ. Во всякомъ случаѣ несомнѣнно, что дождевой водой, по ея вѣсу, пользовались для опредѣленія мѣръ емкости.

200. Архимедъ нисколько не уступалъ своимъ предшественникамъ въ математической точности; въ изслѣдованіи же труднѣйшихъ проблемъ математики и механики онъ пошелъ даже дальше ихъ вѣсѣхъ. Ставя умозрѣніе выше опыта, онъ тѣмъ не менѣе заботился о провѣркѣ результатовъ своихъ изслѣдованій на опытѣ. Одинъ латинскій писатель времени Тиберія (онъ сообщилъ намъ и исторію о золотомъ вѣнкѣ царя Герона) упоминаетъ въ этомъ же сочиненіи о плавающемъ тѣлѣ, которое погружается тѣмъ глубже, чѣмъ легче жидкость, въ которой оно находится. Не подлежитъ сомнѣнію, что Архимедъ, написавшій превосходное сочиненіе о плаваніи тѣлъ, умѣлъ опредѣлять удѣльный вѣсъ не только золота, но и другихъ тѣлъ и что ему были извѣстны и другіе способы для этого, помимо того, которымъ онъ опредѣлялъ удѣльный вѣсъ золотого вѣнка.

Марино Гетальди (род. въ 1566 г. въ Рагузѣ, ум. въ 1609 г. посломъ венеціанской республики въ Константинополь) приводитъ въ своемъ сочиненіи „Proptus Archimedes“, вышедшемъ въ 1603 году, удѣльные вѣса 12 различныхъ веществъ — семи извѣстныхъ въ то время металловъ: золота, серебра, ртути, свинца, мѣди, желѣза и олова, а также воды, вина, меда, уксуса и масла. Такъ называемая „биланцетта“, служившая для опредѣленія удѣльнаго вѣса и изобрѣтеніе которой приписывали Галилею, есть, вѣроятно, одинъ изъ тѣхъ приборовъ, относительно которыхъ встрѣчаются указанія уже у Архимеда.

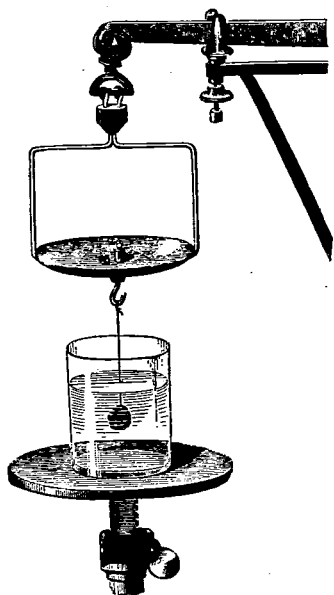
По описанію, „биланцетта“ представляла собой родъ безмена, при помощи котораго можно было обычнымъ путемъ найти вѣсъ тѣла въ воздухѣ, а также его кажущійся вѣсъ въ водѣ. Если тѣло (напримѣръ, кусокъ свинца) вѣсится въ воздухѣ 11, а въ водѣ 10 фунтовъ, то оно, согласно закону Архимеду, должно вытѣснять 1 фунтъ воды. 11 фунтовъ свинца занимаютъ, слѣдовательно, тотъ же объемъ, что и 1 фунтъ воды. Удѣльный вѣсъ свинца равенъ, слѣдовательно, 11 (точнѣе 11·4).

201. Это составляетъ обычный пріемъ опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ. Для опредѣленія удѣльнаго вѣса при помощи болѣе точныхъ вѣсовъ къ одной изъ чашекъ прикрѣпляютъ крючокъ (рис. 206), на который вѣшаютъ испытуемое тѣло. Опредѣляютъ вѣсъ этого тѣла въ воздухѣ и въ водѣ. Удѣльный вѣсъ тѣла по-

лучится, если раздѣлить его вѣсъ на потерю вѣса въ водѣ. Въ самомъ дѣлѣ, потеря вѣса въ водѣ равна вѣсу такого же объема воды.

Если тѣло легче воды, то нужно сначала привѣсить къ чашкѣ вѣсовъ болѣе тяжелое тѣло, чѣмъ данное, затѣмъ, погрузивъ его въ воду, уравновѣситъ дробью, пескомъ и т. д. Если теперь положить на чашку вѣсовъ легкое тѣло, то можно найти вѣсъ его въ воздухѣ, накладывая разновѣски на другую чашку. Привязавъ затѣмъ легкое тѣло къ тяжелому и погрузивъ ихъ вмѣстѣ въ воду, для равновѣсія придется положить на ту чашку вѣсовъ, къ которой они привѣшены, грузъ, равный потерѣ въ вѣсѣ. Такимъ путемъ находится потеря вѣса легкаго тѣла въ водѣ.

Рис. 206



Гидростатическіе вѣсы.

202. Едва ли можно думать, что древніе нашли разницу удѣльных вѣсовъ вина, соленой воды, дождевой воды и ключевой взвѣшиваніемъ равныхъ объемовъ этихъ веществъ; скорѣе всего, они замѣтили ее по плаванію тѣлъ въ этихъ жидкостяхъ. Существуютъ различныя вещества, удѣльный вѣсъ которыхъ очень близокъ къ удѣльному вѣсу воды. Въ этомъ случаѣ достаточно незначительнаго измѣненія плотности жидкости, чтобы плавающее тѣло стало тонуть или тонущее стало плавать. Вѣсъ человеческого тѣла также очень близокъ къ вѣсу воды, такъ что въ морской водѣ замѣтно легче плавать, чѣмъ въ прѣсной. Легче плавать также, когда при вдыханіи легкія наполняются воздухомъ. Яйцо плаваетъ въ соленой водѣ, но тонетъ въ прѣсной.

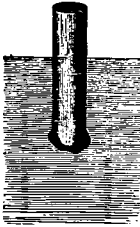
Разъ это было замѣчено, нетрудно было придти къ мысли устроить поплавокъ такимъ образомъ, чтобы на немъ можно было легко замѣчать неодинаковое погруженіе его въ разныхъ жидкостяхъ. Тотъ ли это приборъ Архимеда, о которомъ упомянуто въ § 200 или нѣтъ, но такой приборъ, во

всякомъ случаѣ, извѣстенъ уже больше тысячи лѣтъ. Онъ имѣетъ нѣкоторое сходство съ игрушкой, которой дѣти часто играютъ на морскомъ берегу. Она состоитъ изъ кусочка камыша, къ одному концу котораго прикрѣпленъ камешекъ, вслѣдствіе чего этотъ конецъ становится тяжелѣе. Если бросить игрушку въ воду, то она плаваетъ въ вертикальномъ положеніи и свободный конецъ ея находится надъ водой (рис. 207).

Чтобы легче наблюдать степень погруженія тѣла въ различныя жидкости, нужно сдѣлать ту часть тѣла, которая находится внѣ воды, очень узкой. Плавающее тѣло погружается всегда настолько, что вытѣсненная жидкость имѣетъ вѣсъ этого тѣла. Поэтому тѣло должно имѣть такую форму, чтобы, при замѣтномъ измѣненіи погруженной части, оно вытѣсняло лишь немного больше жидкости. Эти приборы (ареометры) дѣлаются въ большинствѣ случаевъ изъ стекла и имѣютъ форму, указанную на рис. 208. Въ шарообразную часть на нижнемъ концѣ помѣщаютъ небольшое количество дрови или ртути. Въ верхней узкой части находится полоска бумаги со шкалой.

Дѣленія часто предназначены для опредѣленной жидкости, напримѣръ, для спирта, который легче воды, или для сахарнаго или солянаго раствора, которые тяжелѣе воды. Въ такомъ случаѣ дѣленія непосредственно указываютъ, сколько частей спирта, сахару или соли заключается въ данной жидкости. Ареометры, предназначенные для всякихъ жидкостей, имѣютъ шкалу, на которой непосредственно отсчитывается удѣльный вѣсъ. Въ большомъ ходу, особенно въ технику, ареометры съ совершенно произ-

Рис. 207



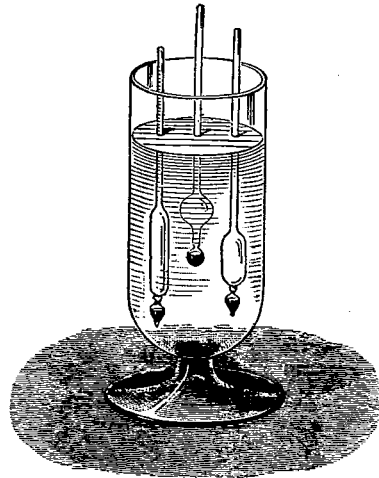
Поплавокъ изъ камыша.

вольными дѣленіями, какъ, напримѣръ, ареометръ Боме (1728 — 1804). Удѣльный вѣсъ, соответствующій данному числу „градусовъ“ этого ареометра, берется изъ соответственной таблицы.

203. Кромѣ такого древняго поплавка, существуетъ еще другой приборъ, который построенъ на иномъ принципѣ и которымъ мы обязаны, можно думать, знаменитой Accademia del Cimento. Онъ имѣетъ нѣкоторое сходство съ описанными ареометрами, но узкій конецъ его еще тоньше (рис. 209, а) и снабженъ не шкалой, а только мѣткой, до которой онъ погружается въ жидкость при наложеніи кольцообразныхъ разновѣсокъ. Онъ вытѣсняетъ такимъ образомъ всегда одинъ и тотъ же объемъ жидкости. Такимъ образомъ, въ каждомъ случаѣ нужно опредѣлить, какимъ грузомъ вытѣсняется этотъ объемъ. Необходимо поэтому знать вѣсъ самого прибора и вѣсъ всѣхъ кольцообразныхъ добавочныхъ грузовъ. Если, напримѣръ, ареометръ вѣситъ 60 г и для погруженія его въ воду необходимъ добавочный грузъ въ 25 г, а для погруженія въ спиртъ до той же черты необходимъ грузъ въ 18 г, то вѣсъ вытѣсненнаго количества воды составляетъ 85 г, вѣсъ вытѣсненнаго количества спирта 78 г; слѣдовательно, удѣльный вѣсъ спирта равенъ $\frac{78}{85} = 0.918$.

Этотъ приборъ въ 1724 году былъ усовершенствованъ Фаренгейтомъ. На верхнемъ концѣ узкой части онъ помѣстилъ маленькую чашечку (рис. 209, b), на которую кладутся разновѣски. Этимъ устраняется измѣненіе объема погруженной части прибора. Затѣмъ, въ 1787 году Никольсонъ помѣстилъ на нижнемъ концѣ маленькое сито (рис. 209, c), такъ что тотъ же приборъ можетъ служить и для опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ. Чтобы найти вѣсъ такого тѣла, приборъ

Рис. 208

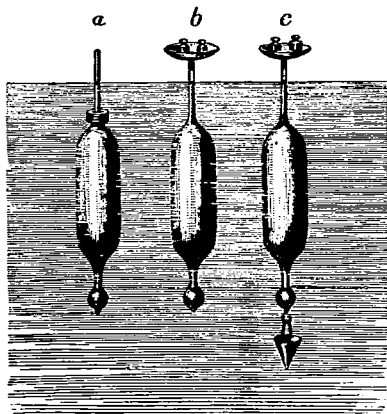


Ареометры.

нагружаютъ разновѣсками такъ, чтобы онъ опустился въ воду до черты, затѣмъ кладутъ изслѣдуемое тѣло на чашку и снимаютъ соответствующее количество разновѣсокъ, такъ чтобы мѣтка опять была на поверхности воды. Послѣ этого перекалдываютъ тѣло въ сито. Грузъ, который нужно положить теперь, чтобы снова погрузить приборъ до мѣтки, даетъ потерю вѣса тѣла въ водѣ.

204. Удѣльнымъ вѣсомъ часто приходится пользоваться при различныхъ вычисленияхъ, напримѣръ, при вычисленіи вѣса тѣла по его объему. Для точныхъ вычисленій нужно брать удѣльный вѣсъ изъ подробной таблицы или получить его путемъ опыта (§§ 201—202). Полезно запомнить приблизительные удѣльные вѣсы нѣкоторыхъ веществъ.

Рис 209.



Ареометръ Accademia del Cimento (а), усовершенствованный Фаренгейтомъ (b) и Никольсономъ (с).

другія тяжелѣе воды. Водные растворы, вообще говоря, тяжелѣе воды, но даже самыя крѣпкіе растворы рѣдко имѣютъ удѣльный вѣсъ больше $1\frac{1}{2}$. Если помнить, что литръ воды вѣситъ килограммъ, то нерѣдко можно опредѣлить приблизительный вѣсъ данного объема вещества.

Примѣръ 1. Сколько вѣситъ кирпичъ длиной въ 25 см, шириной въ 12 см и толщиной въ 6·5 см (нормальный кирпичъ въ Германіи)? Примѣръ 2. Сколько вѣситъ желѣзная ось въ 6 м длины и 10 см въ поперечникѣ? Примѣръ 3. Какой объемъ занимаютъ 50 кг пробки? Примѣръ 4. Дубовый стволъ (уд. вѣсъ = 1) имѣетъ въ длину 5 м, а въ толщину 0·6 м. Каковъ его вѣсъ? Примѣръ 5. Для громотвода нуженъ мѣдный стержень длиной въ 20 м и въ 1 см поперечникомъ. Сколько содержится въ немъ килограммовъ мѣди? Примѣръ 6. Крышу нужно покрыть свинцовыми листами въ 2 мм толщиной. Поверхность крыши 30 квм. Сколько килограммовъ свинца пойдетъ на это? Примѣръ 7. Стекланная трубка длиной въ 80 см заканчивается шаромъ. Трубка и шаръ наполнены ртутью. Какое давленіе оказываетъ ртуть на каждый квадратный сантиметръ поверхности шара? Примѣръ 8. Шпиць колокольни съ поверхностью въ 2 квм позолоченъ 2 г золота. Какова толщина слоя золота?

Пробка $1\frac{1}{4}$
 Дерево, смотря по поро-
 дѣ и по степени сухости отъ $\frac{1}{3}$ до $1\frac{1}{3}$
 Большинство камней, гли-
 на, песокъ, кирпичъ стекло

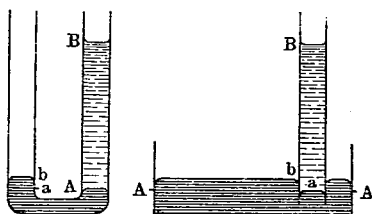
	отъ 2	„ 3
Алюминій	$2\frac{2}{3}$	
Желѣзо, сталь, олово отъ	7	до 8
Мѣдь	9	
Серебро	10	
Свинець	11	
Ртуть	14	
Золото, платина	20	
Иридій	23	

Безводный спиртъ имѣетъ удѣльный вѣсъ 0·8. Масло вообще немного легче воды; изъ винъ одни легче воды,

205. Если налить въ одинъ сосудъ нѣсколько жидкостей, то онѣ расположатся въ немъ горизонтальными слоями—соотвѣтственно своимъ удѣльнымъ вѣсамъ, при томъ такъ, что самая тяжелая изъ нихъ расположится на днѣ. Тогда во всѣхъ точкахъ горизонтальной плоскости на любой глубинѣ давленіе будетъ одно и то же, т. е. будетъ выполняться необходимое условіе равновѣсія (§ 191). Еслибы горизонтальный слой воды лежалъ поверхъ слоя масла, жидкости тоже находились бы въ равновѣсіи, но это было бы неустойчивое равновѣсіе и достаточно было бы малѣйшаго толчка, чтобы масло, какъ болѣе легкая жидкость, стало подыматься наверхъ, и обѣ жидкости припили бы въ состояніе покоя лишь тогда, когда слой масла легъ бы поверхъ слоя воды.

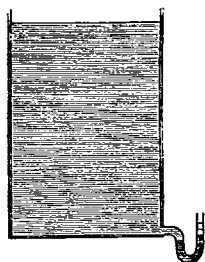
Если въ сообщающихся сосудахъ находятся жидкости различнаго удѣльнаго вѣса и если тяжелой жидкости, напримѣръ, ртути, имѣется столько, что она можетъ закрыть весь просвѣтъ трубки, то, какъ легко можно видѣть, вода въ одномъ колѣнѣ станетъ выше, чѣмъ ртуть въ другомъ колѣнѣ, независимо отъ того, имѣеть ли приборъ форму *U*-образной трубки или состоитъ изъ одного открытаго колѣна при болѣе широкомъ сосудѣ (рис. 210). Въ плоскости *Aa* повсюду должно быть одинаковое давленіе. Но это можетъ имѣть мѣсто только въ томъ случаѣ, если водяной столбъ *AB* и ртутный *ab* давятъ съ одинаковой силой. А такъ какъ давленіе

Рис. 210



Жидкости различнаго удѣльнаго вѣса въ сообщающихся сосудахъ.

Рис. 211



Сосудъ съ ртутной пробкой.

въ *A* и въ *a* не зависитъ отъ ширины и формы водянаго столба (§ 190), а только отъ его высоты, то столбъ *AB* долженъ быть во столько разъ (14) выше столба *ab*, во сколько разъ ртуть тяжелѣе воды. Высоты и удѣльные вѣса жидкостей должны находиться, такимъ образомъ, въ обратномъ отношеніи.

Примѣръ 1. Боченокъ въ 1 квм въ поперечникѣ наполненъ до высоты 1 м спиртомъ, удѣльнаго вѣса 0·85 (рис. 211). Внизу насаживается *U*-образно изогнутая трубка въ 1 см въ поперечникѣ. Въ трубкѣ находится ртуть. На сколько сантиметровъ стоитъ ртуть во внѣшнемъ колѣнѣ *U*-образной трубки выше, чѣмъ во внутреннемъ? Сколько граммовъ вѣситъ эта ртуть? Сколько килограммовъ спирта уравновѣшиваетъ она?

Приборы, основанные на свойствахъ воды и воздуха

206. Теорія и практика нерѣдко относились съ пренебреженіемъ другъ къ другу. Первая полагала, что только она имѣетъ всеобщую и вѣковѣчную цѣнность для человѣчества; вторая же указывала на осязаемую реальность, какъ на единственное, на что можно полагаться и что имѣетъ цѣну для практической жизни.

Временами теорія и практика дѣйствительно могутъ развиваться независимо другъ отъ друга, но ни одна изъ нихъ не можетъ обходиться безъ плодотворнаго вліянія другой сколько-нибудь долгое время. Иллюстраціей къ сказанному могутъ служить греческіе математики и философы. Создавъ много великаго въ своей области, они сторонились окружающей жизни, что не могло не имѣть своимъ послѣдствіемъ извѣстной односторонности. Нужно удивляться тому, что такой одаренный народъ такъ мало подвинулъ впередъ естественныя науки. Это объясняется, однако, тѣмъ, что лишь немногіе среди греческихъ математиковъ интересовались природой. Но зато, если какой-либо вопросъ изъ этой области становился предметомъ изслѣдованія, то греки всегда достигали значительныхъ результатовъ. Достаточно привести имена Аристарха и Гиппарха въ астрономіи и Архимеда въ механикѣ. Архимедъ, какъ работникъ въ сферѣ отвлеченной мысли, едва ли имѣлъ себѣ равнаго; путемъ чистаго умозрѣнія онъ завоевалъ новыя области въ наукѣ, какъ, напримѣръ, ученіе о равновѣсіи. Но онъ не преминулъ также использовать свои познанія и свои дарованія во время осады Сиракузъ. Онъ въ совершенствѣ оперировалъ съ безконечно-малыми, трактовалъ о кривыхъ линіяхъ и кривыхъ плоскостяхъ, писалъ о кругѣ, о шарѣ, о конусѣ и о цилиндрѣ, устанавливая при этомъ абсолютныя истины, которыя до него не были извѣстны; онъ не остановился передъ кропотливой задачей вычисления длины окружности; причемъ, конечно, онъ не нашель абсолютно точнаго числа, а лишь приближеніе, къ которому математики-софисты отнеслись съ пренебреженіемъ.

207. Теперь мы переходимъ къ другому великому математику, также представлявшему исключеніе изъ общаго правила, а именно — къ Герону Александрійскому. О его личности мы знаемъ мало. Онъ жилъ около 100 г. до Р. X. Его учителемъ былъ, повидимому, Ктезибій. Послѣдній былъ сыномъ брадобрея и въ молодые годы занимался дѣломъ своего отца, но впоследствии онъ изобрѣлъ большое количество физическихъ приборовъ, водяные часы (§ 158), водяной органъ, нагнетательный насосъ и метательную манину, на подобіе воздушнаго ружья, метавшую пули при посредствѣ сжатаго воздуха. Надо полагать, что своими изобрѣтеніями Ктезибій отчасти обязанъ египтянамъ; заслуга его заключалась частью въ томъ, что онъ раскрылъ нѣкоторыя тайны египтянъ и представилъ ихъ въ лучшей формѣ.

Ученикъ его, Геронъ былъ высокоодаренный и оригинальный математикъ. Онъ съ поразительнымъ искусствомъ умѣлъ соединять теорію съ практикой. Такъ, онъ написалъ книгу о землѣмѣриіи при помощи діоптровъ, которая является первымъ обстоятельнымъ руководствомъ по этому предмету. Египтяне, у которыхъ землѣмеріе играло важную роль, пользовались даже во времена Герона устарѣлымъ методомъ, приводившимъ иногда къ совершенно невѣрнымъ результатамъ. Трудъ Герона явился полнымъ руководствомъ къ производству какъ практическихъ измѣреній, такъ и вычисленій, для которыхъ онъ далъ особыя формулы. Онъ, напримѣръ, далъ фор-

мулу для вычисленія площади треугольника по тремъ сторонамъ его, повидимому, найденную имъ самимъ¹⁾.

208. Геронъ, между прочимъ, написалъ книгу о примѣненіяхъ воды и воздуха. Эта книга начинается такъ: „Въ виду того, что древніе философы и математики считали важнымъ тщательное изученіе свойствъ и силы воздуха, при чемъ одни изъ нихъ изслѣдовали этотъ предметъ чисто умозрительно, между тѣмъ какъ другіе наблюдали дѣйствіе воздуха на чувства, я счелъ необходимымъ изложить все то, что дошло до насъ объ этомъ предметѣ, и прибавить то, что нашли мы сами. Этимъ будетъ оказана существенная услуга тѣмъ, которые пожелали бы заняться изученіемъ математики, и сверхъ того... это можетъ принести большую пользу на практикѣ, а такоже служить предметомъ большого удивленія“.

Изъ этого предисловія можно заключить, что Геронъ имѣлъ въ виду въ одинаковой мѣрѣ какъ объясненіе являющейся, такъ и ихъ полезныя примѣненія. Въмѣстѣ съ тѣмъ читатель узнаетъ, что часть изобрѣтеній, перечисленныхъ въ книгѣ, лишь собрана авторомъ, другая же часть принадлежитъ ему самому, а также, что одни открытія имѣютъ практическое значеніе, другія же служатъ скорѣе для удовлетворенія нашей любознательности.

Эта книга представила огромный шагъ впередъ во многихъ отношеніяхъ. Въ первый разъ греческій математикъ ставитъ себѣ цѣлью практическую пользу, не упуская вмѣстѣ съ тѣмъ изъ виду и теоретической стороны дѣла. Далѣе, въ этой книгѣ впервые приведены принципы новой технической системы пользованія водой, упразднявшей устарѣлыя водочерпательныя машины. Правда, нѣкоторыя детали этой системы существовали (въ Египтѣ и при Ктезибіи) еще до Герона; но только послѣдшій переработалъ ее заново въ совершенно новую систему, дополненную его собственными изобрѣтеніями.

209. Наконецъ, этой книгой Геронъ сдѣлалъ значительный шагъ впередъ еще и въ томъ отношеніи, что въ ней онъ теоретически обосновалъ эту новую техническую систему. И эта теорія не принадлежала ему цѣликомъ, такъ какъ нѣкоторыя части ея можно найти еще у Аристотеля. Но Геронъ развилъ ее съ такой полнотой и ясностью и такъ широко использовалъ ее для примѣненій, что она является у него какъ бы совершенно новой. Теорія эта заключается въ слѣдующихъ положеніяхъ, приведенныхъ непосредственно послѣ указанного выше предисловія: „Прежде чѣмъ приступить къ тому, что я намѣренъ здѣсь изложить, необходимо рассмотреть „пустоту“. Одни утверждаютъ, что пустоты вообще не существуетъ; другіе же полагаютъ, что пустота не можетъ образовать цѣлыхъ пространствъ, но что она можетъ заключаться въ промежуткахъ между частицами воздуха, воды, огня и другихъ тѣлъ. Послѣднему мнѣнію мы отдаемъ предпочтеніе, такъ какъ оно кажется правильнымъ и съ перваго взгляда и послѣ размысленія. Въ самомъ дѣлѣ, сосудъ, напримѣръ, кажущійся многимъ пустымъ, въ дѣйствительности не пустъ, а наполненъ воздухомъ. Воздухъ же, по мнѣшію людей, изучающихъ природу, состоитъ изъ легкихъ тѣлецъ. Наливая воду въ пустой на видъ сосудъ, мы въ сущности тѣмъ самымъ уда-

¹⁾ Пусть стороны треугольника будутъ a, b, c ; полусумма длинъ его сторонъ пусть будетъ s ; тогда площадь треугольника будетъ:

$$\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}.$$

ляемъ изъ него столько воздуха, сколько наливаемъ туда воды. Въ сказанномъ можно убѣдиться слѣдующимъ образомъ. Опустимъ въ воду пустой, повидимому, сосудъ дномъ вверхъ; вода въ него не войдетъ, даже если мы его совершенно погрузимъ въ нее. Очевидно, такимъ образомъ, что воздухъ, подобно всякому другому тѣлу, препятствуетъ водѣ войти въ сосудъ, который имъ наполненъ. Но если продѣлать отверстие въ днѣ, то вода наполнитъ сосудъ, вытѣснивъ воздухъ черезъ это отверстие. Если же извлечь изъ воды сосудъ, не пробуравливая въ днѣ его отверстия, то мы не замѣтимъ на внутреннихъ его стѣнкахъ слѣдовъ жидкости, — онѣ будутъ сухи, какъ и до погруженія въ воду. Поэтому воздухъ нужно разсматривать, какъ тѣло. Пришедши въ движеніе, воздухъ производитъ вѣтеръ; вѣтеръ есть не что иное, какъ движущійся воздухъ. Если держать руку надъ отверстиемъ въ днѣ сосуда, то легко почувствовать идущій оттуда вѣтеръ во все время наполненія сосуда водой. Но этотъ вѣтеръ есть не что иное, какъ воздухъ, выталкиваемый водой; невозможно поэтому допустить, что пустота сама по себѣ можетъ образовать нѣчто цѣлое. Она распредѣляется мельчайшими частями въ огнѣ, въ водѣ и въ другихъ тѣлахъ, не исключая и алмаза, который, повидимому, какъ будто свободенъ отъ пустоты, такъ какъ онъ не накаляется и не разбивается даже подъ молотомъ на наковальнѣ. Но это объясняется не отсутствіемъ въ немъ пустотъ, а лишь его значительной плотностью. Вслѣдствіе же того, что частицы огня больше, нежели пустоты алмаза, огонь не въ состояніи проникнуть въ нихъ; онъ лишь можетъ прикасаться къ его внѣшней поверхности“.

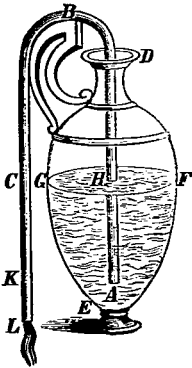
Итакъ, по мнѣнію Герона не существуетъ значительныхъ пространствъ, которыя ничѣмъ не были бы заполнены. Гдѣ нѣтъ воды или другого видимаго тѣла, тамъ есть воздухъ — и воздухъ есть также тѣло, равно какъ и огонь. Но всѣ тѣла пористы, т. е. обладаютъ множествомъ маленькихъ пустотъ; это справедливо не только относительно воздуха, но и относительно другихъ тѣлъ. Когда тѣла накаляются, то ихъ пары, по мнѣнію Герона, пронизываются огнемъ, который, въ свою очередь, есть также тѣло. Равнымъ образомъ алмазъ, который, какъ тогда полагали, не можетъ быть раскаленъ, по мнѣнію Герона также пористъ; но поры его настолько малы, что огонь не можетъ проникнуть въ нихъ, а самъ алмазъ не можетъ быть сжатъ между молотомъ и наковальней. Чтобы окончательно убѣдить въ пористости тѣлъ, Геронъ говоритъ: „Какимъ образомъ свѣтъ, теплота или иныя матеріальныя силы могли бы проникать въ воду, въ воздухъ или въ другія тѣла?“ Подобнымъ же образомъ онъ доказываетъ пористость воды и вина способностью этихъ жидкостей смѣшиваться совершенно; при этомъ, конечно, частицы одной жидкости проникаютъ въ поры другой. Сжатіе и расширеніе тѣлъ онъ также объясняетъ исключительно уменьшеніемъ и увеличеніемъ поръ, тогда какъ сами частицы тѣла ни увеличиваются, ни уменьшаются. При отсутствіи внѣшней силы тѣло всегда занимаетъ свой естественный объемъ. Если подуть въ бутылку и сейчасъ же заткнуть ее пальцемъ, то въ ней сверхъ первоначальнаго воздуха будетъ находиться и вдутый нами; вслѣдствіе чего поры уменьшатся, какъ уменьшаются пустые промежутки въ сжимаемой губкѣ. По удаленіи же пальца часть воздуха выходитъ, а оставшійся въ бутылкѣ воздухъ занимаетъ свой естественный объемъ, при чемъ поры принимаютъ первоначальную величину. Если изъ бутылки высосать часть воздуха, то поры оставшагося воздуха получаютъ неестественную для нихъ величину; вслѣдствіе этого

онѣ приобретаютъ стремленіе сократиться и втягиваютъ кожу пальца въ отверстие бутылки. Если теперь удалить палецъ, то поры сокращаются, а извиѣ въ бутылку входитъ воздухъ.

210. Съ помощью этой теоріи Геронъ объясняетъ дѣйствіе аппаратовъ и машинъ, описанныхъ въ его замѣчательномъ сочиненіи, положившемъ начало новой эрѣ въ гидротехникѣ. Древнія водочерпалки замѣняются помпами, насосами, сифонами и т. д., причемъ въ основѣ всѣхъ этихъ приборовъ лежитъ принципъ, что воздухъ есть тѣло и что пустаа можетъ существовать не въ видѣ значительныхъ пространствъ, а лишь въ видѣ поръ. Проникнутая этой теоріей, книга Герона оказывала свое вліяніе 1700 лѣтъ. И если послѣ такого долгаго промежутка времени другая теорія должна была, наконецъ, замѣнить ее, то это доказываетъ лишь то, что иногда теорія можетъ охватывать явленія въ ихъ связи, „объяснять“ ихъ очень хорошо и всетаки не быть безусловно вѣрной — когда-нибудь открываются новыя явленія, которыя эта теорія не можетъ объяснить. Тогда нужно искать новой теоріи.

211. Прежде всего Геронъ описываетъ и объясняетъ сифонъ. Перегнутая трубка *ABCKL* (рис. 212) стоитъ однимъ колѣномъ въ сосудѣ *DE*, который наполненъ водою до высоты *FG*. Внутри этого колѣна вода стоитъ на той же высотѣ, что и въ сосудѣ. Если теперь высосать ртомъ у *L* часть воздуха изъ трубки, то поры въ оставшемся воздухѣ станутъ больше. Расширившись такимъ образомъ, воздухъ стремится занять свой естественный объемъ и потому втягиваетъ въ трубку воду на известную высоту. Если такимъ высасываедемъ удалить досточное количество воздуха, то вода наполнитъ не только колѣно *NB*, но и колѣно *BC*. Еслибы вода не пошла дальше *C*, то она оставалась бы на вѣсу, какъ грузъ. Вода должна была бы стремиться стекать внизъ въ обоихъ колѣнахъ, но она не можетъ раздѣлиться въ верхней части сифона, такъ какъ не можетъ существовать сколько-нибудь значительнаго пустого пространства. Еслибы, наоборотъ, въ *B* была просверлено въ трубкѣ отверстіе, то вода дѣйствительно стекла бы внизъ въ обоихъ колѣнахъ, причемъ воздухъ входилъ бы черезъ это отверстіе. Разъ отверстія нѣтъ, то обѣ части жидкости могутъ быть въ равновѣсш только въ томъ случаѣ, если *C* находится на той же точно высотѣ, на какой ле-

Рис. 212



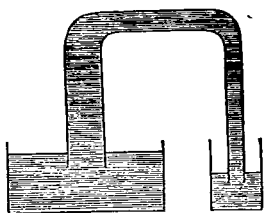
Сифонъ.

жать *F* и *G*. Если *C* лежитъ нѣсколько выше, то вода во внутренней трубкѣ увлекаетъ за собою воду во внѣшней трубкѣ. Напротивъ того, если *C* лежитъ нѣсколько ниже, то внѣшній столбъ воды тянетъ за собою внутренней и притомъ до тѣхъ поръ, пока конецъ *L* трубки лежитъ ниже поверхности воды въ сосудѣ и пока вода не понизится до конца *A* внутренняго колѣна.

Говоря такимъ образомъ о равновѣсш массъ воды въ обоихъ колѣнахъ, Геронъ, повидимому, не теряетъ изъ виду, что его объясненіе можетъ быть понято неправильно. А именно, онъ прибавляетъ, что не слѣдуетъ думать, будто при помощи сифона можно заставить воду вытекать изъ сосуда, сдѣлавъ внѣшнее колѣно его шире, но короче, чѣмъ внутреннее, такъ чтобы оно оканчивалось выше поверхности воды *FG*. Можно было бы думать, что болѣе значительное количество воды во

внѣшнемъ колѣнѣ должно потянуть за собою воду во внутреннемъ колѣнѣ, масса которой меньше, хотя бы внѣшнее колѣно было короче внутренняго. Имѣя въ виду это возможное недоразумѣніе, Геронъ подчеркиваетъ, что вода втекаетъ назадъ, разъ внѣшнее отверстіе лежитъ выше FG , даже если внѣшняя трубка шире внутренней. Онъ объясняетъ этотъ фактъ слѣдующимъ образомъ. Свободная поверхность всѣхъ массъ воды на землѣ, сообщающихся между собой, согласно Архимеду должна представлять шаровую поверхность, центръ которой совпадаетъ съ центромъ земли. Если изогнутую въ видѣ U трубку наполнить водой доверху, закрыть ея концы, перевернувши, поставить ее обоими колѣнами въ сосудъ съ водой (рис. 213) и затѣмъ отнять пальцы, то вода въ трубкѣ не раздѣлится, такъ какъ пустота не мо-

Рис. 213



Героново объясненіе сифона.

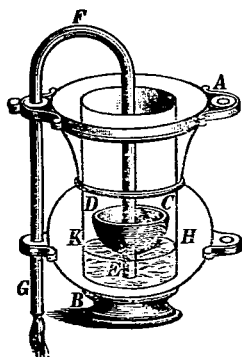
жетъ образоваться. Такимъ образомъ, находящаяся въ трубкѣ вода образуетъ соединеніе между двумя массами въ сосудахъ. Значитъ, вода не будетъ въ равновѣсіи до тѣхъ поръ, пока ея поверхность въ обоихъ сосудахъ не будетъ представлять собой одну и ту же шаро-

вую поверхность, центръ которой находится въ центрѣ земли, т. е. пока она не будетъ находиться въ обоихъ сосудахъ въ одной и той же горизонтальной плоскости. Слѣдовательно, вода должна входить въ то колѣно, которое погружено въ сосудъ съ болѣе высокимъ уровнемъ воды, хотя бы даже это колѣно было шире. Такимъ образомъ, равновѣсіе зависитъ не отъ количества воды въ колѣнахъ трубки, а только отъ высоты воды (ср. положеніе Стевина о сообщающихся сосудахъ, § 190).

212. Такъ какъ сифонъ понижаетъ уровень воды въ сосудѣ, то вода вытекаетъ изъ него постепенно все медленнѣе. Для того, чтобы сдѣлать истеченіе воды равномернымъ, Геронъ построилъ приборъ рис. 214. Внутреннее колѣно сифона оканчивается въ днѣ чашки CD , къ которому оно прикрѣплено наглухо. Эта чашка плаваетъ на водѣ въ сосудѣ и при пониженіи уровня слѣдуетъ за нимъ, такъ что сифонъ понижается настолько же, насколько и уровень воды; два кольца заставляютъ держаться его правильно, не мѣшая его опусканію. Такимъ образомъ, отверстіе внѣшняго колѣна всегда остается ниже поверхности воды на одинаковую величину.

Того же результата можно было бы добиться гораздо легче, закрѣпивъ колѣно сифона вмѣсто чашки CD на кускѣ пробки.

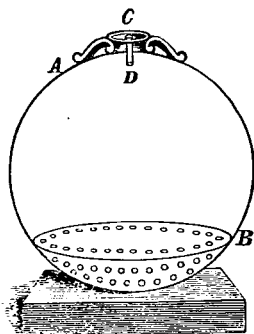
Рис. 214



Сифонъ съ равномернымъ истеченіемъ воды.

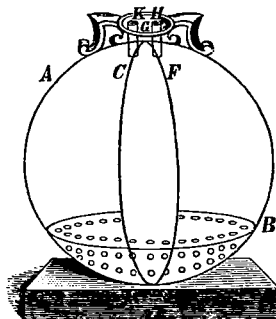
213. Геронъ описываетъ шаръ, сработанный изъ металла (мѣди), въ днѣ котораго сдѣлано много отверстій, какъ въ ситѣ (рис. 215), и который сверху снабженъ короткой трубкой *C*; ее можно закрывать пальцемъ. Если погрузить этотъ шаръ въ воду, оставить трубку *C* открытой, то вода входитъ снизу въ шаръ, а воздухъ выходитъ вверху сквозь трубку. Если теперь закрыть трубку *C* пальцемъ и вынуть шаръ изъ воды, то вода не будетъ вытекать изъ него, такъ какъ въ шарѣ не можетъ образоваться пустое пространство. Но если отнять палецъ отъ отверстія *C*, то вода вытечетъ изъ отверстій въ днѣ. — Одинъ такой приборъ (рис. 216), описанный

Рис. 215



Металлическій Героновъ шаръ.

Рис. 216



Магическій шаръ Герона.

Герономъ, имѣлъ внутри стѣнку, раздѣлявшую его пополамъ, а вверху двѣ трубки съ каждой стороны стѣнки. Эти двѣ половины сосуда можно наполнить разными жидкостями, напримѣръ, одну водою, а другую виномъ, и затѣмъ, открывая либо одну, либо другую трубку, можно выпускать изъ шара ту или другую жидкость по произволу.

Первый изъ этихъ приборовъ мы находимъ и въ наши дни въ такъ называемой пипеткѣ (рис. 217); взятую ею жидкость можно выпустить въ любомъ мѣстѣ и въ любомъ количествѣ.

Вторымъ приборомъ, въ нѣсколько измѣненной формѣ, пользуются фокусники для того, чтобы наливать различные сорта вина изъ одной и той же бутылки. Внутренняя часть такой бутылки состоитъ изъ нѣсколькихъ отдѣленій, каждое изъ которыхъ можетъ открываться въ горлышко бутылки отдѣльно, если наклонить бутылку и въ то же время отнять палецъ отъ отверстія къ соответственному отдѣленію бутылки.

214. Геронъ описываетъ также другой приборъ, волшебный кубокъ (рис. 218). На днѣ этого кубка укрѣплена трубка, сверху закрытая, но снизу снабженная маленькими отверстіями, сквозь которыя можетъ входить вода. Внутри этой трубки находится другая, открытая съ обонхъ концовъ. Нижній конецъ этой трубки проходить сквозь дно сосуда, а верхшій почти достигаетъ верхняго конца внѣшней трубки. При наливанш воды въ кубокъ, она проходитъ также въ трубку III. Но когда

кубокъ уже почти полонъ, вода въ трубкѣ подымается такъ высоко, что попадаетъ во внутреннюю трубку сверху. Въ эту минуту обѣ трубки дѣйствуютъ, какъ сифонъ, — вода вытекаетъ и вытекаетъ до тѣхъ поръ, пока не опорожнится весь кубокъ.

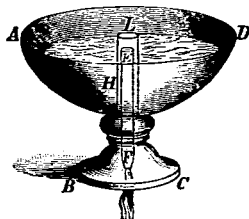
Такимъ же образомъ объясняются и перемежающіеся пруды (рис. 219), т. е. пруды, въ которыхъ вода (во время дождей) подымается до извѣстной высоты, но затѣмъ снова исчезаетъ и прудъ совершенно пустуетъ. Въ такихъ прудахъ на днѣ находится водонепроницаемый слой, который, поднявшись сначала до извѣстной высоты между

Рис. 217



Пипетка.

Рис. 218



Волшебный кубокъ.

двумя водонепроницаемыми слоями, ведетъ затѣмъ въ болѣе низкое мѣсто. Этотъ водонепроницаемый слой нужно разсматривать какъ сифонъ, который начинаетъ дѣйствовать, когда наполняется водою, т. е. когда вода въ прудѣ достигаетъ требуемой высоты.

215. Въ 76 отдѣлахъ своей книги Геронъ описываетъ массу приборовъ, которые въ большинствѣ случаевъ служили для произ-

водства забавныхъ опытовъ. Пропуская воздухъ, вытѣсняемый водою, сквозь флейту, онъ заставляетъ пѣть искусственныхъ птицъ. Онъ описываетъ дерево, на которомъ находился драконъ и возлѣ котораго стоялъ Гераклъ со стрѣлою на лукъ. Стоило поднять яблоко, лежащее подъ деревомъ, — этимъ тянется шнурокъ, Гераклъ пускаетъ свою стрѣлу въ дракона, а драконъ испускаетъ крикъ. Эти и подобные этимъ автоматы, приводившіеся въ движеніе давленіемъ воды, указываютъ на то, что изобрѣтен-

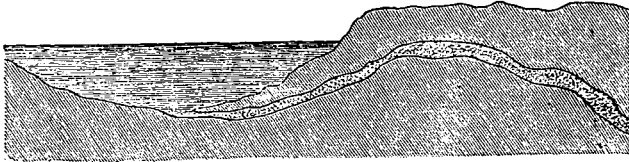
ные Ктезибіемъ водяные часы начали у Герона развиваться въ водяные автоматы, которые въ IX вѣкѣ, благодаря посредству арабовъ, нашли доступъ въ Европу (§ 158). Это, конечно, принесло мало пользы развитію естествознанія, но нѣсколько больше содѣйствовало развитію искусства постройки приборовъ. — О другихъ автоматахъ, приводившихся въ движеніе огнемъ, будетъ рѣчь ниже.

216. Въ десятомъ отдѣлѣ своей книги Геронъ описываетъ клапанъ, который съ тѣхъ поръ игралъ очень важную роль; изъ подробности, съ которой описанъ этотъ простой приборъ, можно заключить, что въ то время клапанъ представлялъ нѣчто новое. Это описаніе гласитъ слѣдующее: „изготавливаютъ двѣ четырехугольныя пластинки (рис. 220) соответственной толщины, длиною въ палецъ съ каждой стороны. Своими поверхностями онѣ пригоняются другъ къ другу и шлифуются такъ, что между ними не можетъ пройти ни воздухъ, ни вода. Пусть эти пластинки будутъ *ABCD* и *EFGH*. Въ одной изъ нихъ, именно *ABCD*, просверлено круглое отверстіе въ одну треть пальца шириной. Край *CD* соединенъ при помощи шарнира съ краемъ *FE*, такъ что отшлифованныя стороны металлическихъ пластинокъ ложатся одна на другую. Когда хотятъ воспользоваться этими клапанами, то пластинку *ABCD* наглухо припаиваютъ къ отверстию, сквозь которое долженъ входить въ сосудъ воздухъ или вода. Въ такомъ случаѣ при давленіи изнутри пластинка *EFGH*

открывается и пропускаетъ воздухъ или воду. Но затѣмъ давленіе воздуха или воды будетъ прижимать пластинку $EFGH$ къ отверстию, сквозь которое входитъ воздухъ или вода“.

Весьма замѣчательно, помимо подробности этого описанія, то обстоятельство, что Геронъ описываетъ клапанъ, какъ отдѣльный приборъ. Это описаніе образуетъ въ книгѣ самостоятельный отдѣлъ и клапанъ не обозначается въ немъ, какъ составная часть какого-нибудь опредѣленнаго прибора. Слѣдующіе затѣмъ приборы также

Рис. 219

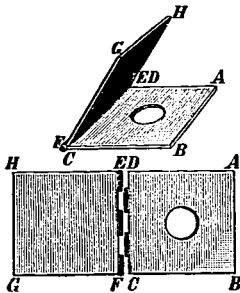


Перемежающийся прудъ.

не имѣютъ клапановъ. Только въ дальнѣйшихъ отдѣлахъ сочиненія появляются такіе приборы и клапанъ упоминается тогда, какъ нѣчто извѣстное изъ предшествующихъ отдѣловъ.

Это напоминаетъ общеупотребительный приемъ греческихъ математиковъ начинать съ простыхъ вещей, которыя сами по себѣ образуютъ нѣчто цѣлое, и затѣмъ

Рис. 220.



Клапанъ.

уже переходить къ предметамъ, составленнымъ изъ этихъ простыхъ. Это описаніе Герона показываетъ, во всякомъ случаѣ, что онъ разсматриваетъ клапанъ не какъ приборъ, составляющій принадлежность пожарнаго насоса, а какъ приборъ, имѣющій общее приложение, когда нужно ввести давленіемъ воздухъ или воду въ сосудъ или закрыть ихъ тамъ.

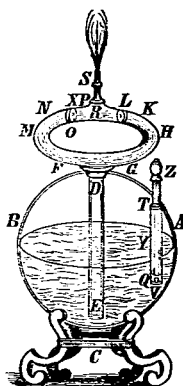
Клапаны, которые употребляются и теперь въ насосахъ и т. п., имѣютъ въ существенномъ то же устройство; только неподвижная часть $ABCD$ обыкновенно состоитъ изъ простого куска желѣза или дерева съ отверстіемъ, а подвижная часть $EFGH$ состоитъ изъ куска кожи, укрѣпленнаго съ одной стороны. Чтобы движеніе кожаного клапана происходило правильнѣе, его часто покрываютъ сверху и снизу деревяннымъ или металлическимъ кружкомъ, такъ что закрываетъ собственно только кожа по краямъ, непокрытая нижнимъ кускомъ металла или дерева (ср. рис. 226 и 227).

217. Изъ сочиненія Герона не видно, чтобы въ его время было извѣстно понятіе „крана“. Правда, Геронъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ описываетъ нѣчто такое, что можно считать краномъ, но эти описанія въ различныхъ приборахъ различны. Можно отмѣтить здѣсь, какъ тяжело переходить отъ многихъ отдѣльныхъ приспособленій, служащихъ для одной и той же цѣли, къ одному общему представленію и общимъ обозначеніямъ, если даже такой математикъ, какъ Геронъ, не имѣетъ еще одного

общаго наименованія для крана. Теперь мы привыкли считать кранъ особымъ приспособленіемъ даже и тогда, когда онъ составляетъ часть сложной машины. Въ слѣдующемъ приборѣ мы находимъ приспособленіе, дѣйствіе котораго гораздо проще могъ бы выполнить кранъ.

218. Геронъ описываетъ полный шаръ, изъ котораго вода можетъ выбрасываться на большую высоту, пока шаръ совершенно не опорожнится. Крѣпкій шаръ *AB* (рис. 221) на подставкѣ *C* имѣетъ сверху отверстіе. Въ это отверстіе впаяна трубка *DE*, доходящая почти до самаго дна. Вверху она развѣтвляется въ трубки *GHL* и *FMX*, которыя оканчиваются въ *L* и *X* узкими отверстіями. Между этими концами вдѣлана трубка *XRL* съ боковой трубкой *RS*. Эта трубка также имѣетъ по одному маленькому отверстію на каждомъ концѣ, которое приходится на соотвѣтственныя отверстія первой трубки, когда *RS* направлена вверхъ, но не приходится на послѣднія отверстія, а закрываетъ ихъ, когда трубка *XRL* обращена концомъ *RS* внизъ. Кроме того, въ этотъ шаръ наглухо впаяна трубка *TV*. Внизу она закрывается клапаномъ, открывающимся внутрь шара. Въ трубку *TV* можетъ вдвигаться, не пропуская воды, стержень *Z*. Сначала наливаютъ въ шаръ воду сквозь трубку *TV*, направивъ *RS* вверхъ для того, чтобы воздухъ, мѣсто котораго занимаетъ вода, могъ выйти наружу. Затѣмъ *RS* поворачиваютъ внизъ, чѣмъ закрываютъ отверстія въ *X* и *L*, и вдвигаютъ сверху стержень *Z* въ трубку *TV*. Благодаря этому вода вдавливаются сквозь клапанъ въ шаръ. Если затѣмъ снова потянуть стержень *Z* вверхъ, то вода не послѣдуетъ за нимъ, такъ какъ ее задержитъ клапанъ. Но воздухъ въ шарѣ занимаетъ теперь меньше, чѣмъ свое „естественное“ пространство (§ 209), и потому давить на воду. Наливъ нѣсколько разъ въ трубку *TV* воды и введя эту воду внутрь, повертываютъ трубку *XRL* концомъ *RS* вверхъ. Воздухъ внутри шара давить на воду и выбрасываетъ ее въ отверстіе *S*.

Рис. 221



Героновъ шаръ.

Изъ такихъ описаній можно заключить, что во времена Герона уже были хорошіе работники по металлу. Съ другой стороны интересно также замѣтить, какъ упростился этотъ приборъ съ теченіемъ времени. При той склянкѣ, которая такъ часто употребляется въ химическихъ лабораторіяхъ (рис. 222), металлическій шаръ замѣняютъ стекляннымъ сосудомъ, одна изъ двухъ впаянныхъ металлическихъ трубокъ — стеклянною трубкою *df*, проходящею сквозь пробку, стержень *Z* человѣческими легкими, а трубка съ развѣтвленіями и узенькимъ кончикомъ — просто загнутаю и оттянутаю стеклянною трубкою *ab*. Можно было бы также придѣлать кранъ къ трубкѣ, изъ которой вытекаетъ вода, но это лишнее. Если нужно прекратить истеченіе воды, то просто перестаютъ вдвухъ воздухъ.

Еще проще этой склянки такъ называемый Героновъ шаръ съ одною только трубкою (рис. 223), сквозь которую сначала вдвухъ воздухъ и изъ которой затѣмъ вода выбрасывается сжатымъ воздухомъ. Если нужно остановить истеченіе воды, то отверстіе стеклянной трубки просто закрываютъ пальцемъ.

219. Пожарный насосъ описывается Герономъ приблизительно въ слѣдующемъ

видѣ. Два цилиндра *AD* и *EH* (рис. 224), хорошо отполированные изнутри и снабженные плотно входящими поршнями *K* и *M*, соединены трубкой *PR*. Эти цилиндры находятся на подставкѣ, помѣщенной въ водѣ. Вода через клапаны можетъ входить въ цилиндры, но не можетъ выходить изъ нихъ. Кромѣ того, на каждомъ

Рис 222

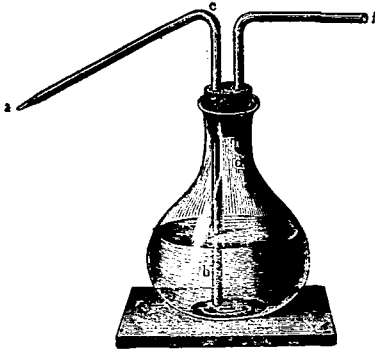
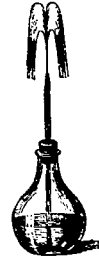


Рис. 223

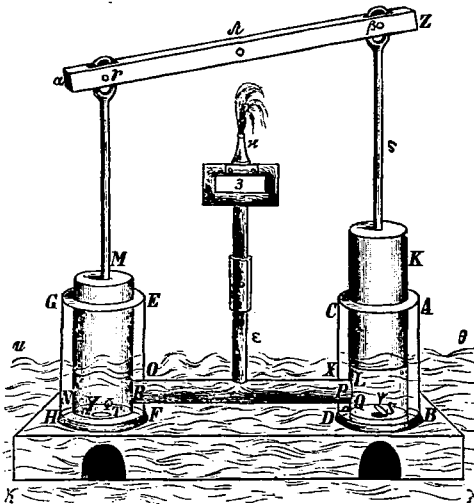


Героновъ шаръ съ одной трубкой.

Лабораторный сосудъ для наливанія воды.

концѣ трубки *PP* находится клапанъ, благодаря которому вода можетъ входить изъ цилиндра въ трубку, но не можетъ выходить изъ трубки въ цилиндръ. Отъ сере-

Рис. 224



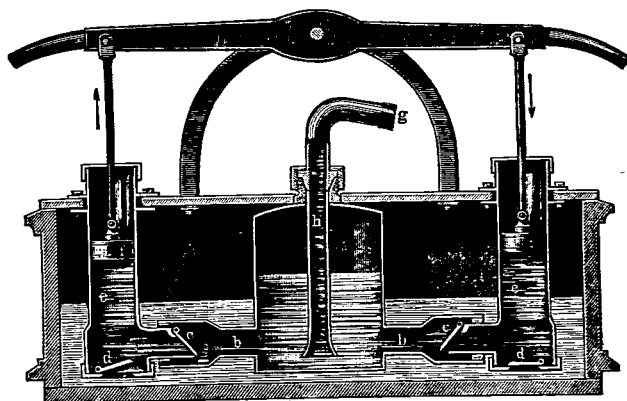
Пожарный насосъ Герона.

дины трубки *PR* подымается вверхъ другая трубка, которая оканчивается, какъ и трубка на рис. 221, развѣтвленіемъ и узкимъ наконечникомъ. Стержни поршней

вверху прикрѣплены къ поперечному стержню, который качается около своей середины, какъ коромысло въсовъ, и движеніе котораго попеременно подымаетъ и опускаетъ поршни въ цилиндрахъ. Когда поршень подымается, вода черезъ клапанъ на днѣ вступаетъ въ цилиндръ. Когда поршень опускается, вода вдавливается сквозь боковой клапанъ въ трубку *RR* и въ трубку съ развѣтвленіями и наконечникомъ, которая идетъ вверхъ. Такъ какъ Геронъ указываетъ на рисунокъ 221, не повторяя описанія наново, то, можетъ быть, онъ уже и здѣсь умѣлъ устраивать резервуаръ со сжатымъ воздухомъ для равномернаго истеченія воды.

Какъ мало измѣнился пожарный насосъ съ теченіемъ времени, видно изъ изображенія насоса, рис. 225, какъ онъ устраивается теперь. Мы находимъ здѣсь тѣ же существенныя части и даже въ такомъ же расположеніи: два цилиндра съ порш-

Рис. 225



Современный пожарный насосъ.

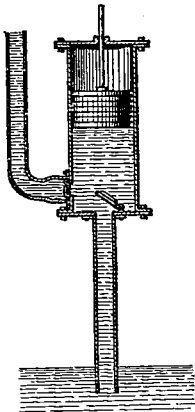
нями, приводимые въ движеніе рычагомъ, клапаны у дна и боковую трубку съ клапанами. Воздушный резервуаръ *a*, изъ котораго сжатый воздухъ выбрасываетъ воду наружу, отсутствуетъ на рисунокѣ Герона, хотя возможно, что въ самомъ насосѣ онъ былъ. Относительно наконечника Геронъ замѣчаетъ, что онъ долженъ быть устроенъ такъ, чтобы его можно было направлять во всѣ стороны. Поэтому выдающаяся часть его должна имѣть форму Γ (греческой буквы „Гамма“) и должна вращаться около нижней внутренней неподвижной части трубки. Въ этомъ отношеніи современный насосъ усовершенствованъ еще больше, такъ какъ рукавъ, навинчивающійся у *g* (рис 225), имѣетъ еще болѣе свободное движеніе.

220. Въ пожарномъ насосѣ мы имѣемъ уже и нагнетательный насосъ. Это тотъ же аппаратъ, служащій только для другой цѣли; а именно, онъ не выбрасываетъ воду сквозь короткую и узкую трубку, а вдавливаетъ ее въ длинную подъемную трубку. Для этой цѣли пользуются обыкновенно однимъ цилиндромъ, такъ что аппаратъ очень простъ, какъ показываетъ рис. 226. Цилиндръ имѣетъ въ днѣ клапанъ надъ трубкой, которая всасываетъ воду, и боковой клапанъ въ подъемной трубкѣ. Когда поршень подымается, вода по всасывающей трубкѣ вступаетъ черезъ

донный клапанъ въ цилиндръ, такъ какъ въ цилиндрѣ не можетъ образоваться безвоздушное пространство. Когда поршень движется внизъ, послѣдній клапанъ захлопывается и вода вытѣсняется черезъ боковой клапанъ въ подъемную трубку. Последняя часто снабжается воздушнымъ резервуаромъ, какъ пожарный насосъ; благодаря этому, дѣйствіе движенія поршня въ подъемной трубкѣ ослабляется и вода подымается вверхъ болѣе равномерно.

221. Когда и какъ развился всасывающій насосъ, неизвѣстно. На рис. 227 изображенъ такой насосъ, сдѣланный изъ дерева. Теперь эти насосы часто дѣлаются изъ желѣза. Всасывающая трубка *a* закрыта внизу сѣткой, не позволяющей твердымъ тѣламъ попадать въ насосъ.

Рис. 226



Нагнетательный насосъ.

Верхній конецъ всасывающей трубки закрывается клапаномъ, который открывается вверхъ. Въ то же время онъ является доннымъ клапаномъ для болѣе тщательно сработанной части насоса, въ которой происходитъ движеніе поршня. Самый поршень также просверленъ и наверху на немъ находится клапанъ, открывающійся вверхъ. Когда поршень подымается (при опусканіи рукоятки), то подъ нимъ не образуется безвоздушное пространство, а вода подымается въ трубку съ поршнемъ сквозь всасывающую трубку и донный клапанъ. Когда поршень опускается, то вода проходитъ сквозь него въ верхнюю часть цилиндра. Съ каждымъ движеніемъ поршня, такимъ образомъ, надъ нимъ собирается все больше воды и, когда она достигаетъ достаточной высоты, она начинаетъ выливаться изъ боковой трубки. Пока въ помпѣ нѣтъ воды, клапаны и поршень не закрываются вполне и потому въ помпу передъ началомъ работы вливаютъ немного воды.

222. Въ то самое время, когда Стевинъ и Галилей снова брались за гидростатику, въ Европѣ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ появился цѣлый рядъ переводовъ сочиненій Герона частью на латинскій языкъ, частью на другіе европейскіе языки. Нѣкоторые изъ этихъ переводовъ содержатъ ббльшія или меньшія добавленія, въ которыхъ сообщаются позднѣйшія изобрѣтенія. Обыкновенно въ этихъ книгахъ преслѣдуются практическія цѣли, такъ что въ этомъ возрожденіи Герона проявляется стремленіе заставить силы природы работать на пользу человѣка. Въ то время, какъ водяные часы развивались у арабовъ и у европейцевъ въ настоящія созданія искусства, все больше и больше начинали пользоваться естественнымъ паденіемъ воды для того, чтобы приводить въ движеніе ббльшія машины и производить болѣе значительныя работы. На рис. 228, 229, 230, 232 и 233 изображены примѣры изъ этихъ добавленій къ переводамъ Герона. Рис. 228 показываетъ, какъ при помощи нагнетательныхъ насосовъ вода подымается на „башню любой высоты“. Поршни движутся посредствомъ четырехъ ломанныхъ колѣнчатыхъ валовъ, изображенныхъ на рисункѣ отдѣльно слѣва. Ось, на которой находятся эти валы, приводится въ движеніе подливнымъ и наливнымъ водяными колесами. Очевидно, рисунокъ долженъ былъ изобразить оба рода водяныхъ колесъ.

Въ „добавленіяхъ“ описывается много двигателей (моторовъ), т. е. машинъ,

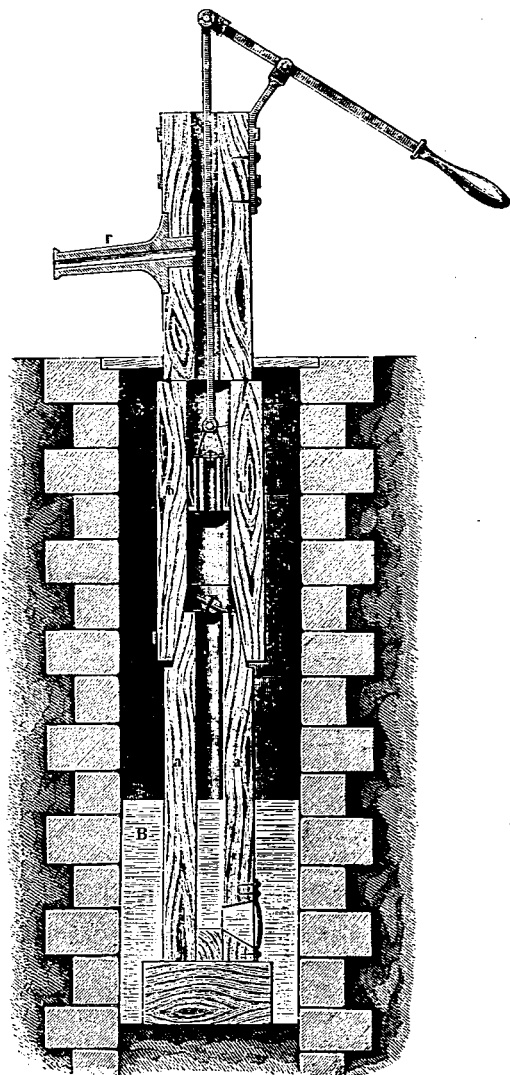
дающихъ движущую силу, а также много рабочихъ машинъ, т. е. машинъ, которыя переводятъ движеніе въ работу.

Рис. 229 показываеъ водяное колесо, которое при каждомъ своемъ оборотѣ при помощи насаженнаго на валъ зуба С, подымаетъ молотъ Е. Этотъ молотъ, освобождаясь, падаетъ всей своей тяжестью на кусокъ желѣза, который кузнецъ кладетъ на наковальню. Вѣроятно, подливное водяное колесо древнѣе всѣхъ другихъ водяныхъ колесъ. Оно употреблялось, повидимому, на Тибрѣ возлѣ Рима въ VI вѣкѣ по Р. Х. Въ этомъ колесѣ погруженныя въ струю воды лопатки приводятъ въ движеніе теченіемъ рѣки.

223. Встрѣчаются иногда также описанія и иныхъ двигателей, помимо водяныхъ. Такъ, въ добавленіяхъ можно найти ступальныя мельницы, которыя приводятъ въ движеніе людьми или животными. Рис. 230 представляетъ ступальную мельницу, которая приводится въ движеніе человѣкомъ и заставляеъ двигаться мукомольню. Можно также найти изображенія ступальной мельницы съ лопаткою, а также коннаго привода. Послѣдній, однако, не представляетъ ничего новаго, какъ видно изъ рис. 231, изображающаго размоль зерна въ древнемъ Римѣ.

224. „Добавленія“ сообщаютъ далѣе, что въ тѣхъ странахъ, гдѣ нѣтъ водяныхъ потоковъ съ достаточнымъ уклономъ, пользовались также силой вѣтра. Послѣднее

Рис. 227

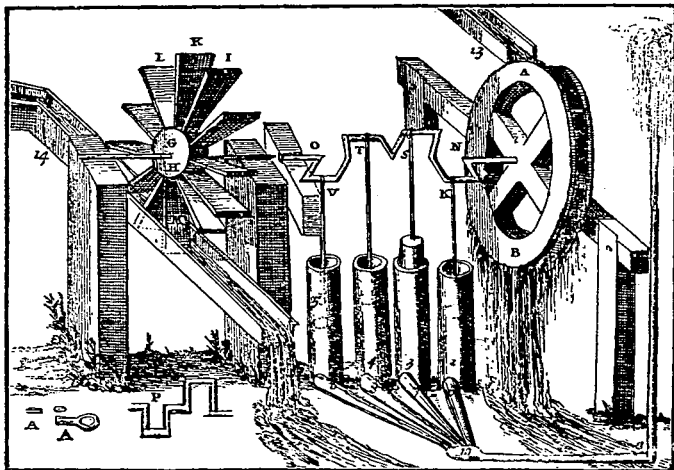


Всасывающій насосъ.

относится также къ азиатскимъ странамъ (Персія), гдѣ, вѣроятно, и зародилась вѣтряная мельница. Отсюда она перешла къ арабамъ.

Вашингтонъ Ирвингъ сообщаетъ объ этомъ въ своей исторіи калифовъ слѣдующее: „Въ числѣ персовъ, приведенныхъ въ рабство въ Медину, находился одинъ человѣкъ, по имени Фирусъ, принадлежавшій къ сектѣ маговъ или огнепоклонниковъ. Получивъ отъ своего господина приказъ отдавать изъ своего ежедневнаго заработка двѣ серебряныя монеты господину, онъ обратился съ жалобой на это къ Омару. Калифъ спросилъ о его занятяхъ и, узнавъ, что онъ былъ плотникъ,

Рис. 228



Насосы, приводимые въ движеніе водяными колесами.

искусный въ постройкѣ вѣтряныхъ мельницъ, отвѣтилъ, что человѣкъ, отличающійся въ такомъ ремеслѣ, можетъ выплачивать двѣ серебряныхъ монеты совершенно свободно. Разъяренный этимъ приговоромъ, Фирусъ двумя днями позже убилъ калифа въ мечети. Это произошло на 23 году Геджры или въ 644 году по Р. Х^ю.

Во время крестовыхъ походовъ европейцы познакомились съ вѣтряной мельницей и имѣются опредѣленные указанія, что она была извѣстна во Франціи въ 1105 году, а въ Англии въ 1143 году. Но, вѣроятно, еще много лѣтъ она принадлежала къ величайшимъ рѣдкостямъ, такъ какъ извѣстно, что нѣкій Бартоломео Верде рекомендовалъ венеціанцамъ построить вѣтряную мельницу въ 1332 году и что вѣтряная мельница была построена въ Шпейерѣ въ 1393 году. Но съ возобновленіемъ изученія Герона началось движеніе и здѣсь. Сначала надо было сдѣлать мельницу вращающейся соотвѣтственно направленію вѣтра. Такъ называемыя мельницы на козлахъ, рис. 232, могутъ вращаться около вертикальной стойки. „Голландская“ вѣтряная мельница изобрѣтена, повидимому, во Фландріи около 1650 г. Въ этой мельницѣ поворачивается къ вѣтру только крыша и крылья, остальная же часть мельницы остается неподвижной. Мельница, изображенная на рис. 233, приводитъ въ движеніе особую помпу (такъ называемую четковую помпу, Paternoster). Безконечная веревка

усажена шарами на равныхъ расстояніяхъ. Эта веревка огибаетъ два колеса, изъ которыхъ на рисунокѣ видно только верхнее. Нижнее колесо, невидимое на рисунокѣ, находится въ водѣ. Верхнее колесо приводится мельницею во вращеніе и часть веревки, идущая вверхъ, движется внутри гладкой трубы. Диаметръ этой трубы только немного больше диаметра шаровъ и при сколько-нибудь быстромъ движеніи веревки вода увлекается шарами вверхъ.

Эти и многія другія добавленія къ Герону, очевидно, обозначаютъ собою раз-

Рис. 229



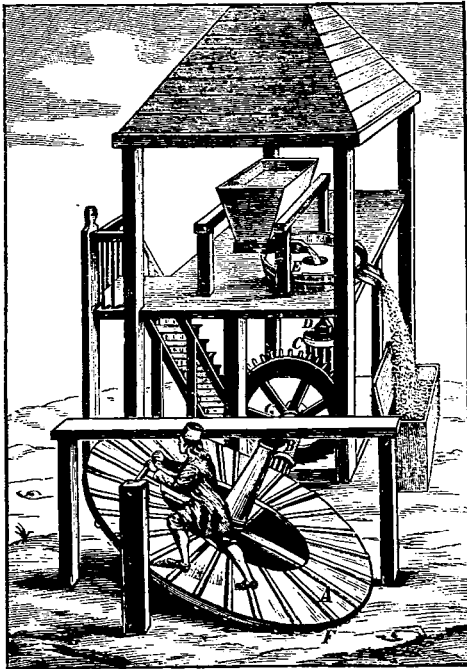
Молотовая мельница.

витіе машинъ и двигателей вообще. Въ этомъ развитіи игралъ роль и Соломонъ де Ко, о которомъ будетъ рѣчь ниже. Онъ также старался примѣнить на практикѣ указанія Герона относительно дѣйствія теплоты на пары. Мы встрѣчаемъ его, такимъ образомъ, въ ряду людей, занимавшихся приложеніями силы пара. Но прошло

много лѣтъ, прежде чѣмъ паровая машина стала на ту же высоту, что и названные двигатели, и, наконецъ, далеко превзошла ихъ.

225 Ремесла существовали, конечно, задолго до эпохи Возрожденія. Что въ древности были превосходные ремесленники, показываютъ сохранившіеся остатки ихъ дѣятельности въ Египтѣ, Помпеяхъ и другихъ мѣстахъ. Равнымъ образомъ давно существовали и нѣкоторые двигатели, напримѣръ, конный приводъ, водяное колесо и вѣтряная мельница. Но удивительно, какъ усердно занимались въ XVI и XVII вѣкахъ описаніемъ этихъ практическихъ приспособленій (двигателей и рабочихъ машинъ) въ

Рис. 230



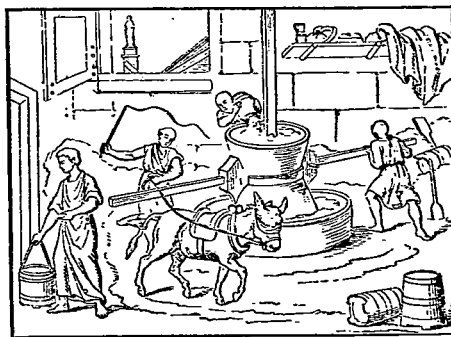
Ступальная мельница.

добавленіяхъ къ сочиненію математика и физика Герона, хотя многія изъ нихъ не имѣли никакого отношенія къ этому сочиненію. Въ то время какъ бы чувствовалась потребность привести въ связь съ наукой всю начинавшую развиваться технику и одновременно засвидѣтельствовать свое отношеніе къ наукѣ, какъ къ руководительницѣ. Съ этого времени теорія и практика постоянно находились въ плодотворной связи другъ съ другомъ. Наука извлекала для себя пользу изъ опытовъ промышленниковъ и инженеровъ, а успѣхи науки часто находили быстрое приложеніе на практикѣ, послѣ того какъ люди практики поняли, что завоеванія науки имѣютъ часто огромное практическое значеніе, хотя бы даже они казались иногда совсѣмъ ничтож-

Лакуръ и Анпелъ. Историческая Физика

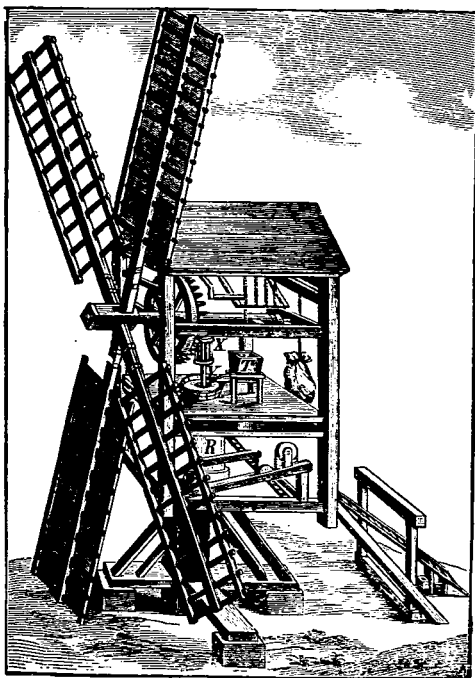
ными. Это взаимодѣйствіе привело къ значительнымъ результатамъ. Тѣ 200 или 300 лѣтъ, которыя протекли съ того времени, кажутся короткимъ промежуткомъ време-

Рис. 231



Мукомольня въ древнемъ Римѣ.

Рис. 232



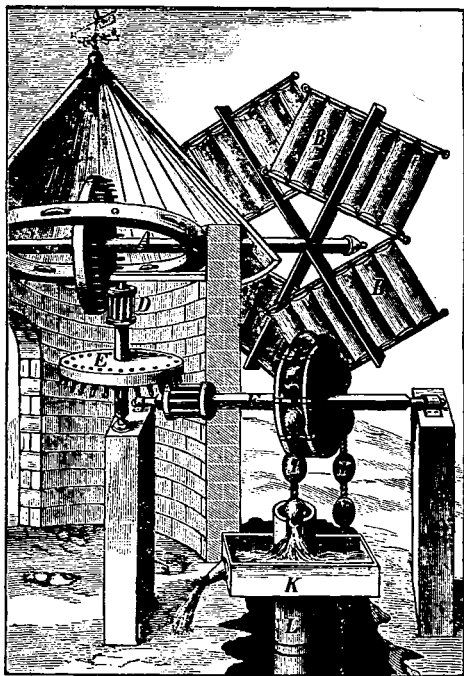
Мельница на козлахъ.

ни, если сравнить успѣхи въ познаніи и покореніи природы, сдѣланные за это время, съ тѣмъ, что дали предшествоующія тысячелѣтія.

226. вмѣстѣ съ постояннымъ расширеніемъ приложенія силы воды естественно возникъ вопросъ о величинѣ полезнаго дѣйствія, чтѣ необходимо приводило къ ясному опредѣленію понятія работы. Каждый фунтъ воды, могущій упасть на величину одного фута, имѣеть способность произвести работу, которую назвали фунтофутомъ. При счетѣ граммами и метрами за единицу работы принимается килограмметръ.

Если водяной потокъ доставляетъ въ секунду 1200 литровъ воды, которая падаетъ на водяное колесо съ высоты 2 м, то эта струя производитъ работу въ 2400

Рис. 233



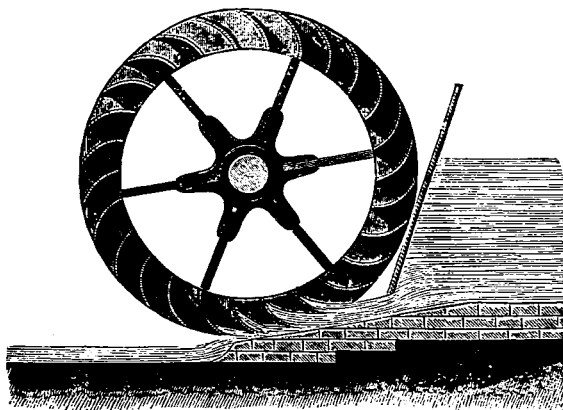
Голландская вѣтряная мельница.

килограмметровъ въ секунду. Ни одна водяная мельница не можетъ дать полного полезнаго дѣйствія. Дѣйствительное полезное дѣйствіе обыкновенно даютъ въ процентахъ работоспособности, какъ она опредѣляется массой воды и высотой паденія.

Для возможнаго повышенія полезнаго дѣйствія жолобу, который приводитъ воду къ лопаткамъ колеса, даютъ такую форму, чтобы онъ прилегалъ къ колесу возможно плотнѣе. Однако, избѣгать потери значительнаго количества работоспособности нельзя отчасти вслѣдствіе удара о лопатки, отчасти потому, что колесо не

можетъ прилегать къ жолобу совершенно плотно, главнымъ же образомъ потому, что отработавшая вода стекаетъ съ колеса съ значительной скоростью и, значитъ,

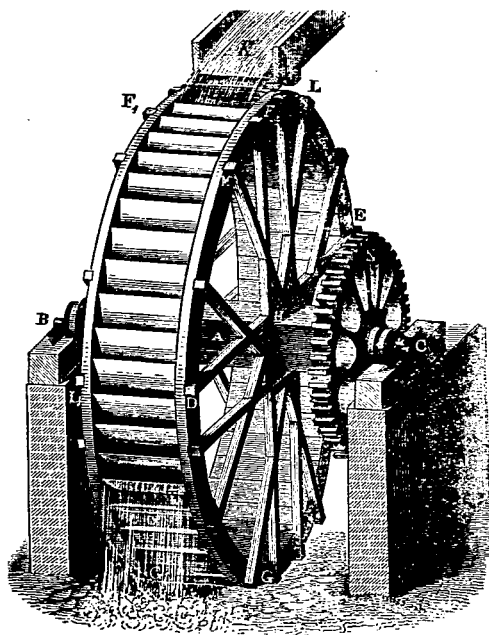
Рис. 234



Колесо Понселе.

обладаетъ еще большою энергіей (§ 182), которая для мельницы пропадаетъ. Наи-

Рис. 235



Наливное водяное колесо.

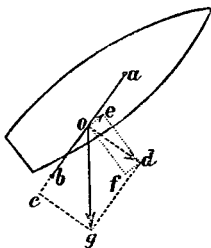
лучшее подливное колесо, предложенное Понселе, рис. 234, (французскій математикъ, 1788 — 1867), даетъ приблизительно 55% полезнаго дѣйствія.

Нѣсколько благоприятѣе условія наливнаго колеса. Его можно построить такъ, что его окружность будетъ состоять изъ большаго числа водяныхъ камеръ. Вода попадаетъ изъ жолоба въ эти камеры и давитъ своимъ вѣсомъ на одну сторону колеса. Но и здѣсь часть работоспособности воды пропадаетъ, такъ что въ наилучшемъ случаѣ получается 83% полезнаго дѣйствія (рис. 235).

227. При использованіи силы вѣтра дѣло состоитъ въ томъ, чтобы передать на крылья мельницы, а отъ послѣднихъ на ось, часть той энергіи, которою обладаютъ частицы движущагося воздуха, благодаря своей скорости.

Задолго до того, какъ стала извѣстна вѣтряная мельница, вѣтромъ, какъ двигателемъ, пользовались на парусныхъ судахъ. Чтобы понять это дѣйствіе, нужно обратиться къ предложенію о параллелограммѣ силъ (§ 176). Пусть ab (рис. 236) будетъ парусъ (видъ сверху) и пусть og представляетъ давленіе вѣтра на парусъ по величинѣ и по направленію. Это давленіе можно разложить на составляющія oc и od .

Рис. 236



Дѣйствіе вѣтра на парусъ.

Только послѣдняя составляющая производитъ давленіе на парусъ, а, слѣдовательно, и на судно, на которомъ укрѣпленъ парусъ. Сила od разлагается еще разъ на двѣ составляющихъ, изъ которыхъ одна, oe , идетъ по направленію длины корабля, а другая, of , перпендикулярна къ ней.

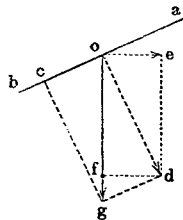
Рис. 238



Вѣтряная мельница.

Первая гонитъ судно впередъ, вторая—въ сторону, но немного, такъ какъ по всей своей конструкціи судно можетъ двигаться въ водѣ бокомъ только съ трудомъ. Какъ видно изъ рис. 236, судно можетъ идти впередъ и по косоу направленію относительно вѣтра.

Рис. 237



Дѣйствіе вѣтра на крылья мельницы.

Подобнымъ же образомъ объясняется дѣйствіе вѣтра на крылья вѣтряной мельницы. Если на рис. 237 og представляетъ направленіе и величину вѣтра и въ то же время и направленіе оси крыльевъ вѣтряной мельницы, то og разлагается на oc (недѣйствительное) и на od , а послѣдняя слагающая снова разлагается на of и oe . Послѣдняя составляющая и приводитъ крылья въ движеніе.

На самомъ дѣлѣ дѣло обстоитъ не такъ просто ни съ паруснымъ судномъ, ни съ вѣтряной мельницей. Дѣйствіе движущагося воздуха—увеличеніе давленія съ одной стороны и уменьшеніе его съ другой—очень слож-

но. Объясненіе, приведенное выше, можетъ дать общее понятіе объ этихъ явленіяхъ, но, собственно, эти отношенія требуютъ гораздо болѣе основательной разработки или же приходится довольствоваться эмпирическими измѣреніями этихъ дѣйствій. Давленіе на поверхность ab (рис. 237) вовсе не равно od и, кромѣ того, воздушный потокъ на другую сторону ab , гдѣ вѣтеръ разрѣжаетъ воздухъ, производитъ всасывающее дѣйствіе; это всасываніе тянетъ крылья впередъ.

На рис. 238 изображена современная вѣтряная мельница. Небольшое вѣтряное колесо на крышѣ должно поворачивать эту крышу такъ, чтобы крылья всегда становились къ вѣтру правильно. Оно движется въ ту или другую сторону, смотря по тому, съ какой стороны дѣйствуетъ на него вѣтеръ. Его ось при помощи зубчатыхъ колесъ соединяется съ механизмомъ, который двигаетъ крышу мельницы въ ту или другую сторону соотвѣтственно направленію вѣтра. Поверхности крыльевъ состоятъ изъ жалузи. Каждая изъ послѣднихъ при помощи особаго рычага можетъ открываться и закрываться. Всѣ эти маленькіе рычаги соединены съ большимъ стержнемъ, который, въ свою очередь, соединяется съ особой тягой. Послѣдняя проходитъ сквозь дыру вала колеса. Грузъ, дѣйствующій на главную тягу, заставляетъ жалузи закрываться, а вѣтеръ заставляетъ ихъ открываться. Такимъ образомъ, когда вѣтеръ силенъ, то онъ откроетъ жалузи, больше или меньше. Благодаря этому же приспособленію, вѣтеръ не можетъ оказывать также слишкомъ сильнаго дѣйствія на мельницу.

Воздушный океанъ

228. Когда Геронъ говоритъ (§ 209), что воздухъ есть тѣло, которое мѣшается, напримѣръ, водѣ войти въ сосудъ, если самъ воздухъ не имѣетъ выхода, то это не представляеть совершенной новости; Геронъ и не выдаетъ этого за новость, а говоритъ, что между различными воззрѣніями, которыя можно себѣ составить на этотъ счетъ, онъ считаетъ справедливымъ именно это. Въ то время вообще думали такъ же мало, какъ и теперь, о томъ, что свистящій звукъ, производимый въ воздухѣ быстро движущейся палкой, уже доказываетъ, что воздухъ есть тѣло и что подчеркнутыя Герономъ явленія также доказываютъ это. Мы движемся въ воздухѣ, мы простираемъ въ воздухѣ руки и двигаемъ въ немъ предметы, совершенно не думая о существованіи воздуха. Только при особыхъ обстоятельствахъ, напримѣръ, когда буря грозитъ опрокинуть насъ или когда сжатый въ воздушномъ огнивѣ воздухъ съ шумомъ выбрасываетъ поршень, мы мимоходомъ отдаемъ немного вниманія воздуху.

Этотъ вопросъ обсуждали многіе греческіе философы и Аристотелю казалось даже, что онъ доказалъ существованіе вѣса воздуха на опытѣ. Именно, онъ взвѣшивалъ пузырь сначала пустой, а затѣмъ раздутый, слѣдовательно, наполненный воздухомъ, и нашелъ, что въ послѣднемъ состояніи онъ вѣсилъ больше, чѣмъ въ первомъ. Но это, можетъ быть, произошло отъ ошибки взвѣшиванія, такъ какъ пустой и надутый пузырь вообще должны показывать на вѣсахъ одинаковый вѣсъ. Конечно, воздухъ имѣетъ вѣсъ, такъ что наполненный воздухомъ пузырь тяжелѣе пустого, но нужно думать, что взвѣшиваніе производилось въ воздухѣ, а здѣсь должно было имѣть мѣсто то же, что и при взвѣшиваніи въ водѣ: тѣло теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсняемый имъ воздухъ. Но такъ какъ воздухъ, содержащійся въ надutomъ пузырьѣ, вѣситъ почти какъ разъ столько же, сколько и воздухъ, вытѣсняемый пузыремъ, то едвали можетъ обнаружиться разница между пустымъ пузы-

ремь и пузыремь, наполненнымъ воздухомъ. Впрочемъ, возможно также, что въ опытѣ, который производилъ Аристотель, воздухъ въ пузырьѣ былъ нѣсколько сжатъ и потому имѣлъ нѣсколько бѣльшій вѣсъ, чѣмъ воздухъ, вытѣсняемый надутымъ пузыремъ.

Во всякомъ случаѣ, Геронъ указаль хорошія основанія считать воздухъ тѣломъ и опытъ, произведенный Аристотелемъ, повидимому, подтверждалъ это.

229. Галилей первый дѣйствительно доказаль, при помощи взвѣшиванія, что воздухъ имѣеть вѣсъ. Для этого опыта онъ пользовался не пузыремъ, а бутылкой, слѣдовательно, сосудомъ, который всегда имѣеть одинъ и тотъ же объемъ, независимо отъ того, наполненъ ли онъ воздухомъ или нѣтъ. Поэтому сила, поднимающая его въ воздухѣ вверхъ, остается въ обоихъ случаяхъ одна и та же, тогда какъ вѣсъ содержимаго измѣняется.

Галилей сжималь воздухъ въ бутылкѣ и нашель, что она отъ этого дѣлалась тяжелѣе. Взвѣсивъ ту же самую бутылку, наполненную водой, онъ нашель, что вода вѣситъ въ 400 разъ больше, нежели воздухъ. Это число, быть можетъ, и вѣрно, но оно не имѣеть никакой цѣны, такъ какъ въ одной и той же бутылкѣ можно сжать очень различныя количества воздуха. Галилей предлагаетъ еще другой способъ, а именно, сначала взвѣсить бутылку съ обыкновеннымъ (не сжатымъ воздухомъ), а затѣмъ выгнать воздухъ изъ бутылки посредствомъ нагрѣванія. Этотъ методъ взвѣшиванія „обыкновеннаго“ воздуха былъ бы хорошъ, еслибы дѣйствительно нагрѣваніемъ можно было выгнать воздухъ совершенно. Однако, это невозможно, а во времена Галилея другихъ средствъ для удаленія воздуха не знали.

230. Здѣсь нужно упомянуть о другомъ изслѣдованіи Галилея, касающемся, правда, совершенно другой области, но стоящемъ въ извѣстной связи съ указанными взвѣшиваніями, хотя Галилей и не замѣчалъ существованія такой связи.

Между прочимъ, Галилей изучаль твердость тѣлъ и изслѣдовалъ, какая сила нужна, чтобы разломать или разрушить тѣло. Ему, правда, не удалось разобраться въ этихъ соотношеніяхъ столь же совершеннымъ образомъ, какъ въ явленіяхъ движенія, но онъ все же сдѣлаль нѣсколько правильныхъ наблюденій, какъ, напримѣръ, то, что полая внутри балка имѣеть бѣльшую крѣпость, чѣмъ массивная балка того же вѣса и такой же длины. Онъ указываетъ при этомъ на цѣлесообразность того, что кости, перья птицъ и многіе стебли растений внутри пусты. Далѣе онъ говорить, что двѣ балки одинаковаго вещества и одинаковаго поперечнаго сѣченія, но различной длины выносятъ свою тяжесть не одинаково и что можно себѣ представить такую балку, которая не вынесеть собственной тяжести, а сломается подъ своимъ вѣсомъ. Потому-то для величины звѣрей существуетъ предѣлъ, за которымъ они ломались бы отъ своего собственнаго вѣса, и наиболѣе крупныя животныя находятся въ морѣ, въ которомъ тяжесть уменьшается вѣсомъ вытѣсняемой воды. Такимъ же образомъ, прибавляетъ Галилей, металлическая проволока, повѣшенная на одномъ концѣ, можетъ быть такой длинной и, значить, такой тяжелой, что разорвется сама по себѣ.

231. По мнѣнію Галилея эти явленія стояли въ связи съ однимъ наблюденіемъ, которое было сдѣлано во Флоренціи надъ дѣйствіемъ выкачивающихъ насосовъ. При помощи такихъ насосовъ хотѣли было поднять воду на значительную высоту, но помпы отказывались дѣйствовать. Приглашенный на совѣтъ Галилей изслѣдовалъ насосы и нашель, что они въ порядкѣ, но что они не поднимають воды вы-

ше, чѣмъ на 18 итальянскихъ локтей (приблизительно 10 м). Аристотель и за нимъ Геронъ придерживались взгляда, что пустота невозможна, и Аристотель выразился, что природа боится пустоты. Во времена Галилея выражеше „боязнь пустоты“ (*horror vacui*), какъ и многія другія Аристотелевсюя выражешя, напоминающія о человѣческихъ ошущеняхъ и мысляхъ, было во всеобщемъ употребленіи и физикамъ XVI и XVII вѣковъ стоило немалого труда отдѣлаться отъ нихъ.

Геронъ выразился по этому вопросу нѣсколько объективнѣе — онъ просто говоритъ, что въ дѣйствительности пустое пространство не можетъ существовать, такъ какъ его будутъ заполнять частицы окружающихъ тѣлъ.

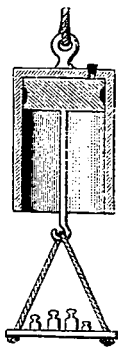
Галилей на мѣсто „боязни“ пустого пространства поставилъ болѣе удобное въ физикѣ выраженіе: „сопротивленіе“ пустотѣ. При этомъ онъ думаетъ о чѣмъ-то вродѣ сопротивленія упомянутой выше металлической проволоки своему разрыву. Это сопротивленіе можетъ быть преодолено и въ столбѣ воды, отдѣляющемся отъ поршня насоса, Галилей и видитъ аналогичное явленіе: столбъ воды становится такимъ тяжелымъ, что разрывается отъ своего собственнаго вѣса. Это, конечно, должно зависѣть только отъ длины, а не отъ ширины столба совершенно такъ же, какъ мѣдная проволока опредѣленной длины разрывается независимо отъ своей толщины.

Но слѣдовало бы ожидать, что оторвавшійся столбъ воды долженъ совершенно упасть. Во всякомъ случаѣ съ мѣдной проволокой дѣло происходитъ именно такъ. Но такъ какъ этого нѣтъ, то Галилей думалъ, что это „сопротивленіе пустотѣ“ имѣетъ опредѣленную величину, и такъ какъ висѣющій столбъ воды можетъ служить мѣрою величины этого сопротивленія, то онъ старался измѣрить его чисто механическимъ приспособленіемъ. Былъ взятъ цилиндръ, подвѣшенный дномъ вверхъ (рис. 239). Въ цилиндръ входилъ герметически пригнанный поршень, стержень котораго оканчивался крючкомъ. На этотъ крючокъ вѣшалась чашка съ разновѣсками.

Галилей былъ уже очень старъ, когда началъ заниматься этимъ вопросомъ, и только Торричелли удалось впервые вполнѣ выяснять его.

232. Эвангелиста Торричелли родился въ 1608 г. въ Фанциѣ. Въ Римѣ онъ посвятилъ себя изученію математики. Его учителемъ былъ Бенедетто Кастелли, бенедиктинецъ изъ Монтекасино, который помогалъ Галилею, въ дни его молодости, въ астрономическихъ наблюденіяхъ. Кастелли нашель, напримѣръ, что можно наблюдать изображеніе солнца и солнечныхъ пятенъ, отбросивъ изображеніе солнца, образуемое объективомъ зрительной трубы, на бѣлую поверхность (ср. § 102). Позднѣ Кастелли выдвинулъ пресловутыми статьями о движеніи воды и при папѣ Урбанѣ VIII былъ сдѣланъ завѣдывающимъ большими водопроводными сооружениями въ Римѣ. Въ 1641 г. на пути въ Венецію онъ посѣтитъ Галилея въ Арчетри близъ Флоренціи и между прочимъ рассказывалъ ему о молодомъ Торричелли, который занимался учешемъ Галилея о движеніи и разрабатывалъ его дальше. Слѣдствіемъ этого было то, что Торричелли пріѣхалъ въ Арчетри, жилъ здѣсь съ Галилеемъ нѣ-

Рис. 239

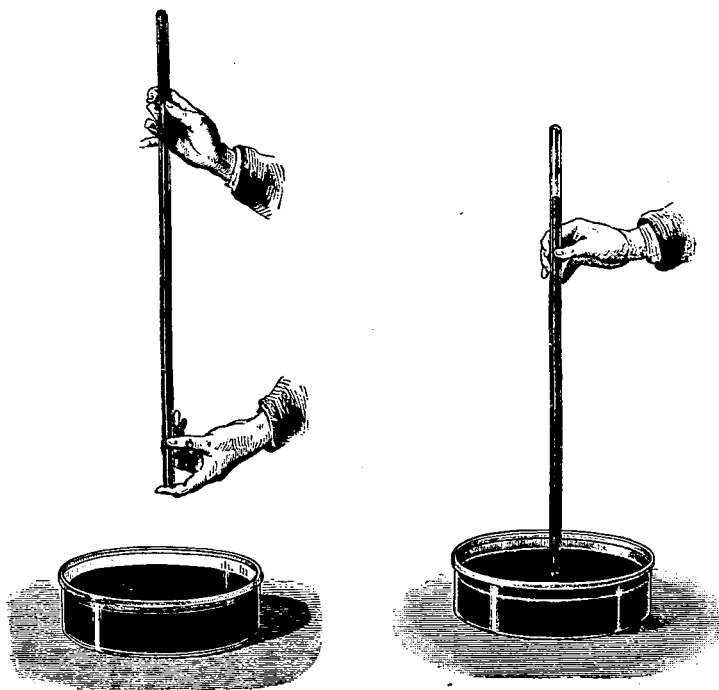


Галилеево
измѣреніе со-
противленія пу-
стотѣ.

сколько мѣсяцевъ до его смерти и въ это время записывалъ сообщенія Галилея о его различныхъ работахъ (§ 145).

233. По смерти Галилея Торричелли хотѣлъ вернуться въ Римъ, но великій герцогъ Тосканскій назначилъ его на то мѣсто, которое до него занималъ Галилей. Это побудило Торричелли взяться за дальнѣйшую разработку различныхъ вопросовъ, затронутыхъ Галилеемъ. Между прочимъ, онъ снова взялся за вопросъ о поднятіи воды въ пустой трубкѣ. Онъ понялъ, что для разъясненія этого вопроса было бы полезно замѣнить длинную непрозрачную трубу насоса стеклянной трубкой, а воду ртутью. Эту мысль онъ сообщилъ своему другу Вивіани, который произвелъ тогда слѣдующій опытъ. Онъ взялъ стеклянную трубку величиною приблизительно въ 1 м, на одномъ концѣ запаянную, наполнилъ ее доверху ртутью, закрылъ отверстие пальцемъ, перевернулъ трубку и погрузилъ ее отверстиемъ въ сосудъ съ ртутью. Когда онъ затѣмъ отнялъ палецъ, ртуть упала, но лишь настолько, что въ

Рис. 240



Опытъ Торричелли.

трубкѣ остался столбъ ртути, высота котораго равнялась приблизительно $\frac{1}{14}$ высоты столба воды въ насосахъ. Но ртуть въ четырнадцать разъ тяжелѣе воды. Этимъ подтвердилось предположеніе Торричелли, что всѣ столба жидкости въ обоихъ случаяхъ должны быть одинъ и тотъ же. Такимъ образомъ, настоящее явленіе не было сходно съ разрывомъ металлической проволоки подъ влияніемъ ея вѣса, такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ долженъ играть роль не только вѣсъ, но и крѣпость металла. Но предположеніе Галилея, что природа противопоставляетъ образованію пустого про-

странства известное сопротивление, не было опровергнуто опытом Торричелли. Это сопротивление было теперь только измерено новым способом, а, именно, вѣсомъ столба ртути.

234. Но теперь Торричелли напалъ на гениальную мысль, безконечно далекую отъ ученыхъ того времени, а именно, что причиной подъема воды или ртути является не внутреннее сопротивление образованію пустого пространства, а вѣшнее давленіе, которое дѣйствуетъ на воду въ колодцахъ и такимъ же образомъ на ртуть въ сосудѣ; это давленіе должно быть одинаково въ обоихъ случаяхъ, такъ какъ оно подымаетъ эти двѣ жидкости на высоту, обратно пропорціональную ихъ удѣльнымъ вѣсамъ (§ 205). Это давленіе, заключааетъ дальне Торричелли, можетъ быть, есть то, которое производитъ своимъ вѣсомъ воздухъ. А что воздухъ имѣетъ нѣкоторый вѣсъ, было доказано уже Галилеемъ. И такъ какъ количество воздуха очень значительно — Торричелли считалъ высоту атмосферы равной 50 милямъ — то вполне мыслимо, что воздухъ производитъ такое же давленіе, какъ масса воды въ 18 итальянскихъ локтей (10 м) глубиною или море ртути глубиною въ 760 мм.

Повторяя наблюденія высоты ртутнаго столба, Торричелли скоро замѣтилъ, что она мѣняется, и тотчасъ же понялъ, что причина этого лежитъ въ томъ, что воздушный океанъ не всегда имѣетъ одинъ и тотъ же вѣсъ въ данномъ мѣстѣ, но что давленіе на поверхности земли зависитъ отъ состоянія атмосферы въ данный моментъ, а именно, отъ температуры воздуха въ данномъ мѣстѣ. Онъ нанесть дальѣ, что этимъ приборомъ можно пользоваться для наблюденія за состоящимъ атмосферы и для указанія относительно погоды. Торричелли является изобрѣтателемъ барометра — прибора, при помощи котораго измѣряютъ, какъ тяжелъ (по гречески βάρος) воздухъ.

Теперь на мѣсто стараго воззрѣнія, что міръ всюду, гдѣ нѣтъ осязаемыхъ предметовъ, наполненъ воздухомъ, выступало новое воззрѣніе, что воздухъ охватываетъ землю кругомъ со всѣхъ сторонъ, какъ море, притомъ такое глубокое или такое высокое, что оно покрываетъ самыя высокія горныя вершины, хотя въ сравненіи съ величиною земного шара эта глубина довольно незначительна. Этимъ устранялась также трудность, которую представляло для Региомонтана и другихъ (§ 61) мнѣніе о движеніи земли, — они думали, что земля должна проходить сквозь воздухъ. Теперь было ясно, что воздушный океанъ земного шара уносится въ пространство вмѣстѣ съ нимъ. Вліяніе этого новаго представленія было весьма значительно.

235. Барометръ скорѣе принялъ форму, изображенную на рис. 241, которую онъ, наряду съ нѣкоторыми другими болѣе новыми формами (см. Метеорологію), сохранилъ до нынѣшняго дня. Длинное колѣно трубки сверху запаяно. Сосудъ на концѣ короткаго колѣна открытъ, такъ что воздухъ можетъ давить на ртуть. Столбъ ртути въ закрытомъ колѣнѣ (отмѣряемый отъ уровня ртути въ открытомъ колѣнѣ) даетъ величину давленія воздуха. Кромѣ известныхъ указаній относительно погоды: „ясно, переменнo, буря“ и т. д. на барометръ имѣется обыкновенно небольшая шкала, по которой можно отсчитывать высоту ртутнаго столба. На берегу моря средняя высота барометра составляетъ 28 парижскихъ дюймовъ или 760 мм.

236. Торричелли показалъ себя достойнымъ ученикомъ Галилея еще и въ другомъ отношеніи. Онъ далъ цѣнныя изслѣдованія о зрительной трубѣ и микроскопѣ, рекомендовалъ въ качествѣ довольно хорошихъ микроскоповъ „маленькіе сте-

клянные шарики, а также занимался разработкой и развитием учения о равновѣсїи и движенїи. Онъ нашелъ, напримѣръ, что если тѣла взаимно уравниваются другъ друга, то небольшое движеніе ихъ никогда не повышаетъ и не понижаетъ общаго центра тяжести (невозможность *Perpetuum mobile*, приводимаго въ движеніе грузами). Затѣмъ онъ нашелъ, что, если бросать тѣло съ извѣстной скоростью, но въ различныхъ направленїяхъ, то всѣ получающїеся параболическіе пути объемлются таюке параболой (рис. 242).

237. Далѣе, Торричелли изучалъ истечение воды изъ сосуда; это изученіе представляло въ то время особый интересъ въ виду его значенїя для водяныхъ часовъ. Здѣсь, между прочимъ, онъ нашелъ слѣдующій важный законъ: когда жидкость вытекаетъ изъ отверстїя въ сосудѣ, то ея скорость въ отверстїи имѣетъ какъ разъ ту величину, какую имѣла бы эта жидкость при паденїи съ высоты, равной разстоянїю отверстїя отъ поверхности жидкости, независимо отъ того, въ какомъ направленїи происходитъ истеченїе¹⁾. Это согласуется съ открытымъ впоследствии закономъ, что энергїя никогда не пропадаетъ (§ 182). Въ самомъ дѣлѣ, еслибы нужно было снова помѣстить въ сосудъ вытекшую воду, то ее надобно было бы поднять на высоту поверхности воды. Но это возможно для нея только при томъ условїи, что она подымается вверхъ съ тою же скоростью, какую она приобрѣла бы, еслибы падала съ данной высоты. Потому же и струя фонтана, какъ справедливо замѣчаетъ Торричелли, не можетъ подняться выше уровня воды, питающей фонтанъ. Въ дѣйствительности, ввиду всегда существующихъ сопротивленїй, струя никогда не достигаетъ этой высоты.

Рис. 241



Барометръ.

Торричелли нашелъ также, что вытекающая вода, совершенно такъ же, какъ другїя брошенныя тѣла, движется по параболѣ, и пользовался путемъ, который описываетъ струя, для опредѣленїя быстроты истеченїя. Если разрѣшить струю фонтана въ массу отдѣльныхъ капель, то каждая изъ этихъ капель описываетъ параболу, причемъ болѣе крутая или болѣе плоская форма этой параболы будетъ соответствовать направленїю, въ которомъ капля отдѣляется отъ струи. Совокупность этихъ путей различной формы, но связанныхъ опредѣленнымъ закономъ, производитъ прїятное впечатлѣнїе на нашъ глазъ и проявляющаяся во всемъ этомъ явленїи законмѣрность, безъ сомнѣнїя, представляетъ одну изъ главныхъ причинъ того, что фонтанъ вызываетъ въ насъ чувство восхищенїя.

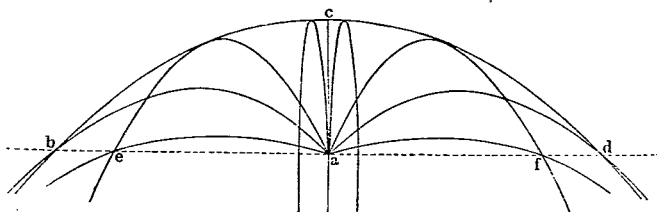
238. Торричелли умеръ во Флоренцїи въ 1648 году, всего на тридцать девять томъ году жизни. Но онъ жилъ достаточно долго, чтобъ остаться въ памяти потомства на вѣчныя времена. И удивительно, что именно этотъ человекъ въ одной

¹⁾ Если разстоянїе отъ поверхности будетъ d , то скорость истеченїя будетъ $v = \sqrt{2gd}$ (§ 149).

рѣчи, которую онъ произнесъ въ Римѣ въ Accademia della Crusca, утверждалъ, что посмертная слава не имѣетъ никакой цѣны. Для него всѣ люди послѣ смерти были одинаково знамениты.

239. Блезъ Паскаль является другимъ высоко одареннымъ ученымъ, который также дожилъ только до 39 лѣтъ и благодаря которому Торричеллево открытіе воздушнаго океана получило такое превосходное дополненіе. Паскаль родился въ Клермонѣ въ 1623 году. Въ 1631 году его отецъ оставилъ свою должность въ податномъ управленіи и переѣхалъ въ Парижъ, повидимому, затѣмъ, чтобы всецѣло отдаться воспитанію единственнаго сына. Согласно плану, заботливо составленному отцомъ заранѣе, сынъ долженъ былъ сначала заняться изученіемъ языковъ. Но бесѣды о математическихъ и естественнонаучныхъ вопросахъ, которыя его отецъ часто велъ со сво-

Рис. 242



Объемлющая парабола бросанія.

ими друзьями, направили любознательность мальчика въ другую сторону. Когда онъ началъ задавать вопросы объ этихъ вещахъ, отецъ просилъ своихъ друзей не говорить съ его сыномъ о математикѣ; онъ даже спряталъ имѣвшіяся у него математическія книги, такъ какъ считалъ цѣлесообразнымъ начинать обученіе математикѣ только позднѣе. Когда отецъ не уступилъ просьбѣ своего сына учить его математикѣ, сынъ попросилъ по крайней мѣрѣ объяснить, что такое математика. „Это искусство правильно чертить фигуры и искать соотношенія между ними“, объяснилъ ему отецъ, „но ты не долженъ заниматься этимъ“. Однако, велико было удивленіе отца, когда онъ, войдя черезъ нѣсколько времени въ комнату 12-лѣтняго мальчика, нашелъ его погруженнымъ въ разсматриваніе математическихъ фигуръ и узналъ, что, за отсутствіемъ учебника, онъ старался создать собственную математику самъ. Онъ выдумалъ особыя названія для различныхъ геометрическихъ фигуръ и самостоятельно нашелъ различныя теоремы, какъ, на примѣръ, теорему о суммѣ угловъ треугольника.

Теперь отцу пришлось отказаться отъ своего сопротивленія. Началось обученіе и молодой Паскаль сталъ дѣлать такіе успѣхи, что на 16 году жизни написалъ работу о коническихъ сѣченіяхъ, возбудившую величайшее удивленіе друзей его отца. Декартъ, также бывший въ ихъ числѣ, думалъ даже, что отецъ хотѣлъ подшутить надъ ними, выдавъ за работу сына свою собственную.

Блезъ Паскаль быстро успѣвалъ и по другимъ предметамъ, причемъ и здѣсь онъ не только воспринималъ, но и создавалъ самъ. Очень остроумная вычислительная машина и другіе математическіе приборы были результатомъ неустанной духовной дѣятельности юноши. Но отъ этой необычайно ранней зрѣлости духа его зло-

ровье страдало въ высшей степени. Уже въ возрастѣ 18 лѣтъ его тѣло было совершенно разрушено.

240. Въ 1648 году Паскаль услышалъ отъ Мерсенна (§ 171), одного изъ друзей его отца, состоявшаго въ перепискѣ съ весьма многими физиками того времени, объ опытѣ Торричелли. Онъ повторилъ этотъ опытъ какъ со ртутью, такъ и съ виномъ (въ трубкѣ длиною въ 40 футовъ) и имѣлъ удовольствіе ознакомиться съ пустотой, о которой много спорили и о которой онъ написалъ въ 1647 году статью еще до того, какъ сталъ подозрѣвать о существованіи давленія воздуха, такъ какъ Мерсеннъ сообщилъ ему только о самомъ опытѣ, но не объ его объясненіи.

Рис. 243



Блезъ Паскаль.

ртуть. Теперь палецъ удаляется отъ отверстія a , въ которое онъ сильно вытягивается, и въ то же мгновеніе столбъ ртути ab падаетъ въ чашку совершенно, а ртуть въ изогнутой части подымается вверхъ до высоты барометра (рис. 244 C). Такимъ образомъ ясно, что повышеніе ртути въ верхней части трубки обусловлено не какимъ-нибудь внутреннимъ притяженіемъ, а наступаетъ только тогда, когда воздухъ можетъ давить на ртуть въ другомъ колѣнѣ.

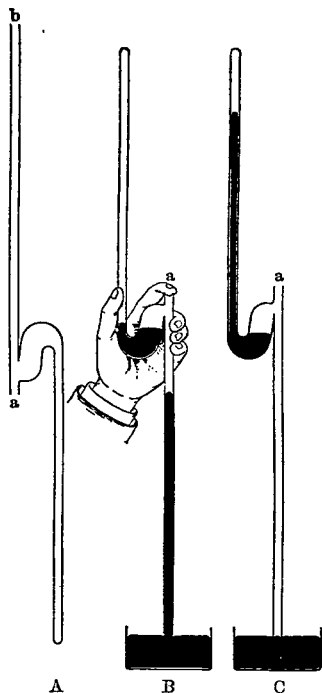
241. Другое доказательство, придуманное Паскалемъ, состояло въ изслѣдованіи, меньше ли давленіе воздуха у вершины горы, чѣмъ у ея подножія, или нѣтъ. Въ самомъ дѣлѣ, если ртуть въ барометрѣ подымается вверхъ вслѣдствіе тяжести воздуха, то на вершинѣ горы высота барометра должна быть меньше, такъ какъ тамъ надъ барометромъ лежитъ менѣе высокій слой воздуха, чѣмъ въ точкѣ, расположенной у подножія горы. Паскаль просилъ въ 1648 году своего зятя Перье въ

Въ томъ же году онъ узналъ и это объясненіе, которое нашелъ превосходнымъ и въ справедливости котораго онъ не сомнѣвался. Однако, Паскаль считалъ его недостаточно обоснованнымъ и потому самъ далъ два превосходныхъ доказательства его правильности. Одно доказательство, которое онъ называлъ доказательствомъ пустоты въ пустотѣ, онъ далъ при помощи очень простаго прибора. Стеклянная трубка, имѣющая форму рис. 244 A съ отверстіями въ a и b , сначала наполняется въ наклонномъ положеніи ртутью доверху, причѣмъ отверстіе a закрывается пальцемъ. Затѣмъ затыкается пальцемъ также отверстіе b , трубка переворачивается и опускается концомъ b въ сосудъ съ ртутью B, поелѣ чего, наконецъ, палецъ отнимается отъ отверстія b (но не отъ a). Часть ртути переходитъ въ сосудъ и въ трубкѣ ab остается столбъ ртути, имѣющій высоту барометра, а также извѣстное количество ртути въ изогнутой части трубки; въ длинномъ колѣнѣ ртуть стоитъ не выше, чѣмъ въ широкомъ, такъ какъ тамъ ничего нѣтъ, что давило бы на

Клермонъ разслѣдовать этотъ вопросъ на горѣ Пюи-де-Домъ (Puи de Dôme). Перъе наблюдалъ барометръ у подножія горы, а самъ Паскаль поднялся на гору и наблюдалъ барометръ на ея вершинѣ. Оказалось, что высота барометра на вершинѣ была на 3" 1·5" (три дюйма полторы лишні) ниже, чѣмъ у подножія горы. Этотъ опытъ сейчасъ же помогъ выясненію представленія о воздушномъ океанѣ. Чѣмъ ближе подыматься къ поверхности этого моря, тѣмъ меньше оказываемое имъ давленіе.

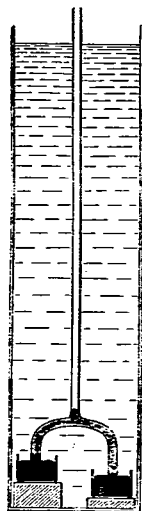
242. Поелѣ открытія воздушнаго океана и давленія атмосферы теорія сифона, предложенная Герномъ (§ 211), должна была принять иную форму. Причиной того, что жидкость въ сифонѣ не раздѣляется и не стекаетъ по обоимъ колѣнамъ, лежитъ не въ невозможности пустоты, а въ давленіи воздуха. Потому-то сифонъ и перестаетъ дѣйствовать, когда онъ такъ высокъ (выше 32 футовъ), что вода не уравновѣшивается давленіемъ воздуха. Чтобы показать это, Паскаль построилъ приборъ,

Рис. 244



Опытъ Паскаля съ давленіемъ воздуха.

Рис. 245



Приборъ Паскаля для объясненія сифона.

изображенный на рис. 245. На днѣ высокаго сосуда, наполненнаго водою, стоять двѣ чашки съ ртутью. Ртуть одной чашки сообщается съ ртутью другой посредствомъ изогнутой трубки. Отъ верхней части этой соединительной

трубки идетъ сквозь воду до верхней поверхности прямая трубка. Своимъ давленіемъ вода вгоняетъ ртуть по вилообразной трубкѣ вверхъ. Если теперь приподнять слегка одинъ изъ сосудовъ съ ртутью, то ртуть переходитъ изъ перваго сосуда во второй, но только въ томъ случаѣ, если давленіе воды на ртуть такъ велико, что соединительная трубка заполняется ртутью совершенно. Если же удалить такое

количество воды, чтобы ртуть въ двухъ колѣнахъ трубки оставалась разъединенной, то ртутный сифонъ перестаетъ дѣйствовать.

Въ согласіи съ этимъ Паскаль нашелъ, что водяной сифонъ вышиной въ 40 футовъ не дѣйствуетъ, но если держать его наклонно, такъ чтобы его высота по отвѣсу была меньше 32 футовъ, то онъ начинаетъ дѣйствовать. Равнымъ образомъ, ртутный сифонъ длиною въ одинъ метръ начинаетъ дѣйствовать только тогда, когда онъ приводится въ достаточно наклонное положеніе.

243. Паскаль изучалъ давленіе жидкостей и, не зная работъ Стевина (§ 187), самостоятельно построилъ такъ называемый сосудъ Паскаля. Ему также въ болѣе степени, нежели Торричелли, принадлежитъ заслуга доказательства, что законы давленія жидкостей въ существенномъ вѣрны и для воздуха. Онъ дѣлалъ расчеты вродѣ слѣдующаго.

Окружающій землю воздушный океанъ долженъ имѣть такой же вѣсъ, какъ океанъ воды глубиною въ 32 фута и океанъ ртути глубиною въ 0.76 м. Если извѣстна величина земной поверхности, то можно вычислить вѣсъ всего воздушнаго океана. Если принять радіусъ земли равнымъ 860 милямъ, то поверхность земли должна составлять около 9 миллионновъ квадратныхъ миль. Вѣсъ воздушнаго океана равенъ вѣсу $\frac{32}{24000} \times 9\,000\,000$ или около 12 000 куб. миль воды.

На каждый квадратный дюймъ дѣйствуетъ давленіе, равное вѣсу столба воды высотой въ 32 фута, съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 квадрат. дюймъ. Этотъ столбъ воды имѣетъ въ объемѣ $\frac{32}{144} = \frac{2}{9}$ куб. фута и, значитъ, вѣситъ 14 фунтовъ, такъ какъ одинъ кубическій футъ воды вѣситъ 63 фунта¹⁾. Это давленіе дѣйствуетъ не только по направленію сверху внизъ, но, по законамъ давленія въ жидкостяхъ, такоже и въ стороны и снизу. Такимъ образомъ, на поверхность человѣческаго тѣла — а ее можно принять равной 12 квадратнымъ футамъ — дѣйствуетъ давленіе въ $12 \times 144 \times 14 = 24\,192$ фунта. Паскаль, однако, обращаетъ вниманіе на то, что существуетъ соотвѣтственное давленіе изнутри наружу и притомъ не только въ легкихъ и въ другихъ полостяхъ тѣла, въ которыя проникаетъ воздушный океанъ. Въ тканяхъ тѣла воздухъ также находится подъ соотвѣтственнымъ давленіемъ. Это давленіе производитъ то, что, если высосать изъ наперстка воздухъ, то кожа втягивается въ него, что кровь вытекаетъ въ кровососныя банки при кровопусканіи и т. д. Отъ внезапнаго уменьшенія внѣшняго давленія кровь выступаетъ изъ тончайшихъ сосудовъ въ глазахъ, въ носу и т. д. Напротивъ, медленное измѣненіе давленія переносится легко, такъ какъ внутреннее давленіе постепенно подгоняется къ внѣшнему. Въ виду этого возможно, что человѣкъ можетъ выжить даже при давленіи въ одну четверть атмосферъ, а медленное повышеніе давленія до нѣсколькихъ атмосферъ онъ можетъ выносить хорошо.

244. Во времена Паскаля въ Цистерціанскомъ монастырѣ Поръ-Рояль (Port-Royal) близъ Фонтенбло, которому принадлежала также недвижимость въ Парижѣ, поселились приверженцы голландскаго богослова Янеена. Эти такъ называемые янеенисты присоединились къ ученію Августина о безконечности милосердія Божія и стремились жить, согласно первоначальнымъ положеніямъ церкви, въ работѣ, воздержаніи и любви къ ближнему. Это привело ихъ къ рѣзкому столкновенію съ іезуита-

¹⁾ Давленіе воздуха на квадратный сантиметръ составляетъ приблизительно одинъ килограммъ.

ми. Паскаль все болѣе и болѣе чувствовалъ влеченіе къ янсенистамъ. Въ возрастѣ 27 лѣтъ онъ совершенно оставилъ свою научную дѣятельность, такъ какъ пришелъ къ убѣжденію, что хорошо употреблено только то время, которое идетъ на молитву, на религиозныя размышленія и на проявленія христіанской любви къ ближнимъ. Временами, однако, его настоящая натура прорывалась. Такъ, однажды плодомъ безсонной ночи была работа о циклоидѣ, которая возбудила удивленіе всѣхъ математиковъ того времени. Днемъ и ночью Паскаль читалъ библію, которую выучилъ почти наизусть. Кромѣ того, онъ началъ усиленно заниматься литературной дѣятельностью въ религиозномъ направленіи. Въ рядѣ появившихся безъ подписи писемъ, такъ называемыхъ Писемъ Провинціала, которыя постепенно перешли въ самыя рѣзкія нападки на іезуитовъ, онъ защищалъ янсенистовъ противъ іезуитовъ. Эти письма выдержали болѣе 60 изданій и имѣли огромное значеніе для развитія французскаго литературнаго языка. — Паскаль умеръ въ 1662 году.

245. Въ то время какъ Паскаль во Франціи обратилъ свое вниманіе на воздушный океанъ и на его дѣйствія вообще, другіе—можно сказать, по какому-то мистическому любопытству—обращали свои взгляды больше на само пустое пространство или на Торричелліеву пустоту, какъ стали называть это пространство. Это чудесное пространство, которое ничего не содержитъ, въ существованіи котораго всегда сомнѣвались и которое даже отрицали, всетаки существовало и какими чудесными

Рис. 246



Отто фонъ-Герике.

свойствами, слѣдовало думать, оно должно обладать! Любознательность, возбужденная открытіемъ Торричелли, распространялась все шире и, наконецъ, захватила въ круги, гдѣ даже уже не знали, чѣмъ она собственно была вызвана. Такимъ образомъ и могло выйти, что вопросъ стали разсматривать съ совсѣмъ новой стороны и что получились совершенно новые результаты.

Между людьми, которыхъ навелъ на экспериментированіе интересъ, возбужденный вопросомъ о пустомъ пространствѣ въ срединѣ XVII вѣка, нужно особенно отмѣтить Отто фонъ-Герике. Это былъ больше искусный экспериментаторъ, чѣмъ ученый физикъ. Сынъ сельскаго старосты Іоганна Герике, онъ родился въ 1602 году въ Магдебургѣ. Въ Лейпцигѣ, Гольмштеттѣ и Іенѣ онъ изучалъ сначала правовѣдѣніе. Затѣмъ онъ отправился въ Лейденъ, чтобы тамъ отдаться изученію математики и механики. Это было въ 1623 году, значить, едва лишь три года послѣ смерти Стевина, и Герике, безъ сомнѣнія, слушалъ здѣсь молодого высоко одареннаго Снелля, который въ то время былъ въ Лейденѣ профессоромъ математики (§ 106).

Обѣздивъ Францію и Англию, Герике вернулся въ родной городъ, гдѣ въ 1627 г. сталъ ратманомъ. Послѣ разрушенія Магдебурга онъ перешелъ на шведскую службу

и былъ сдѣланъ старшимъ инженеромъ въ цитадели Эрфурта. Въ 1646 году онъ сталъ бургомистромъ Магдебурга. Эту должность Герике занималъ много лѣтъ. Въ возрастѣ 79 лѣтъ онъ ушелъ на покой и послѣдніе пять лѣтъ жизни прожилъ у своего сына въ Гамбургѣ, гдѣ и умеръ въ 1686 году.

Когда Герике началъ заниматься опытами съ безвоздушнымъ пространствомъ, онъ, повидимому, не имѣлъ почти никакихъ свѣдѣній объ опытахъ Торричелли и Паскаля, которые собственно и возбудили интересъ къ этому дѣлу.

246. Герике хотѣлъ получить пустое пространство просто выкачиваеиъ воды изъ бочки, въ которую не могъ входить воздухъ. Онъ наполнилъ бочку водою, повернулъ ее затычкой внизъ (рис. 247) и наглухо привинтилъ къ ней трубку насоса изъ мѣди, который служилъ пожарной трубой. Этотъ насосъ былъ снабженъ кра-

Рис. 247



Выкачиваніе бочки (Герике).

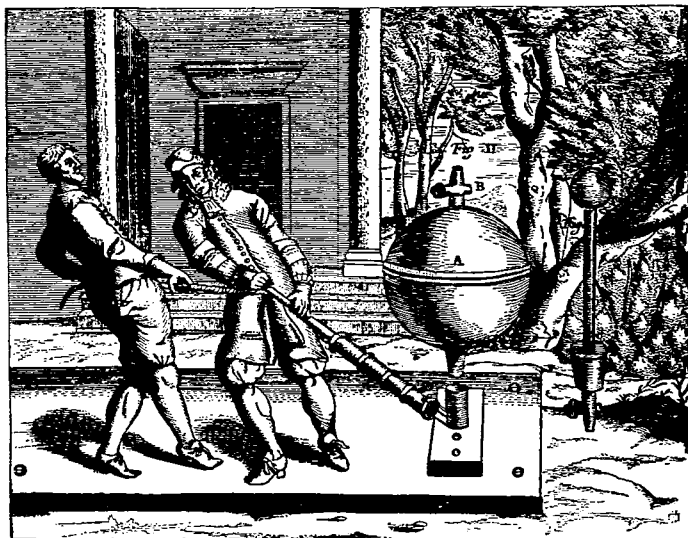
номъ *a*, черезъ который вода могла входить изъ бочки въ насосъ. Попавшая въ насосъ вода могла затѣмъ удаляться изъ трубки черезъ кранъ *b*. Вытягивать поршень оказалось „для трехъ крѣпкихъ людей“ тяжелѣе, чѣмъ ожидалъ Герике, и въ первый разъ аппаратъ лопнулъ. Во второй разъ приборъ выдержалъ испытаніе, но въ бочкѣ было слышно сильное кипѣніе и Герике тотчасъ понялъ, что въ бочку сквозь дерево входилъ воздухъ. Тогда Герике помѣстилъ эту бочку въ другую, большіхъ размѣровъ, наполненную водою. Теперь воздухъ во всякомъ случаѣ не могъ входить въ бочку, изъ которой онъ выкачивался, такъ какъ она была окружена со всѣхъ сторонъ водою, а вода, думалъ Герике, проходитъ сквозь дерево не такъ свободно, какъ воздухъ.

Но теперь вообще ничего не вышло. Трое крѣпкихъ людей не могли двинуть поршня. Герике подумалъ, что, можетъ быть, воздухъ легче выкачивать, чѣмъ воду,

и потому соорудилъ большой мѣдный шаръ съ краномъ. Этотъ шаръ не наполнялся водою, а непосредственно былъ прикрѣпленъ къ насосу (рис. 248). Сначала выкачиваше шло легко, а затѣмъ, оно становилось все тяжелѣе и наконецъ двое дюжихъ людей (*viri quadrati*) едва могли двигать поршень, а какъ только они кончили, шаръ съ сильнымъ шумомъ сразу сплющился.

Тогда Герике заказалъ болѣе крѣпкій шаръ. Съ этимъ шаромъ опытъ удался, хотя онъ стоилъ большой работы, и когда Герике открылъ кранъ, онъ имѣлъ удовольствие слышать, какъ свистѣлъ воздухъ, входя въ шаръ.

Рис. 248



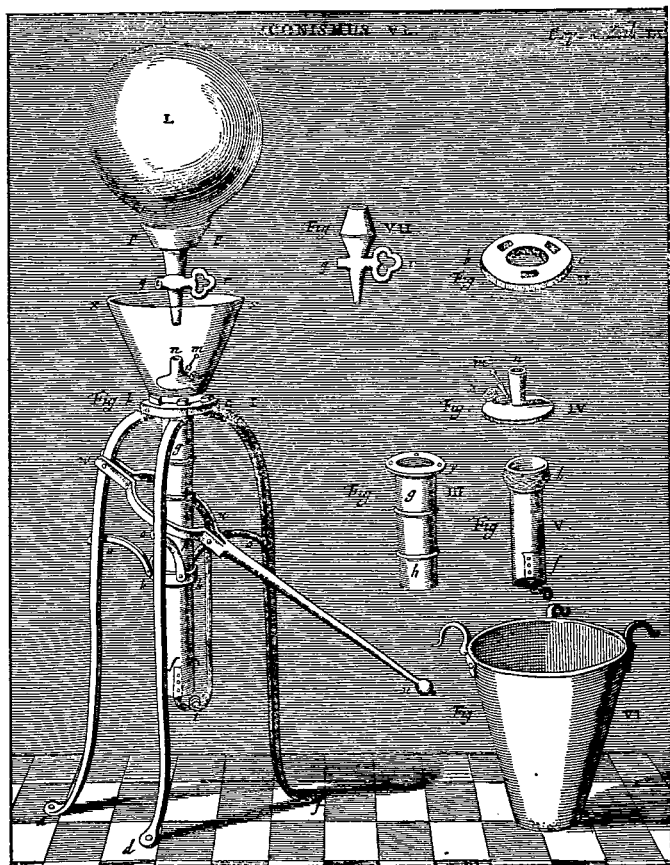
Выкачиваше мѣднаго шара (Герике).

247. Послѣ этихъ предварительныхъ опытовъ Герике соорудилъ особый воздушный насосъ, рис. 249. Въ срединѣ треногаго штатива помѣщался въ отвѣсномъ положеніи цилиндръ. Стержень поршня *f*, входившій въ цилиндръ снизу, приводился въ движеніе при помощи рычага *h*. Кромѣ того, насосъ былъ снабженъ, какъ и прежніе приборы, клапаномъ и краномъ; а то пространство, изъ котораго выкачивался воздухъ, былъ большой стеклянный шаръ *L*, къ которому герметически пригонялась часть насоса съ краномъ *qr*. Эта часть своимъ нижнимъ концомъ приходилась въ верхній конецъ цилиндра. Такъ какъ эти соединенія легче сдѣлать непроницаемыми для воды, чѣмъ для воздуха, то они были окружены сосудомъ *xx*, наполненнымъ водою.

248. Если мы теперь пересмотримъ тѣ многочисленныя опыты, которые произвелъ Герике съ этой машиной, то замѣтимъ, что Герике выказывалъ особое предпочтеніе опытамъ, возбуждающимъ изумленіе. Съ другой стороны надо, однако, сказать, что онъ стремился расширить человѣческое знаніе и что онъ нашелъ въ этой области довольно важныя вещи.

Къ явленіямъ взрыва въ собственномъ смыслѣ слова можно отнести выкачиваніе тонкостѣнныхъ стеклянныхъ сосудовъ. Давленіе внѣшняго воздуха съ шумомъ разбиваетъ ихъ такъ же, какъ сплющиваетъ упомянутый выше мѣдный шаръ. Въ настоящее время подобный опытъ часто выполняется такъ, какъ онъ изображенъ на рис. 250: цилиндръ обвязывается пузыряремъ и послѣдній при выкачиваніи воздуха разрывается.

Рис. 249



Воздушный насосъ О. ф. Герике.

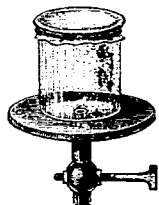
Сюда относится также торжественный опытъ, который былъ произведенъ Герике въ 1654 г. на Регенсбургскомъ рейхстагѣ передъ императоромъ Фердинандомъ III и чинами рейхстага.

Два полыхъ полушара, діаметромъ въ $\frac{2}{3}$ локтя, были такъ аккуратно прішлифованы по краямъ, что при небольшой смазкѣ саломъ и при нажатіи другъ къ другу они закрывались совершенно герметически. Воздухъ выкачивался изъ нихъ

сквозь отверстие, снабженное краномъ, а затѣмъ къ каждому полушарію было припрѣжено по 8-ми лошадей (рис. 251). Только съ величайшимъ трудомъ лошади могли разнять полушарія, а когда это случилось, то послышался сильный шумъ. — Поперечное сѣченіе шара было приблизительно равно 200 квадратнымъ дюймамъ, и если воздухъ былъ выкачанъ хорошо, то полушарія прижимались другъ къ другу давлениемъ въ 200×14 или 2800 фунтовъ на каждое полушаріе. Подобный приборъ меньшихъ размѣровъ можно найти въ настоящее время въ собраніи физическихъ приборовъ каждой школы подъ названіемъ „Магдебургскихъ полушарій“.

Тогда же Герике произвелъ опытъ, въ которомъ пятьдесятъ здоровыхъ людей не были въ состояніи сопротивляться маленькому движенію пальца одного человѣка.

Рис. 250



Разрывъ пузыря атмосфернымъ давлениемъ.

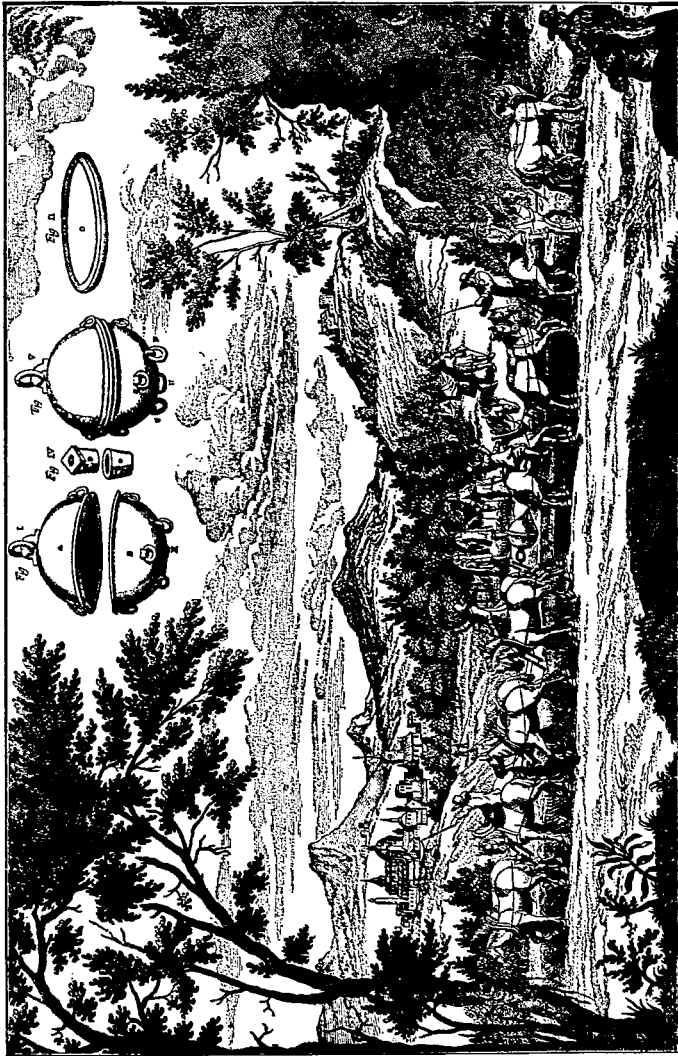
Мѣдный цилиндръ діаметромъ въ $\frac{3}{4}$ локтя былъ укрѣпленъ на деревянномъ столбѣ (рис. 252). Отъ стержня поршня шла, перекидываясь черезъ блокъ, веревка, на концѣ раздѣленная на части такъ, что за нее одновременно могли тянуть 50 человѣкъ. Нижняя часть этого цилиндра сообщалась съ безвоздушнымъ шаромъ, который на нѣкоторое время закрывался краномъ. Теперь 50 человѣкамъ былъ отданъ приказъ тянуть веревку изо всей силы, благодаря чему поршень подымался немного вверхъ. Затѣмъ открывался кранъ и цилиндръ приводился въ сообщеніе съ безвоздушнымъ шаромъ. Небольшое количество воздуха изъ цилиндра переходило въ шаръ и прежніе 50 человѣкъ уже не могли удержать поршень на прежней высотѣ, а должны были нѣсколько отдать его.

249. Только на упомянутомъ рейхстагѣ узналъ О. ф. Герике объ открытіи Торричелли и Паскаля; но въ это время онъ уже самъ сдѣлалъ эти открытія и притомъ инымъ путемъ (рис. 253). Онъ соединилъ герметически нѣсколько трубъ, такъ что онѣ составили вмѣстѣ трубку длиною въ 19 магдебургскихъ локтей. Въ мѣстахъ соединенія были сдѣланы кольцеобразные жолоба, въ которые наливалась вода для того, чтобы сдѣлать соединеніе возможно лучше. На верхнемъ закрытомъ концѣ былъ придѣланъ на боковой трубкѣ кранъ. Эта трубка соединялась съ безвоздушнымъ шаромъ и при открытіи крана воздухъ отчасти высасывался изъ длинной трубки. Вода подымалась въ трубкѣ и, когда она достигала такой высоты, какой только могла достигнуть послѣ многократнаго высасыванія воздуха при помощи безвоздушнаго шара, кранъ закрывался. На кускѣ пробки, плававшемъ на водѣ, была укрѣплена маленькая человѣческая фигурка, указывавшая на нанесенныя на стеклѣ мѣтки. Герике замѣтилъ, что этотъ водяной столбъ постоянно подымается и опускается и что эти колебанія находятся въ связи съ измѣненіями погоды. Поэтому онъ назвалъ плавающую на водѣ фигурку „человѣчкомъ погоды“.

250. Герике понялъ также, что это явленіе вызвано вѣсомъ воздуха. Онъ взвѣшивалъ полный шаръ безъ воздуха, съ воздухомъ и водой, но не постарался получить опредѣленный числовой результатъ для вѣса воздуха, такъ какъ воздухъ — говоритъ онъ — не всегда вѣситъ одинаково. Онъ довольствовался изготовленіемъ прибора, который показанъ на переднемъ планѣ рис. 253 и который обнаруживаетъ перемѣны вѣса воздуха. Большой полный шаръ безъ воздуха на одномъ концѣ колысела уравнивается грузомъ меньшаго объема на другомъ концѣ. Еслибы

массы металла въ обоихъ шарахъ имѣли совершенно одинаковый вѣсъ, то шары, конечно, не были бы въ равновѣсіи, —большій шаръ вытѣснялъ бы больше воздуха и потому воздухъ сильнѣе подымалъ бы его. Оказалось, однако, что эта сила подъема

Рис. 251



Магдебургскія полушарія на Регенбургскомъ рейхстагѣ 1654 г.

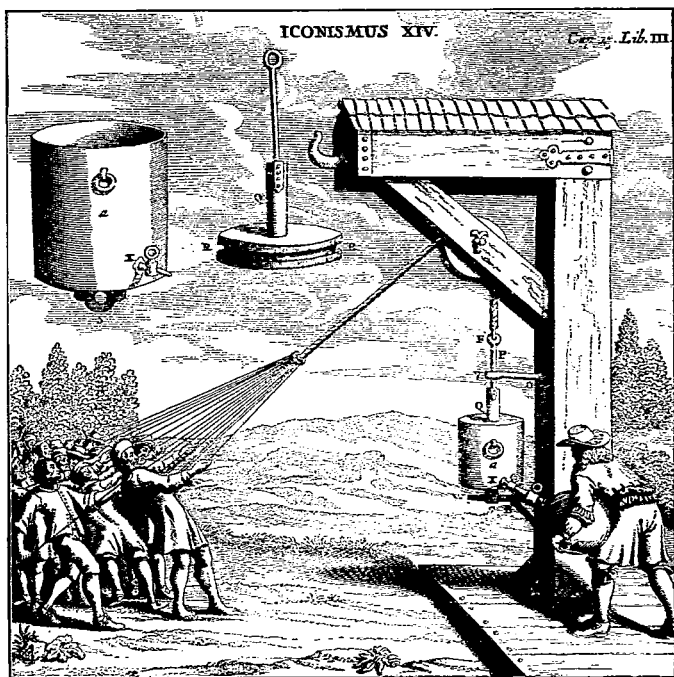
въ разное время различна, что, слѣдовательно, вытѣсненный воздухъ имѣть не всегда одинаковый вѣсъ. Такъ какъ этотъ приборъ долженъ показывать только пере-

мѣнность силы, поднимающей шаръ вверхъ, то, конечно, нѣтъ необходимости, чтобы большій шаръ былъ безвоздушнымъ.

251. Герике наблюдалъ также явленія, происходящія съ различными предметами въ безвоздушномъ пространствѣ. Открывъ сразу кранъ подъ водою, Герике замѣтилъ, что водяная струя при ударѣ о шаръ издаетъ рѣзкій звукъ, какъ будто она представляетъ твердое тѣло. Когда вода ударяетъ о твердый предметъ въ воздухѣ, то получается только глухой звукъ, такъ какъ воздухъ, такъ сказать, образуетъ подушку.

Горящая свѣча гаснетъ при выкачиваніи воздуха, такъ какъ, по словамъ Герике, воздухъ питаетъ огонь. Птицы въ пустомъ пространствѣ умираютъ, рыбы раз-

Рис. 252



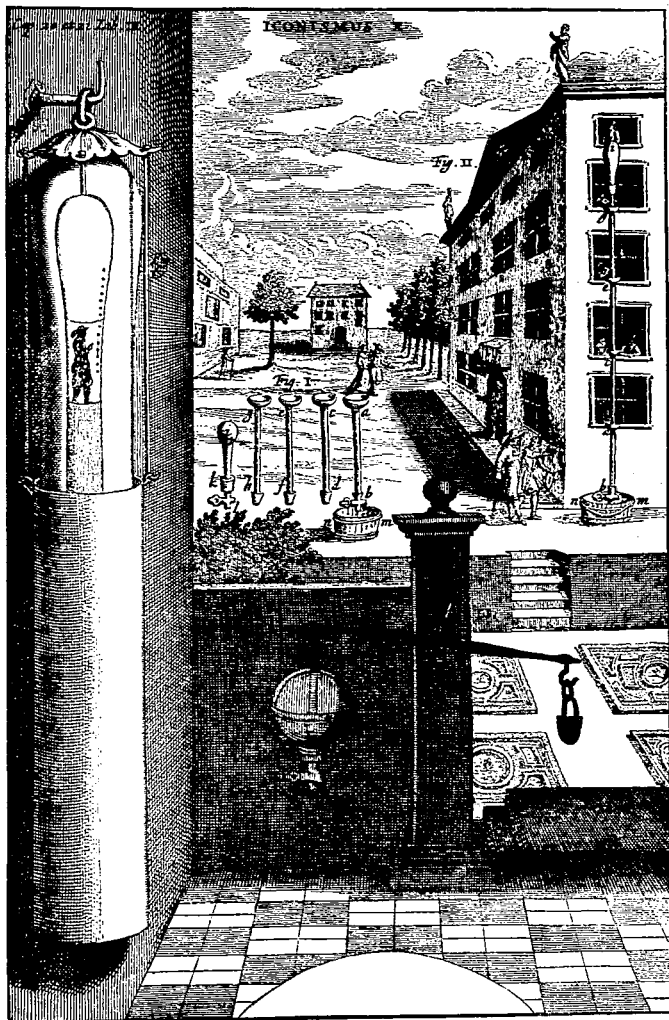
Атмосферное давленіе пересиливаетъ 50 человѣкъ.

дуваются и наконецъ лопаются. Виноградъ сохранялся свѣжимъ въ безвоздушномъ пространствѣ болѣе полугода. Колокольчикъ въ пустомъ пространствѣ не давалъ звука.

252. Если вода помѣщалась въ закрытое пространство и затѣмъ изъ него выкачивался воздухъ, то въ водѣ начинали подыматься пузырьки воздуха. Герике, не считавшій воздуха чѣмъ-либо самостоятельнымъ, а смотрѣвшій на него, какъ на испаренія предметовъ, объяснялъ это явленіе выдѣленіемъ испареній изъ воды.

Правильное объясненіе этого явленія было дано только французскимъ физикомъ Нолле (1700 — 1770). Находясь въ соприкосновеніи съ воздухомъ, вода вбираетъ въ себя нѣкоторое количество его. И потому, если нагрѣвать воду или умень-

Рис. 253



Предсказатель погоды Герике и приборъ для обнаруженія вѣса воздуха.

шать давленіе на ея поверхность, воздухъ выходитъ изъ воды. Вода поглощаетъ различные газы въ разномъ количествѣ. — Другія жидкости и даже твердыя тѣла также

обладаютъ способностью поглощать газы. Это явленіе, такъ называемая диффузія или эндосмосъ, играетъ въ природѣ очень важную роль. Растворенный во всякой водѣ воздухъ поддерживаетъ дыханіе рыбъ. Между твердыми тѣлами особенной большой способностью поглощать газы обладаетъ пористый уголь (деревянный уголь, костяной уголь). На этомъ основано его дѣйствіе въ искусственныхъ фильтрахъ.

253. Въ своихъ первыхъ опытахъ Герике исходилъ изъ предположенія, что въ силу своего вѣса воздухъ долженъ собираться на днѣ сосудовъ. Поэтому онъ всегда производилъ выкачиваніе сосудовъ, изъ которыхъ удалялся воздухъ, у самаго дна. Онъ думалъ, что, когда половина воздуха выкачана, то другая половина находится въ нижней части сосуда, верхняя же часть его свободна отъ воздуха. Однако, онъ увидѣлъ, что это предположеніе не соотвѣтствуетъ фактамъ; однажды онъ соединилъ горлышками два сосуда, изъ которыхъ нижній содержалъ воздухъ, а верхній нѣтъ. Когда онъ открылъ кранъ между этими сосудами и затѣмъ отдѣлил ихъ другъ отъ друга, то замѣтилъ, что воздухъ входилъ въ оба сосуда съ одинаковой силой. Такимъ образомъ онъ нашель, что воздухъ не занимаетъ опредѣленнаго пространства, какъ, напримѣръ, вода, но что онъ можетъ занимать любое пространство, какъ бы велико оно ни было. Что воздухъ можно сжимать, было извѣстно уже давно.

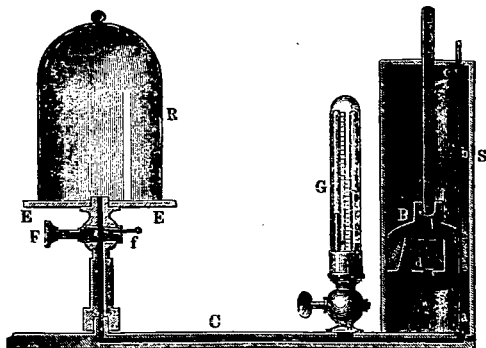
254. Герике открылъ также, что давленіе воздуха, такъ какъ его производить вѣсъ воздуха, на высокихъ мѣстахъ должно быть меньше, чѣмъ въ болѣе низкихъ, что уже было доказано Паскалемъ. Слѣдовательно, на высокихъ мѣстахъ воздухъ долженъ быть сжатъ меньше. Для того чтобы убѣдиться въ этомъ, Герике взялъ большую бутылку, снабженную краномъ, и закрылъ кранъ у подножія башни, такъ, что бутылка была наполнена воздухомъ той плотности, какую онъ имѣлъ въ этомъ мѣстѣ. Затѣмъ Герике поднялся на вершину башни, открылъ здѣсь кранъ и нашель, какъ и ожидалъ, что воздухъ слегка выходилъ изъ трубки. Онъ подчеркиваетъ при этомъ, что принявъ мѣры къ тому, чтобы температура бутылки оставалась неизмѣнной, такъ ему было хорошо извѣстно, что нагрѣваніе закрытаго воздуха должно вызвать истеченіе извѣстнаго количества его.

255. Когда опыты Герике стали извѣстны въ Англіи, они побудили Роберта Бойля заняться воздушнымъ насосомъ. Бойль улучшилъ этотъ насосъ и изслѣдовалъ цѣлый рядъ явленій въ пустомъ пространствѣ. Гюйгенсъ также улучшилъ этотъ приборъ и по его указанію Денисъ Папинъ сталъ продолжать изслѣдованія сначала одинъ, а затѣмъ вмѣстѣ съ Бойлемъ. Этимъ людямъ и принадлежитъ главная заслуга выработки того типа воздушнаго насоса, который изображенъ на рис. 254 и 255. Справа виденъ цилиндръ. Въ поршнѣ находится клапанъ *d*, который открывается вверхъ, т. е. наружу. Другой клапанъ, въ видѣ пробки, насаженъ на стержень, проходящій сквозь поршень и верхнюю стѣнку цилиндра; къ поршню этотъ стержень пригнанъ герметически. На верхнемъ концѣ стержень имѣетъ надставку. Когда поршень движется вверхъ, онъ увлекаетъ за собою стержень и клапанъ *a* открывается. При опусканіи поршня клапанъ закрывается. Заключенный подъ поршнемъ воздухъ уходитъ черезъ клапанъ *d*. Отверстіе *a* соединяется каналомъ со серединою плоско отшлифованной стеклянной пластинки, „тарелки“. На тарелку ставится колоколь, изъ-подъ котораго долженъ быть выкачанъ воздухъ; шлифованный край его смазывается саломъ для того, чтобы онъ лежалъ на тарелкѣ совершенно плотно.

Всякій разъ, когда поршень подымается вверхъ, воздухъ, находящійся въ ко-

локолѣ, въ соединительномъ каналѣ и въ самой нижней части цилиндра, въ такъ называемомъ „вредномъ пространствѣ“, отчасти входитъ въ цилиндръ. Такимъ образомъ, онъ разрѣжается и степень этого разрѣженія зависитъ отъ объемовъ колокола и цилиндра. Когда поршень опускается, воздухъ выходитъ изъ цилиндра указаннымъ образомъ. Мы не будемъ разсматривать „вреднаго пространства“, которое должно быть возможно меньше, и примемъ, напримѣръ, что объемъ колокола вмѣстѣ съ соединительнымъ каналомъ составляетъ 2 л, а объемъ цилиндра 1 л. Въ такомъ случаѣ, послѣ перваго движенія поршня плотность воздуха будетъ составлять $\frac{2}{3}$ пер-

Рис. 254



Современная форма воздушнаго насоса (сбоку).

воначальной. Слѣдовательно, послѣ двухъ движеній поршня плотность будетъ равна $\frac{2}{3} \times \frac{2}{3}$ или $\frac{4}{9}$, послѣ третьяго $\frac{8}{27}$, послѣ четвертаго $\frac{16}{81}$ и т. д. первоначальной плотности. Послѣ десятаго движенія поршня она составитъ $\frac{1021}{59049}$ или приблизительно $\frac{1}{59}$ первоначальной плотности.

При помощи крана въ трубкѣ С соединеніе между цилиндромъ и колоколомъ можно закрыть; это помѣшаетъ воздуху входить изъ цилиндра подъ колоколъ, если цилиндръ пропускаетъ воздухъ. Соединительный каналъ между цилиндромъ и колоколомъ соединяется также съ небольшимъ стекляннымъ колоколомъ G, подъ которымъ находится „укороченный барометръ“; по этому барометру можно отсчитывать давленіе воздуха внутри и тѣмъ опредѣлять степень полученнаго разрѣженія.

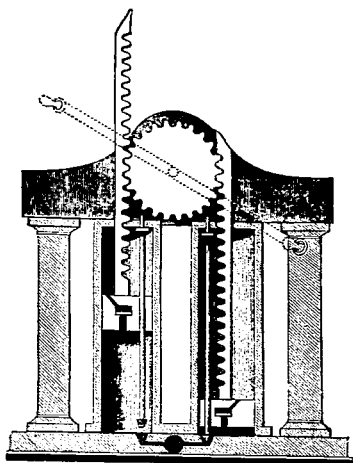
Одно изъ введенныхъ Бойлемъ улучшеній воздушнаго насоса состояло въ томъ, что въ движеніе приводилось одновременно два насоса (рис. 255) и притомъ такъ, что во время движенія одного поршня вверхъ другой опускается. Это ускоряетъ работу и, такъ какъ оба поршня приводятся въ движеніе однимъ и тѣмъ же механизмомъ (зубчатое колесо съ зубчатыми стержнями составляетъ изобрѣтеніе младшаго современника Бойля — Гауксби), то работа, нужная для поднятія поршня, уменьшается давленіемъ воздуха на другой поршень.

Робертъ Бойль производилъ такія же изслѣдованія надъ явленіями въ пустомъ пространствѣ, какъ и Герике, и притомъ, повидимому, съ большею точностью. Его другія наблюденія надъ тепловыми явленіями будутъ упомянуты ниже.

256. Какія трудности должно было представлять освобожденіе отъ стараго

взгляда, что пустое пространство съ огромной силой стремится сжаться, можно видѣть изъ того, что были ученые, которые не вѣрили въ правильность новаго воззрѣнія, несмотря на опыты Торричелли, Паскаля, Герике и Бойля. Такъ, напримѣръ, Францискъ Линъ, профессоръ въ Люттихѣ (1595 — 1675), указывалъ въ видѣ возраженія на то, что столбъ ртути не падаетъ въ длинномъ колѣнѣ барометра, если закрыть отверстіе короткаго колѣна, сквозь которое должна дѣйствовать атмосфера. На это можно отвѣтить, что въ короткомъ колѣнѣ, даже если его отверстіе закрыто, всегда содержится нѣкоторое количество воздуха, которое и удерживаетъ ртуть въ другомъ колѣнѣ на прежней высотѣ. Линъ бралъ стеклянную трубку, открытую на

Рис. 255



Современная форма воздушнаго насоса (спереди).

обоихъ концахъ, закрывалъ нижнее отверстіе пальцемъ и наполнялъ ее ртутью. Затѣмъ онъ закрывалъ верхнее отверстіе, ставилъ нижній конецъ въ чашку съ ртутью и отнималъ палецъ отъ нижняго отверстія. Такимъ образомъ, у него получался барометръ, закрытый сверху пальцемъ. Этотъ палецъ, по мнѣнію Лина, чувствовалъ всасывающую силу пустого пространства, такъ какъ кожа пальца втягивалась въ трубку. Въ пустомъ пространствѣ, говорилъ Линъ, существуютъ невидимыя „нити“, которая стягиваютъ его стѣнки, — невидимыя шти между ртутью и кожей пальца. Линъ остался при своемъ мнѣніи даже послѣ того, какъ Паскаль, продѣлавъ это наблюдение, далъ ему правильное объясненіе (§ 203).

257. Теперь Бойль взялся за основательное изслѣдованіе того обстоятельства, которое требовало объясненія пре-

жде всего, а именно того, что столь незначительное количество воздуха, которое было заключено въ барометръ, могло удерживать въ равновѣсїи столбъ ртути. При этомъ онъ сдѣлалъ очень важное открытіе.

Для производства опыта ему служила изогнутая стеклянная трубка съ длиннымъ открытымъ и съ короткимъ закрытымъ колѣномъ (рис. 256). Прежде всего приливаніемъ небольшого количества ртути въ закрытомъ колѣнѣ былъ отдѣленъ извѣстный объемъ воздуха. Такъ какъ ртуть имѣла одинаковую высоту въ обоихъ колѣнахъ, то отдѣленный воздухъ находился подъ тѣмъ же давленіемъ, которое производитъ воздушный океанъ, т. е. подъ давленіемъ одной атмосферы. Затѣмъ въ длинное колѣно наливалась еще ртуть и при этомъ было видно, что объемъ заключеннаго въ трубкѣ воздуха тѣмъ меньше, чѣмъ больше налито ртути. Когда объемъ воздуха вдвое меньше первоначальнаго объема (рис. 256 B), то ртуть въ открытомъ колѣнѣ стоитъ на двадцать восемь дюймовъ выше, чѣмъ въ закрытомъ. Слѣдовательно, заключенный въ трубкѣ воздухъ находится подъ давленіемъ двухъ атмосферъ — подъ давленіемъ дѣйствительной атмосферы и давленіемъ столба ртути, которое также

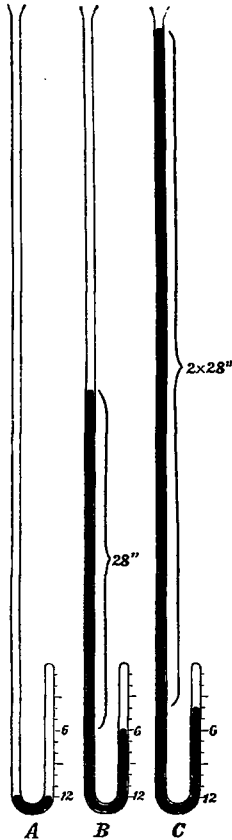
велико, какъ и давленіе воздуха. Бойль продолжилъ эти опыты дальше и для соотвѣтственныхъ объемовъ и давленій получилъ слѣдующія величины:

объемы	12	6	4	3
давленія	1	2	3	4 атмосф.

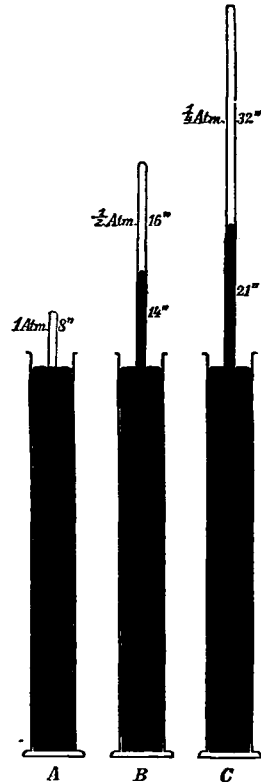
Объемъ массы воздуха уменьшается въ томъ же отношеніи, въ какомъ увеличивается давленіе. Увеличеніе давленія въ 2, 3, 4, 12 разъ уменьшаетъ объемъ до $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{12}$. Можно также сказать, что произведеніе объема и дав-

Рис. 256

Рис. 257



Законъ Бойля (сжатіе).



Законъ Бойля (расширеніе).

ленія для опредѣленнаго количества воздуха всегда одно и то же: $12 \times 1 = 6 \times 2 = 4 \times 3 = 3 \times 4$, конечно, если температура воздуха при этомъ не мѣняется.

Тогда Бойль сталъ изслѣдовать, сохраняетъ ли этотъ законъ свою силу въ томъ случаѣ, когда давленіе, подъ которымъ находится воздухъ, уменьшается. Онъ наполнилъ трубку, закрытую съ одного конца ртутью, но такъ, что въ ней остава-

лось немного воздуха, закрыть отверстие этой трубки пальцемъ и погрузить ее въ глубокой, но узкой сосудъ со ртутью такъ (рис. 257, А), что изъ ртути выдавалась какъ разъ часть трубки, наполненная воздухомъ. Пусть эта часть имѣетъ въ длину 8 дюймовъ. Этотъ воздухъ находится подъ давленіемъ одной атмосферы. Если теперь подымать трубку вверхъ, то воздухъ въ ней расширяется, но въ то же время въ трубкѣ подымается и ртуть. Когда трубка подымается настолько, что воздухъ займетъ объемъ, вдвое большій первоначальнаго (В), то столбъ ртути будетъ имѣть въ высоту 14 дюймовъ. Такимъ образомъ, давленіе атмосферы на внѣшнюю поверхность ртути, которое равно давленію столба ртути въ 28 дюймовъ высотой, уменьшено на половину атмосфернаго давленія. Если поднять трубку настолько, чтобы объемъ воздуха сталъ вчетверо больше первоначальнаго (С), то ртуть подымается на высоту 21 дюйма. Теперь воздухъ находится подъ давленіемъ, равнымъ давленію столба ртути въ $28 - 21 = 7$ дюймамъ, т. е. подъ давленіемъ $\frac{1}{4}$ атмосферы.

258. Этимъ было доказано, что законъ имѣетъ общее значеніе, и теперь уже не было основанія говорить о „естественномъ“ объемѣ воздуха, какъ это дѣлалъ Геронъ. Геронъ называлъ естественнымъ объемомъ воздуха тотъ объемъ, который воздухъ имѣетъ при давленіи одной атмосферы, т. е. при давленіи, которое производитъ воздухъ на поверхность земли или, лучше сказать, на поверхность моря.

259. Найденный Бойлемъ законъ прежде всѣми, да и теперь еще нѣкоторыми называется закономъ Мариотта. Позднѣе его изслѣдовашіемъ занимались многие физики и при этомъ выяснилось, что законъ не такъ простъ, какимъ онъ казался по опытамъ Бойля. Цѣлый рядъ самыхъ искусныхъ экспериментаторовъ, по преимуществу французовъ, занимались изслѣдовашіемъ закона Бойля.

Первыя отклоненія, которыя были замѣчены, сводились на ошибки наблюденій. Но затѣмъ было замѣчено, что нѣкоторые газы совершенно ясно даютъ иные выводы: они сжимались сильнѣе, чѣмъ это слѣдовало по закону. Но такъ какъ указанные газы были такіе, которые могли быть обращены въ жидкость при помощи сильнаго сжиманія и охлажденія, то было рѣшено, что это не совершенные газы. Для настоящихъ же газовъ этотъ законъ считали вѣрнымъ. Этотъ законъ разсматривали даже, какъ законъ разумный, т. е. считали логически необходимымъ, что воздухъ вдвое болыней плотности долженъ производить вдвое большее давленіе. Выдающіеся физики, несмотря на обнаруженныя ими же самими уклоненія, продолжали держать ся этого закона и объясняли отклоненія ошибками своихъ собственныхъ измѣреній.

Но, наконецъ, французскій физикъ Реньо (1810—1878) точными измѣреніями неопровержимо установилъ, что этотъ законъ не остается абсолютно точнымъ ни для одного газа. Всѣ газы, за исключеніемъ водорода, сжимаются сильнѣе, чѣмъ этого требуетъ законъ, и, можетъ быть, ихъ всѣ объявили бы парами, за исключеніемъ водорода, который одинъ есть будто бы совершенный газъ, еслибы Реньо въ концѣ концовъ не доказалъ, что и водородъ представляетъ уклоненіе, но въ обратную сторону, а именно, сжимается меньше, чѣмъ требуется по закону Бойля. Такимъ образомъ, не существуетъ вообще ни одного газа, который слѣдовалъ бы этому минимому закону разума. Но исторія закона Бойля доказываетъ, что не слѣдуетъ слишкомъ торопиться объявлять законы природы логическими необходимостями, т. е. чѣмъ-то такимъ, что можно обосновать простымъ мышленіемъ или вывести изъ математической формулы. Природа должна сама учить насъ законамъ природы и намъ не

остается ничего, какъ только возможно лучше подгонять наши формулы къ законамъ дѣйствительности. Впрочемъ, для цѣлей практической жизни законъ Бойля опредѣляетъ сжатіе газовъ достаточно точно.

260. Эдмъ Мариоттъ родился въ 1620 г. въ Бургони, въ департаментѣ Соны и Луары. Сначала онъ былъ пріоромъ одного монастыря вблизи Дижона, но затѣмъ, благодаря своимъ успѣшнымъ научнымъ изслѣдованіямъ, приобрѣлъ извѣстность, былъ приглашенъ въ 1666 году въ члены Парижской Академіи наукъ и оставался здѣсь до самой смерти въ 1684 году. Теперь онъ могъ больше отдаться наукѣ и онъ произвелъ здѣсь много цѣнныхъ работъ. Не зная упомянутой работы Бойля¹⁾, онъ издалъ въ 1676 году превосходный трудъ о свойствахъ воздуха, въ которомъ онъ устанавливаетъ тотъ же законъ о сжимаемости воздуха, который былъ установленъ и обоснованъ аналогичными опытами Бойля за нѣсколько лѣтъ до того. Въ то же время онъ взялся за задачу опредѣленія высотъ при помощи барометра, которой занимался уже Паскаль, не давшій, однако, ея полного рѣшенія.

261. Изъ опыта, произведеннаго зятемъ Паскаля Перье, выходило, что давленіе воздуха на вершинѣ горы меньше, чѣмъ у ея подножія, и Паскаль указалъ на то, что этимъ явленіемъ можно воспользоваться для опредѣленія высоты мѣста. Эта мысль была подхвачена нѣкоторыми другими учеными, но болѣе точная связь между увеличеніемъ высоты и уменьшеніемъ давленія осталась неизвѣстной.

Мариоттъ опредѣлялъ высоту барометра на Парижской обсерваторіи сначала въ глубокомъ погребѣ, затѣмъ на уровнѣ земли и наконецъ на вершинѣ обсерваторіи; изъ этихъ наблюденій онъ вычислялъ давленіе воздуха на болѣе значительныхъ высотахъ. Очень интересно слѣдить за осторожными вычислениями Мариотта въ этой области, гдѣ раньше вычисляли мало и гдѣ, казалось, съ трудомъ примѣнима математическая обработка. Поэтому мы перейдемъ къ вычислениямъ Мариотта, но не съ его числами, а съ числами, переведенными въ болѣе употребительныя теперь мѣры.

Различіе высотъ барометра съ измѣненіемъ его положенія можно было очень легко измѣрить на такомъ высокомъ зданіи, какъ Парижская обсерваторія,—его можно наблюдать и при гораздо меньшемъ измѣненіи высоты. Именно, барометръ падаетъ на 1 мм при повышеніи всего на 10·5 м. Само собою разумѣется, что мы должны представлять себѣ уменьшеніе давленія воздуха постепеннымъ, какъ и убываніе его плотности. Представимъ себѣ, однако, вмѣстѣ съ Мариоттомъ, что воздухъ состоитъ изъ отдѣльныхъ тонкихъ слоевъ и что каждый слой имѣетъ равномерную плотность. Представимъ себѣ еще, что въ самомъ нижнемъ слоѣ давленіе воздуха составляетъ 760 мм, въ слѣдующемъ затѣмъ 759 мм, въ слѣдующемъ 758 мм и т. д. Тогда мы можемъ вычислить, какую толщину (высоту) имѣетъ каждый изъ этихъ слоевъ; именно, если сравнить первый слой со вторымъ, то оказывается, что второй слой, съ давленіемъ всего въ 759 мм, долженъ занимать большее пространство, чѣмъ первый, и по закону Мариотта это пространство должно быть въ $\frac{760}{759}$ разъ больше

¹⁾ Это предположеніе врядъ ли вѣрно. Работа Мариотта „Essai sur la nature de l'air“, въ которой содержится этотъ законъ, появилась въ 1679 году, а работа Бойля о томъ же предметѣ „Новые опыты о пружинности воздуха“ (New experiments touching the spring of the air) была опубликована уже въ 1660 году. Ср. Тэтъ, Свойства матеріи.

того пространства, которое занимает первый слой. Такимъ образомъ, толщина этого слоя должна быть $\frac{760}{759} \times 10.5$ м. Въ третьемъ слоѣ давленіе достигаетъ 758 мм, значить, онъ долженъ быть въ $\frac{760}{758}$ разъ толще перваго. Согласно этому толщина послѣдовательныхъ слоевъ должна быть:

$$10.5, \frac{760}{759} \times 10.5, \frac{760}{758} \times 10.5, \frac{760}{757} \times 10.5 \dots$$

Для того чтобы опредѣлить высоту мѣста съ даннымъ давленіемъ воздуха, на примѣръ, высоту мѣста, гдѣ давленіе воздуха равно $\frac{1}{2}$ атмосферѣ (380 мм), нужно вычислить толщины 380 слоевъ и сложить ихъ. Конечно, такое вычисленіе очень сложно. Мариоттъ произвелъ его слѣдующимъ сокращеннымъ, но не вполне точнымъ способомъ. Нижний слой имѣетъ толщину 10.5 м. Верхній слой съ давленіемъ въ 380 мм имѣетъ толщину $\frac{760}{380} \times 10.5$ или 2×10.5 м.

Такимъ образомъ, верхній и нижній слои въ среднемъ имѣютъ толщину 15.75 м. То же самое справедливо для второго слоя сверху и второго слоя снизу, такъ какъ послѣдній нѣсколько менѣе плотенъ, чѣмъ нижній, а первый, наоборотъ, плотнѣе самаго верхняго. Значить, третій слой сверху и третій снизу, четвертый сверху и четвертый снизу имѣютъ въ среднемъ толщину также въ 15.75 м. Итакъ, толщина всѣхъ слоевъ въ среднемъ составляетъ 15.75 м и потому высота всѣхъ слоевъ вмѣстѣ составляетъ $15.75 \times 380 = 5985$ м.

262. Ходъ разсужденія былъ найденъ, но вычисленіе можно было еще улучшить и это сдѣлалъ въ 1762 г. Делюкъ въ Женевѣ. Вычисленіе упрощается, если вычислять не толщину воздушнаго слоя на каждый миллиметръ давленія воздуха, а наоборотъ — давленіе воздуха для каждаго слоя толщиной въ 1 м.

Такимъ образомъ найдено, что, если принять давленіе атмосферы на уровнѣ моря за одну атмосферу, то давленіе составляетъ

$\frac{1}{2}$ атмосферы на высотѣ	5539 м
$\frac{1}{4}$ " " "	11078 "
$\frac{1}{8}$ " " "	16617 "
$\frac{1}{16}$ " " "	22156 "

Такъ какъ при подъемѣ на гору или во время путешествія на воздушномъ шарѣ нельзя вообще знать, какую величину имѣетъ давленіе воздуха въ это же время на уровнѣ моря, то нельзя въ точности знать, на какой высотѣ находишься. Но если потомъ можно найти, какую величину имѣло давленіе воздуха въ томъ мѣстѣ, надъ которымъ находился, то можно вычислить точно и высоту своего поднятія. — Конечно, при этомъ должна быть принята въ разсчетъ и температура воздуха. Обыкновенно приходится довольствоваться одновременными измѣреніями температуры вверху и внизу. На точность результата этого вычисленія вліяетъ неправильное распределеніе теплоты въ промежуточныхъ слояхъ.

263. Всѣ опыты, произведенные Аристотелемъ (§ 228), Галилеемъ (§ 229) и Герике (§ 250) для опредѣленія вѣса воздуха нужно признать неудачными. Сдѣлалъ такой опытъ и Бойль; при этомъ онъ думалъ, какъ Галилей, выгнать воздухъ изъ сосуда при помощи нагрѣванія. Конечно, онъ не достигъ этого въ полной

мѣрѣ и потому разница въ вѣсѣ наполненнаго воздухомъ и пустого — по его мнѣнію — сосуда была слишкомъ мала. Потому же онъ получилъ и слишкомъ малую величину для удѣльнаго вѣса воздуха, а именно $\frac{1}{93\text{в}}$.

Вѣсъ воздуха можно было опредѣлить точнѣе изъ вычисленій, произведенныхъ Мариоттомъ. Слой или столбъ воздуха вышиною въ 10·5 м вѣситъ столько же, сколько вѣситъ слой или столбъ ртути вышиною въ 1 мм. Послѣдній въ 10500 разъ меньше перваго, поэтому ртуть въ 10500 разъ тяжелѣе воздуха. Такъ какъ ртуть въ 13·6 разъ тяжелѣе воды, то вода въ $\frac{10500}{13\cdot6}$ или въ 772 раза тяжелѣе воздуха, притомъ воздуха при давленіи въ одну атмосферу (760 мм) и при температурѣ 0°. При другомъ давленіи и при другой температурѣ воздухъ имѣетъ другую плотность, а слѣдовательно, и другой (удѣльный) вѣсъ.

Примѣръ 1. Сколько граммовъ вѣситъ 1 *кбсм*, 1 *л* и 1 *кбм* воздуха при 0° и 760 мм?

Примѣръ 2. Вычислить вѣсъ воздуха въ комнатѣ, въ которой находишься.

264. Имя Мариотта встрѣчается и во многихъ другихъ областяхъ физики. Мы уже видѣли его въ ученіи о свѣтѣ (слѣпое пятно, § 111) и встрѣтимъ его еще въ ученіи о теплотѣ и особенно въ метеорологіи. И въ другихъ случаяхъ его дѣятельность была по преимуществу продолженіемъ и дополненіемъ работъ, начатыхъ другими. Такъ онъ продолжилъ изслѣдованія Валлиса, Рена и Гюйгенса объ ударѣ. Приборъ Мариотта для изученія удара можно теперь найти во всякомъ физическомъ кабинетѣ. Равнымъ образомъ онъ продолжилъ изслѣдованія Кастелли (§ 232) и другихъ о движеніи воды и работы Торричелли надъ истеченіемъ воды (§ 237). „Мариоттовымъ сосудомъ“ нерѣдко пользуются, когда хотятъ получить равномерное истеченіе воды изъ отверстія. Этотъ сосудъ (рис. 258) имѣетъ сбоку внизу отверстіе, а въ горлышко сосуда сквозь просверленную пробку входитъ стеклянная трубка, которую можно больше или меньше вдвигать въ сосудъ. При вытеканіи воды черезъ эту трубку входитъ воздухъ, подымающийся въ водѣ пузырьками. Пока вытекаетъ вода, давленіе на нижнемъ концѣ стеклянной трубки и, слѣдовательно, и во всемъ горизонтальномъ слогѣ, въ которомъ находится этотъ конецъ, равно одной атмосферѣ. Такимъ образомъ давленіе, заставляющее воду выходить изъ отверстія, опредѣляется только высотой этой плоскости надъ отверстіемъ. Поэтому давленіе не мѣняется, пока нижній конецъ трубки находится въ водѣ. Скорость истеченія воды можно легко регулировать передвиженіемъ трубки. Если конецъ трубки находится на высотѣ отверстія, то истеченіе воды, конечно, останавливается.

265. Нагнетательный насосъ, которымъ воздухъ сжимается, не обозначилъ собою поворотнаго пункта въ исторіи естествознанія, какъ насосъ для выкачиванія воздуха. Нагнетательный насосъ гораздо старше, если только не имѣтъ въ виду его современной формы, которую можно построить, какъ насосъ для выкачиванія, съ тою лишь разницей, что клапаны должны открываться въ противоположную сторону; цилиндръ наполняется при движеніи поршня вверхъ, при движеніи же поршня внизъ онъ отдаетъ воздухъ сосуду, въ которомъ собирается сгущенный воздухъ.

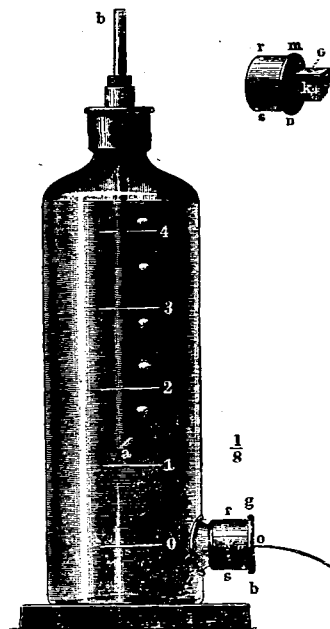
Уже пожарный насосъ представляетъ въ извѣстной мѣрѣ нагнетательный насосъ, такъ какъ въ немъ вода сжимаетъ воздухъ въ воздушномъ резервуарѣ. Такимъ нагнетательнымъ насосомъ обладалъ, очевидно, и Ктезибій, который сжималъ имъ

воздухъ въ своемъ пневматическомъ орудіи, и даже дѣтская хлопушка есть родъ нагнетательнаго насоса. Передній конецъ ея трубки (рис. 259) наглухо закрыть „пулей“ и такая же совершенно пуля вгоняется шомполомъ въ трубку. Когда воздухъ въ трубкѣ достаточно сжимается, передняя пуля съ шумомъ вылетаетъ.

266. Нагнетательные и выкачивающіе насосы употребляются очень часто и ниже мы познакомимся съ нѣкоторыми ихъ приложеніями. Здѣсь можно привести слѣдующіе примѣры.

Иногда нужно имѣть извѣстные газы въ большомъ количествѣ, но для экономіи мѣста въ сжатомъ состояніи. Въ такомъ случаѣ ихъ сжимаютъ въ стальныхъ сосудахъ при помощи нагнетательнаго насоса.

Рис. 258



Мариоттовъ сосудъ.

Эта система помимо чистоты имѣетъ за собою то преимущество, что одна большая паровая машина работаетъ экономичнѣе, чѣмъ большое число маленькихъ.

Сжатый воздухъ обладаетъ, конечно, извѣстною способностью производить работу, которою можно воспользоваться для приведенія въ движеніе машинъ. Такими машинами пользуются при прорываніи туннелей. Въ длинныхъ туннеляхъ пользоваться паровыми машинами для сверильныхъ работъ невозможно, такъ какъ онѣ сдѣлали бы воздухъ туннеля негоднымъ для дыханія. Машина же, работающая сжатымъ воздухомъ, постоянно приводитъ свѣжій воздухъ къ мѣсту работы. Сжатіе воздуха производится внѣ туннеля при помощи насосовъ, приводимыхъ въ движеніе обыкновенно водою, а сжатый воздухъ приводится къ мѣсту работы особыми трубками.

Въ послѣднее время такимъ же образомъ начали снабжать большіе города движущей силой. Большіе котлы наполняются внѣ города сжатымъ воздухомъ при помощи воздушныхъ насосовъ, приводимыхъ въ движеніе паровыми машинами. Сжатый воздухъ отводится въ городъ по трубамъ, гдѣ потребители и пользуются имъ для движенія маленькихъ машинъ.

Рис. 289

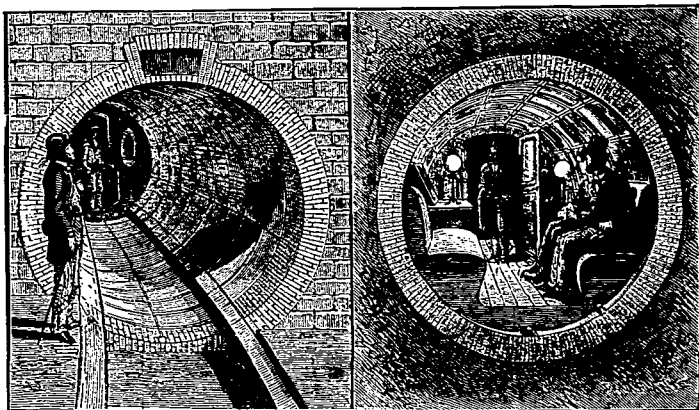


Хлопушка.

Еще раньше, уже съ начала XIX вѣка въ нѣкоторыхъ большихъ городахъ развилась особая система пересылки почты, такъ называемая пневматическая почта. По длиннымъ желѣзнымъ трубамъ отъ одной станціи къ другой давленіемъ воздуха пе-

редвигается какъ бы пробка съ ящикомъ для писемъ; на конечной станціи отверстие въ трубѣ открывается и почта вынимается. Движеніе этого ящика производится либо при помощи выкачивания воздуха впередъ его либо при помощи нагнетанія сжатого воздуха позади. Этимъ способомъ передвиженія въ нѣкоторыхъ мѣстахъ пользовались также для перевозки пассажировъ, которые сидѣли въ не очень большомъ цилиндрическомъ вагонѣ, почти совершенно заполнявшемъ большую трубу (рис. 260). Этотъ способъ передвиженія, однако, не приобрѣлъ большого практическаго значенія.

Рис. 260



Пневматическая желѣзная дорога въ Нью-Йоркѣ (1870).

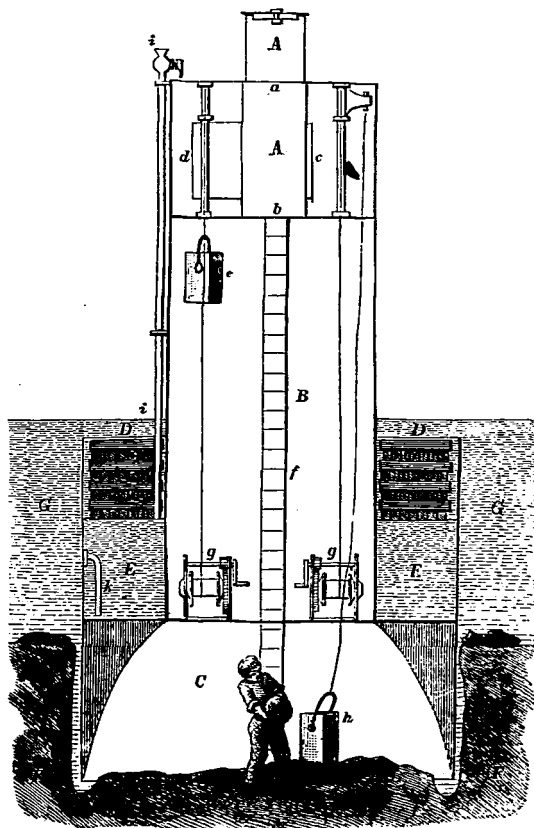
267. Сжатый воздухъ имѣетъ большое значеніе при работахъ подъ водой. Геронъ обратилъ вниманіе на то (§ 209), что внутренность сосуда остается сухой, если погрузить его въ воду отверстиемъ внизъ. Воздухъ въ сосудѣ мѣшаетъ водѣ войти. Этотъ фактъ уже въ то время былъ давно извѣстенъ. Еще Аристотель упоминаетъ, что въ водѣ можно оставаться долгое время, если надѣтъ себѣ на голову котель, но практическое приложеніе это явленіе нашло только гораздо позднѣе. Такъ, въ видѣ курьеза можно привести представленіе, которое въ 1538 г. два грека дали въ Толедо въ присутствіи императора Карла V и большой толпы. Покрывшись съ головой большимъ котломъ, они спускались въ воду съ горящею свѣчю, оставались тамъ продолжительное время и затѣмъ выходили изъ нея съ горящею свѣчю и въ сухомъ платьѣ. Только въ 1588 г., когда часть испанской „непобѣдимой Армады“ разбилась на западномъ берегу Шотландіи, были употреблены, повидимому, воздушные колокола для поднятія затонувшихъ сокровищъ.

Позднѣе этотъ водолазный колоколъ получалъ различныя формы соотвѣтственно тому, для какихъ цѣлей онъ предназначался. Особья заслуги въ отношеніи постройки водолазнаго колокола и освѣженія въ немъ воздуха принадлежать англичанамъ Роберту Гуку и Эдмунду Галлею. Для послѣдней цѣли однимъ изъ важнѣйшихъ средствъ является нагнетательный насосъ.

Водолазный колокол развился въ двухъ различныхъ направлешяхъ: во-первыхъ, въ видѣ большого прибора, въ которомъ на днѣ можетъ работать нѣсколько чело-вѣкъ, и затѣмъ въ видѣ водолазнаго костюма, въ которомъ можетъ двигаться толь-ко одинъ чело-вѣкъ.

Рис. 261 показываетъ сѣченіе водолазнаго колокола или кессона, употреблявшагося въ 1868 году при перестройкѣ моста въ Копенгагенѣ. Въ общемъ онъ пред-

Рис. 261



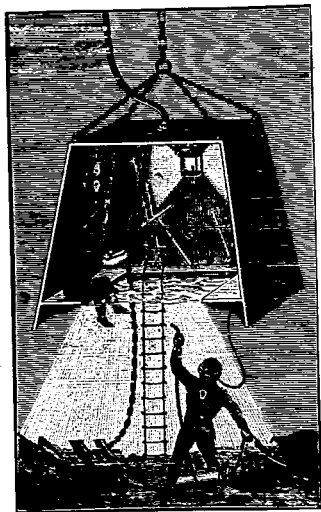
Кессонъ при постройкѣ моста.

ставляетъ большой открытый снизу желѣзный ящикъ, въ который черезъ особую трубку, посредствомъ паровой машины, нагнетается воздухъ. Этотъ воздухъ вытѣсняетъ воду до краевъ колокола и при дальнѣйшей работѣ насоса воздухъ выходитъ изъ колокола и подымается пузырями на поверхность воды. Если нужно опуститься въ колоколъ, то сначала черезъ люкъ *a* входятъ въ пространство *A*, затѣмъ люкъ

наглухо закрываютъ и открываютъ кранъ, черезъ который изъ *B* выходитъ сжатый воздухъ. Когда воздухъ въ пространствѣ *A* приобретаетъ такую же плотность, какую онъ имѣетъ въ *B*, можно открыть люкъ *b* и спуститься въ большой колоколъ. Такимъ же образомъ при оставленіи колокола сначала поднимаются изъ пространства *B* въ пространство *A*, открываютъ въ немъ кранъ, сквозь который выходитъ воздухъ и только, когда воздухъ въ *A* принимаетъ плотность вѣшняго воздуха, покидаютъ пространство *A*. За исключеніемъ нѣсколько хлопотливаго спуска и подъема, на днѣ такого колокола можно работать такъ же легко, какъ и на сухой землѣ.

Водолазный костюмъ (рис. 262) состоитъ изъ гуттаперчеваго мѣшка, форма котораго соответствуетъ формѣ человѣческаго тѣла (безъ головы). Сверху въ немъ

Рис. 262



Водолазъ на днѣ.

есть большое отверстіе, черезъ которое водолазъ влѣзаетъ въ этотъ мѣшокъ. Штанины этого костюма снизу совершенно закрыты, рукава же, наоборотъ, имѣютъ отверстія для рукъ. Эти рукава у кисти герметически закрыты, чтобы вода не могла попасть внутрь. Для лучшаго закрыванія служатъ гуттаперчевые кольца въ видѣ браслета. Костюмъ у шеи зашнуровывается, но не наглухо, такъ какъ его воротникъ входитъ въ металлическій шлемъ, который затѣмъ одѣвается на голову. Этотъ шлемъ охватываетъ также плечи и верхнюю часть груди и спины. Онъ снабжается однимъ или нѣсколькими окошечками и соединяется съ толстостѣнной гуттаперчевой трубкой, сквозь которую сверху (съ палубы судна) непрерывно накачивается свѣжій воздухъ. Потребленный воздухъ выходитъ снизу изъ-подъ шлема. —Такъ какъ вытѣсняемая водолазомъ вода подымается его вверхъ, лишая его почти всего вѣса, то онъ не можетъ стоять твердо на днѣ. Поэтому его вѣсъ увеличиваютъ, прикрѣпляя

пластинки свинца на подошвахъ, а также на груди и на спинѣ.

Одѣтый въ такой костюмъ, водолазъ можетъ спускаться на глубину 30 и болѣе метровъ, но едвали больше 45. Притомъ онъ непременно долженъ быть сильнымъ человѣкомъ. Онъ можетъ производить на днѣ моря важныя работы, снимать цѣнные предметы съ затонувшихъ судовъ, производить предварительную задѣлку пробонинъ затопившихъ судовъ, можетъ приспособить къ наполненному водою помѣщенію внутри судна гуттаперчевую трубку, сквозь которую затѣмъ при помощи нагнетательнаго насоса можетъ накачиваться воздухъ. Этимъ путемъ позднѣе можно поднять судно.

268. Съ самыхъ древнихъ временъ человѣкъ не считалъ совершенно невѣроятной возможность летать. Почему бы человѣкъ, которому природа не дала возможности летать, не могъ бы достичь при помощи искусства того, что возможно для животныхъ? Открытіе, что воздухъ представляетъ цѣлый океанъ и что въ этомъ

океанѣ каждое тѣло вытѣсняется кверху съ тѣмъ большею силою, чѣмъ больше оно само (§ 250), привело къ тому, что мысль о возможности летанія, или, лучше сказать, плаванія въ океанѣ воздуха, приняла опредѣленную форму. Іезуитъ Франческо Лана въ Брешѣ (1631—1687) предложилъ изготвить четыре большихъ мѣдныхъ шара въ двадцать футовъ въ діаметрѣ, со стѣнками толщиной въ $\frac{1}{23}$ лиши, и выкачать изъ нихъ воздухъ. Если высчитать съ одной стороны вѣсъ такого шара, а съ другой силу подъема, дѣйствующую на шаръ такой величины, то окажется, что послѣдній гораздо меньше перваго. Слѣдовательно, еслибы эти шары должны были подыматься на воздухѣ одни, ихъ стѣнки должны были бы быть гораздо тоньше; еще тоньше они должны были бы быть для того, чтобы поднять что-нибудь кромѣ себя. Но уже и указанная Ланой толщина стѣнокъ не выдержала бы громаднаго давленія, какое долженъ былъ оказать воздушный океанъ на шаръ съ выкачаннымъ воздухомъ—этотъ шаръ былъ бы сплюсненъ.

Послѣ открытія водорода, удѣльный вѣсъ котораго относительно воздуха составляетъ приблизительно только $\frac{1}{15}$, нетрудно было придти къ мысли наполнить большой шаръ водородомъ. Такой шаръ могъ бы имѣть стѣнки гораздо тоньше, чѣмъ безвоздушный. И въ опытахъ заставить подняться шаръ, наполненный водородомъ, недостатка не было; но долгое время ни одинъ изъ нихъ не удался, отчасти по тому, что вещества, изъ которыхъ дѣлалась оболочка, не были плотны, а отчасти по тому, что они были слишкомъ тяжелы. Удался лишь опытъ Кавалло (род. 1749 въ Неаполѣ, ум. 1809 въ Лондонѣ) съ поднятіемъ мыльныхъ пузырей, наполненныхъ водородомъ.

Наконецъ, двумъ французамъ, братьямъ Жозефу и Жаку Монгольфье, можно сказать, почти случайно удалось изобрѣсти воздушный шаръ. Это были фабриканты въ Видалонѣ-Лезь-Аннонэ въ Севеннахъ (департаментъ Ардешъ). Здѣсь они наблюдали, какъ облака поднимаются по склонамъ горы и иногда даже переваливаютъ черезъ вершины. Поэтому они попробовали заключить такое облако въ большой мѣшокъ, для чего заставили подыматься въ него паръ изъ котла. Однако, мѣшокъ дѣлался влажнымъ и стѣнки его спадались. Познакомившись позднѣе съ книгой Пристлея о газахъ, они стали дѣлать опыты съ водородомъ, но таюке безуспѣшно. Наконецъ они получили то, что сочли за особый газъ (gaz de Montgolfier), сжигающій влажную солому. Когда они наполнили этимъ газомъ, который считали болѣе легкимъ, большой бумажный мѣшокъ, то мѣшокъ поднялся.

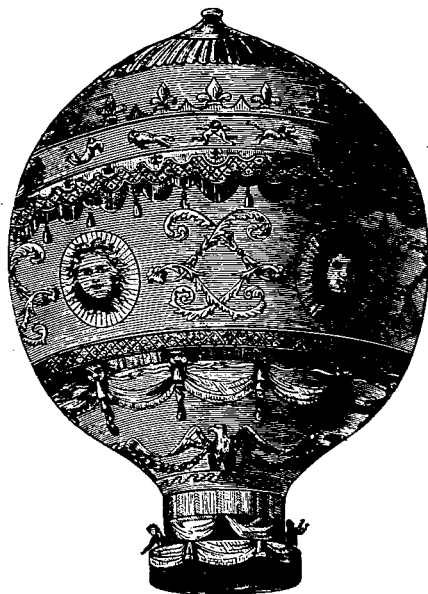
Опытъ въ болѣе значительныхъ размѣрахъ, который братья Монгольфье произвели въ Аннонэ 4 іюня 1783 года съ полотнянымъ шаромъ, имѣвшимъ въ поперечникѣ 38 футовъ и взлетѣвшимъ въ нѣсколько минутъ на высоту 1500 футовъ, возбудилъ большое изумленіе. Когда вѣсти объ этомъ опытѣ достигли Парижа, здѣсь тотчасъ же собрали деньги для повторенія опыта. Производство его было поручено Жаку Шарлю. Шарль родился въ 1746 году, обучался художеству и механикѣ, производилъ много опытовъ съ электричествомъ и читалъ превосходныя лекціи объ этой новой наукѣ. Такъ какъ онъ ничего не могъ узнать о газѣ, которымъ пользовались братья Монгольфье, кромѣ того, что онъ вдвое легче атмосфернаго воздуха, то рѣшилъ воспользоваться водородомъ. Былъ приготовленъ шаръ съ поперечникомъ въ 12 футовъ, наполненный водородомъ, полученіе котораго въ такомъ большомъ количествѣ въ то время представляло серьезную процедуру. 27 августа

того же года готовый шаръ былъ выпущенъ и быстро поднялся въ воздухъ. Населеніе Парижа наблюдало это зрѣлище съ необычайнымъ интересомъ.

Такъ на короткомъ промежуткѣ четверти года были изобрѣтены оба рода воздушныхъ шаровъ: наполняемые теплымъ атмосфернымъ воздухомъ „монгольферы“ и наполняемые водородомъ или свѣтильнымъ газомъ „шарльеры“. Послѣдній газъ добывается легче водорода, по вѣсу приблизительно вдвое легче воздуха, вѣся почти какъ разъ столько, сколько и теплый газъ, которымъ наполняются монгольферы.

269. Уже въ томъ же году на воздушныхъ шарахъ стали подыматься и люди, какъ на монгольферахъ, такъ и на шарльерахъ. Для помѣщенія пассажировъ служила прикрѣпленная къ шару лодочка.

Рис. 263



Монгольферъ.

21 ноября поднялись на монгольферѣ (рис. 263) химикъ Пилатръ де Розье и маркизь Д'Арландъ, 3 декабря на шарльерѣ поднялись самъ Шарль и его мастеръ Робертъ (рис. 264). Эти полеты прошли счастливо, но при продолженіи опытовъ съ Розье въ 1785 году произошло несчастье: на высотѣ приблизительно 600 метровъ надъ землею его шаръ загорѣлся и онъ вмѣстѣ со своимъ спутникомъ физикомъ Ромэномъ погибли при паденіи. Шарль позднѣе также предпринималъ полеты со счастливымъ исходомъ. Онъ умеръ въ 1823 году.

Судьба Розье должна была предостеречь отъ пользованія монгольферами для полета людей. Однако, монгольферы имѣютъ передъ шарльерами то преимущество, что ихъ можно заставлять подыматься или опускаться по произволу, разводя ббльшій или меньшій огонь подъ большимъ отверстіемъ въ нижней части шара. Однако, опасность

отъ огня слишкомъ велика. При поднятіи на шарльерѣ подъемъ шара возможенъ только при помощи выбрасыванія взятыхъ заранѣе мѣшковъ баласта. Для опусканія шара приходится терять часть газа, выпуская его черезъ клапанъ. Ни того ни другого, въ виду ограниченности запаса песка и газа, нельзя повторять слишкомъ часто.

270. Величайшій недостатокъ воздушныхъ шаровъ состоитъ въ томъ, что ими нельзя управлять и что они должны слѣдовать за теченіями воздуха (вѣтрами). Къ этому присоединяется еще то обстоятельство, что спускъ на землю нерѣдко сопряженъ съ опасностью. Въ послѣднемъ отношеніи неудобство представляетъ уже и то, что воздухоплаватель лишь въ незначительной степени можетъ выбирать мѣсто спуска. Затѣмъ скорость при приближеніи къ землѣ вообще очень велика. Уже „свѣжій“ вѣтеръ имѣетъ скорость 3 миль въ часъ, а скорость шара одинакова со ско-

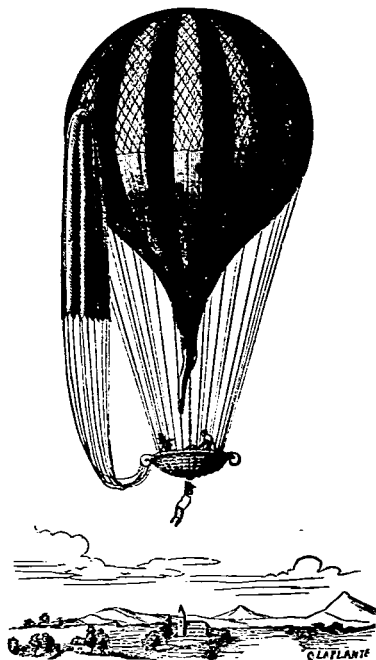
ростью вѣтра. Въ силу послѣдняго воздухоплаватели даже во время бури чувствуютъ вокругъ себя штиль.

Что касается управления шарами, то, само собой разумѣется, такихъ опытовъ было сдѣлано очень много. Собственно говоря, устройство приспособлений, которыя могли бы двигать шаръ въ любомъ направленіи, само по себѣ не было бы трудно, если бы только у насъ въ распоряженіи была движущая сила, которая могла бы сообщить шару достаточно большую скорость. Но достичь этого трудно, не отяготивъ шаръ громоздкой машиной. Поэтому стремленія изобрѣтателей были обращены прежде всего на то, чтобы создать возможно легкій, но сильный двигатель. До сихъ поръ, однако, удавалось только держаться противъ слабаго вѣтра или иногда преодолевать его.

Такъ какъ сила, которая должна приводить шаръ въ движеніе противъ вѣтра, въ виду значительной величины шара должна быть соразмѣрно большой, то въ послѣднее время за эту задачу принялись съ совершенно другой стороны. Теперь начинаютъ, отказываясь отъ принципа плаванія, обусловленнаго вытѣсненіемъ воздуха, подражать полету птицъ, при которомъ играетъ роль сопротивленіе воздуха поверхности крыльевъ. Этимъ сопротивленіемъ можно съ выгодой пользоваться особенно при большой скорости.

Воздушный шаръ съ тѣхъ поръ, какъ онъ сталъ извѣстенъ, употреблялся не только для удовольствія; онъ нашелъ практическое приложеніе въ нѣсколькихъ войнахъ и оказалъ хорошія услуги при полетахъ съ научными цѣлями. Когда дѣло идетъ о значительныхъ высотахъ, то во всякомъ случаѣ механической летательный приборъ не можетъ вступать въ состязаніе съ воздушнымъ шаромъ. Наибольшей высоты, 10 000 м достигли въ 1862 г. англичане Глэшеръ и Коксвелль. На этой высотѣ давленіе воздуха составляло около $\frac{1}{4}$ атмосферы (§ 262).

Рис. 264



Шарльеръ.

Мірозданіе

Свѣдѣнія и открытія послѣ 1630 г.

Свѣдѣнія и открытія послѣ 1630 г.

Земной шаръ

271. Послѣ открытія Америки западно-европейцы—какъ въ свое время греки (Эратосѣенъ, § 28, и Посидоній, § 52) и магометане (Аль-Мамунъ, § 57)—стали пытаться измѣрить величину земного шара. Уже давно было извѣстно, какъ можно опредѣлить разность широтъ двухъ мѣстъ. Для этого нужно только опредѣлить въ этихъ мѣстахъ высоты полюса и взять ихъ разность (§ 46). Значительно труднѣе опредѣлить разстояніе двухъ мѣстъ въ линейной мѣрѣ.

Одинъ уважаемый парижскій врачъ Жанъ Фернель произвелъ такое измѣрѣніе въ 1525 г. Для этого онъ проѣхалъ изъ Парижа въ Амьень и сосчиталъ число оборотовъ колесъ своего экипажа. Такъ какъ его путь не всегда шелъ по прямой линіи, то ему пришлось нѣсколько исправить полученную длину пути. Онъ нашелъ для длины градуса широты довольно точное значеніе 57 070 туазовъ (1 туазъ = 6 парижскимъ футамъ = 1·949 м).

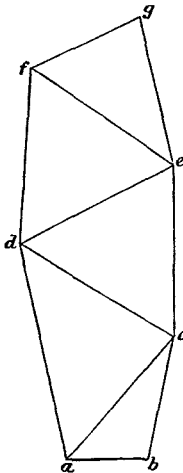
Слѣдующее измѣрѣніе произвелъ въ 1615 г. голландецъ Снелліусъ (§ 106). Главная его заслуга состояла въ томъ, что онъ ввелъ при этомъ измѣрѣніи способъ триангуляціи. Способъ триангуляціи основанъ на томъ, что для опредѣленія треугольника и вычисленія всѣхъ его частей достаточно знать одну сторону и два прилежающихъ къ ней угла (§ 23). Если сначала измѣрить на ровномъ и удобномъ мѣстѣ линію ab (рис. 265), то дальше линій можно уже не мѣрять, а все остальное можно получить при помощи угловыхъ измѣрѣній и вычислений. Для этого выбираютъ болѣе замѣтные пункты мѣстности, часто далекіе другъ отъ друга, однако такіе, чтобы изъ одного пункта можно было видѣть другіе. Въ этихъ пунктахъ устанавливаются шесть или другіе сигналы, на которые направляется угломѣрный приборъ. Измѣривъ въ треугольникѣ abc углы a и b (для контроля также, пожалуй, c), можно вычислить и сторону ac . Принявъ эту линію за основаніе треугольника acd , измѣряютъ углы этого треугольника, вычисляютъ cd и т. д. Когда такимъ образомъ весь промежутокъ между двумя станціями заполненъ извѣстными треугольниками, можно вычислить и разстояніе этихъ станцій.

Позднѣе такія измѣрѣнія были произведены англичаниномъ Норвудомъ и итальянцемъ Риччіоли. Первый нашелъ, что градусъ равняется 57424 туазамъ, послѣдній—61478 туазамъ. Такъ какъ результаты этихъ измѣрѣній сильно отличались другъ отъ друга, то въ 1667 г. Людовикъ XIV поручилъ произвести новое градусное измѣрѣніе физику Жану Пикару. Пикаръ родился въ 1620 г. въ городѣ Ла-

флешъ, былъ однимъ изъ первыхъ семи членовъ Парижской академш и умеръ въ Парижѣ въ 1682 г. Пикарь нашелъ для длины градуса очень точное значеніе 57 060 туазовъ. Кромѣ того, ему принадлежитъ большая заслуга, что онъ производилъ измѣренія угловъ не просто при помощи визира, а при помощи инструмента, который былъ снабженъ зрительной трубой съ перекрестными нитями (§ 204).

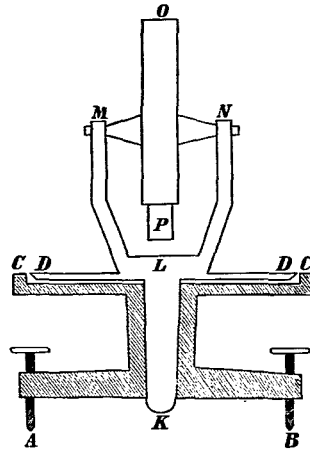
272. Это составило существенный шагъ въ конструкціи такъ называемаго теодолита, которымъ пользуются для различныхъ цѣлей, особенно при геодезическихъ измѣреніяхъ. Рис. 266 представляетъ вертикальное сѣченіе теодолита. Заштрихован-

Рис. 265



Триангуляція.

Рис. 266



Теодолить.

ная часть представляетъ прочный штативъ съ просверленнымъ вертикально отверстіемъ и съ кольцеобразной частью *CC*, снабженной тонкими дѣленіями. Внутри этой части, плотно прилегая къ ней, находится второй кругъ *DD*, наглухо скрѣпленный съ вилкой *KL MN*. Коническая ось *K* вращается въ отверстіи штатива, а вилка имѣетъ подставки для оси зрительной трубы *PO*. При помощи трехъ установочныхъ винтовъ въ ножкахъ штатива, изъ которыхъ два (*A* и *B*) видны на рисункѣ, можно установить инструментъ такъ, чтобы его ось *KL* была вертикальна; въ послѣднемъ можно убѣдиться при помощи уровня (рис. 267), который накладывается на ось трубы. Именно, ось *KL* будетъ вертикальна, если при вращеніи подвижной части инструмента на полный оборотъ пузырекъ уровня не будетъ перемѣщаться. Горизонтальность оси трубы можно опредѣлить, перекладывая уровень.

Рис. 267



Уровень.

При помощи зрительной трубы съ перекрестными нитями можно чрезвычайно точно

визировать на сигналъ далекой станціи. Затѣмъ нужно опредѣлить положеніе этого сигнала на кругѣ *D* относительно дѣленій круга *C* и притомъ возможно точно,—гораздо точнѣе, чѣмъ позволяетъ непосредственный отсчетъ штриховъ раздѣленнаго круга.

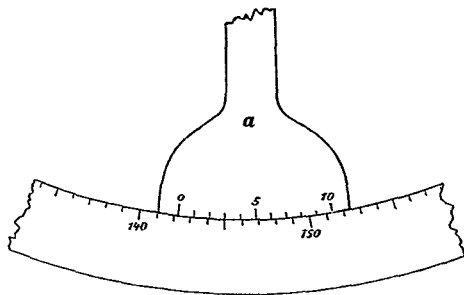
273. Необходимая точность достигается при помощи такъ называемаго нониуса. Это приспособленіе получило свое названіе отъ имени португальца Педро Нуньеса, который въ 1542 г. описалъ другое приспособленіе для той же цѣли. Регіомонтанъ и Тихо Браге также пользовались различными средствами, при помощи которыхъ они старались добиться подобной же точности отсчетовъ (ср. рис. 41). Настоящій нониусъ, который у французовъ справедливо называется „верниеромъ“, въ первый разъ описывается въ книгѣ, изданной въ 1630 г. Пьеромъ Вернье или Петеромъ Вернеромъ (1580—1631).

Устройство этого важнаго приспособленія, имѣющаго различныя формы соответственно инструменту, часть котораго оно составляетъ, и соответственно дѣленіямъ инструмента, показано на рис. 268. Само собою разумѣется, его можно сдѣлать и на прямомъ масштабѣ. На подвижной части *a* находится нулевая точка. Сначала отсчитывается предшествующій ей цѣлый градусный штрихъ, на нашемъ рисункѣ 142° . Долю градуса, которую нужно прибавить къ 142° , можно получить при помощи нониуса слѣдующимъ образомъ. На подвижной части *a* нанесенъ отрѣзокъ, равный 9 градусамъ неподвижныхъ дѣленій; но здѣсь онъ раздѣленъ не на 9, а на 10 равныхъ частей. Такимъ образомъ, каждая изъ этихъ частей равна $\frac{9}{10}$ градуса. Одинъ изъ штриховъ неподвижныхъ дѣленій всегда будетъ совпадать (болѣе или менѣе точно) съ однимъ изъ штриховъ нониуса. На рис. 268 такъ совпадаетъ третій штрихъ нониуса. Поэтому точный отсчетъ будетъ $142^\circ 30'$. Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ со штрихомъ неподвижныхъ дѣленій совпадаетъ штрихъ 3, то штрихъ 2 удаленъ отъ соответственнаго штриха неподвижныхъ дѣленій на $\frac{1}{10}$, штрихъ 1 на $\frac{2}{10}$ и штрихъ 0 на $\frac{3}{10}$.

274. Рис. 269 даетъ представленіе о датскомъ градусномъ измѣреніи, сдѣланномъ въ XIX столѣтіи. Первоначальная основная линія (базисъ) этой сѣти такъ мала, что ее нельзя было представить на этой картѣ. Это была линія длиною въ 2500 м на островѣ Амагеръ, измѣренная при помощи четырехъ стальныхъ брусковъ (железовъ). Железы осторожно укладывались одинъ на продолженіи другого въ горизонтальномъ положеніи, но не касаясь другъ друга. Величины промежутковъ между ними опредѣлялись при помощи стекляннаго клина извѣстныхъ размѣровъ, который вкладывался между ними.

Какъ показываетъ эта карта, визировки можно производить на далекаія разстоянія, такъ что требуется сравнительно небольшое число треугольниковъ, чтобы связать

Рис. 268



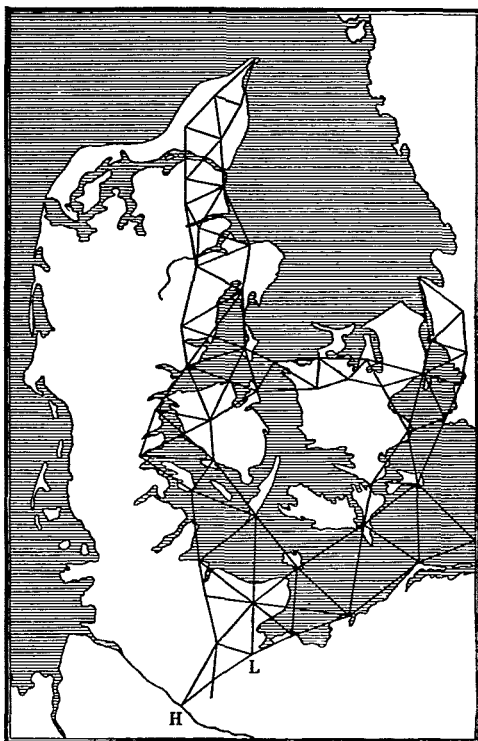
Нониусъ.

Какъ показываетъ эта карта, визировки можно производить на далекаія разстоянія, такъ что требуется сравнительно небольшое число треугольниковъ, чтобы связать

Швецію через датскіе острова въ восточной Ютландіи со Скагеномъ, через Малый Бельтъ съ Гамбургомъ или вдоль Зунда через южные датскіе острова съ Мекленбургомъ и оттуда съ Гамбургомъ.

275. При упомянутыхъ до сихъ поръ измѣрѣніяхъ предполагалось, что земля есть шаръ, что она, слѣдовательно, имѣетъ вездѣ одинаковую кривизну. Но одно случайное наблюдение заставило усомниться въ этомъ. Въ 1671 г. Парижская Академія послала одного изъ своихъ сочленовъ, Рише, въ Кайену, въ Южной Америкѣ, гдѣ онъ долженъ былъ произвести нѣкоторыя астрономическія наблюденія. Въ

Рис. 269



Датская градусная сѣть.

числѣ его приборовъ были между прочимъ часы съ маятникомъ, которые до отъѣзда шли вѣрно, но въ Кайенѣ стали отставать на двѣ минуты въ сутки. Рише долженъ былъ укоротить маятникъ на $1\frac{1}{4}$ линій, чтобы часы снова шли вѣрно. Когда въ 1673 г. онъ вернулся въ Парижъ, оказалось, что его часы стали уходить впередъ на 2 минуты въ сутки, и для того, чтобы часы снова шли вѣрно, маятникъ пришлось опять удлинить на $1\frac{1}{4}$ линій.

То же сообщалось и о часахъ съ маятниками, которые на берегахъ Африки и въ Вестъ-Индіи шли слишкомъ медленно. По общепринятому тогда взгляду единственной причиной замедленія хода часовъ съ маятниками было удлиненіе маятника въ тропическихъ странахъ подѣ вліяшемъ тепла.

Изобрѣтатель часовъ съ маятникомъ Гюйгенсъ, вычислившій также центробѣжную силу (§ 174), понялъ, однако, что дѣйствіе теплоты недостаточно для объясненія этого явленія и что главная причина отставанія часовъ совсѣмъ иная. Именно, центробѣжная сила, обусловленная вращеніемъ земли вокругъ оси, больше всего на экваторѣ; кромѣ того, она направлена здѣсь въ сторону, прямо противоположную силѣ тяжести. Съ уменьшеніемъ же силы тяжести маятникъ долженъ качаться медленнѣе и часы должны отставать.—Вычисления Гюйгенса подтвердили правильность этого объясненія.

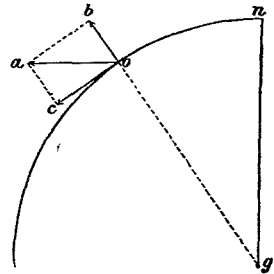
276. Гюйгенсъ сталъ изслѣдовать дѣйствіе центробѣжной силы въ другихъ мѣстахъ земной поверхности, напримѣръ, въ мѣстахъ средней широты (рис. 270). Въ точкѣ *a* она, очевидно, должна имѣть направленіе *oa*, перпендикулярное къ земной оси *ng*. Но силу *oa* можно разложить на двѣ составляющихъ *ob* и *oc*. Первая изъ нихъ уменьшаетъ силу тяжести, а послѣдняя стремится отталкивать прѣдметы къ экватору, что непрѣмѣнно должно обнаружиться въ распредѣленіи воды (въ морѣ). Именно, послѣдняя должна скопляться въ экваторіальныхъ областяхъ и море должно имѣть форму, соответствующую сплюсненному шару. Разстояніе между полюсами должно быть меньше поперечника экватора. А такъ какъ форма суши мало отличается отъ формы моря—даже самыя высокія горы имѣютъ немногимъ больше одной мили въ высоту—, то весь земной шаръ долженъ имѣть сплюсненную форму. Гюйгенсъ наглядно пояснял это, укрѣпляя на оси мягкій глиняный шаръ и приводя его во вращеніе. При вращеніи этотъ шаръ сплюсчивался.

Гюйгенсъ вычислилъ величину сжатія земли и нашелъ для нея $\frac{1}{578}$, иными словами, экваторіальный поперечникъ земли долженъ быть на $\frac{1}{578}$ больше полярнаго; съ другой стороны Ньютонъ нашелъ для этого сжатія приблизительно вдвое большую величину, а именно $\frac{1}{230}$.

Такая большая разница этихъ результатовъ объясняется тѣмъ, что Гюйгенсъ соединялъ всю силу тяжести въ центрѣ земли, тогда какъ Ньютонъ распредѣлялъ ее равномѣрно по всей массѣ земного шара. Ни то ни другое предположеніе не зѣрно. Поэтому дѣйствительная величина сжатія лежитъ между тѣми числами, которые нашли Гюйгенсъ и Ньютонъ. Оно приблизительно равно $\frac{1}{300}$ (точнѣе $\frac{1}{298}$).

277. Точное опредѣленіе этой величины потребовало, однако, довольно много времени. Такъ какъ его нельзя было вывести изъ измѣреній, сдѣланныхъ раньше, то министръ Людовика XIV Кольберъ подѣ вліяшемъ Пикара приказалъ произвести градусное измѣреніе къ сѣверу и къ югу отъ Парижа. Выполненіе этого измѣренія было поручено въ 1680 г. наиболѣе выдающимся членамъ академіи. По смерти

Рис. 270



Дѣйствіе центробѣжной силы.

Кольбера работа остановилась и между 1683 и 1700 г. совсѣмъ не двигалась впередъ; она была окончена только въ 1718 г. Эта работа дала слѣдующіе результаты: дуга отъ Парижа до Дюнкирхена простиралась на $2^{\circ}45'50''$, дуга отъ Парижа до Колліура (на испанской границѣ) на $6^{\circ}18'47''$. Длина одного градуса на первой дугѣ получилась въ 56960 туазовъ, на другой въ 57097 туазовъ.

Разница въ длинахъ одного градуса на этихъ двухъ дугахъ была тотчасъ же сочтена Кассини и другими за доказательство того, что земля не представляетъ собой точнаго шара. И такъ какъ кривизна должна быть меньше всего тамъ, гдѣ градусы имѣютъ наибольшую длину, то ея кривизна вблизи экватора должна быть меньше, чѣмъ кривизна дальше къ сѣверу. Такимъ образомъ выходило, что земля растянута въ направленіи своей оси вращенія.

Тѣмъ временемъ Гюйгенсъ уже умеръ, Ньютонъ былъ старъ. Но соотечественники послѣдняго вступили въ споръ съ французами, утверждая, что эти измѣренія ошибочны и что земля должна быть сплющена у полюсовъ.

278. Измѣреніе дуги по долготѣ, предпринятое въ 1733 и 1734 г., отъ западнаго берега Бретани до Страсбурга, казалось, также говорило въ пользу мнѣшя французовъ. Но это не убѣдило англичанъ. Отклоненіе было такъ ничтожно, что изъ него нельзя было вывести достовѣрнаго заключенія. Тогда, по докладу академіи министръ Людовика XV Морепа предложилъ наконецъ ирривести градусное измѣреніе въ совершенно различныхъ странахъ. Морепа получилъ разрѣшеніе отъ испанскаго правительства произвести измѣреніе на испанской территоріи въ Перу. Въ 1735 г. туда отправилась большая экспедиція подъ начальствомъ Кондамина, Годена и Бугера и двухъ испанскихъ морскихъ офицеровъ. Экспедиція встрѣтила разнообразныя затрудненія и ей пришлось долго свыкаться съ мѣстными условіями. Въ 1741 г. члены экспедиціи пришли только къ тому, что по общему согласію рѣшили бросить все сдѣланное до тѣхъ поръ и начать сначала.

Теперь работа двигалась успѣшно, но между членами экспедиціи возникъ разладъ. Въ одинъ прекрасный день въ 1744 г. Бугеръ исчезъ. Онъ отправился на родину черезъ Мексику и Кондаминъ узналъ объ этомъ только спустя шесть недѣль, такъ какъ онъ находился на другомъ концѣ дуги. Кондаминъ отправился на рѣку Амазонку, ироизвелъ основательную съемку ея и вернулся домой въ 1746 г. Испанскіе офицеры вернулись кругомъ мыса Горна. Одинъ изъ нихъ, Уллоа, попалъ въ руки англичанъ и былъ отвезенъ въ Лондонъ, гдѣ его, однако, тотчасъ же выпустили на свободу. Только Годенъ оставался до 1748 г. въ Перу, гдѣ ему пришлось пережить большое землетрясеніе. Лишь въ 1750 г. онъ вернулся домой черезъ Буэносъ Айресь. Здѣсь онъ получилъ мѣсто учителя и умеръ, не изготовивъ отчета. Остальные участники спорили другъ съ другомъ самымъ упорнымъ образомъ, пока, наконецъ, не согласились опубликовать, какъ результатъ своихъ работъ, слѣдующее. Измѣривъ около $1\frac{1}{2}^{\circ}$ къ сѣверу и $1\frac{1}{2}^{\circ}$ къ югу отъ экватора, всего $3^{\circ}7'4''$, они получили для длины градуса:

Бугеръ	56 753 туаз.,
Кондаминъ	56 749 „ ,
Уллоа	56 768 „ .

Такъ какъ это измѣреніе производилось на плоскогорьѣ, то его результатъ

нужно было еще привести къ уровню моря. Въ концѣ концовъ для длины одного градуса экватора была получена величина 56732 туаза.

279. Еще раньше, чѣмъ сталъ извѣстенъ этотъ результатъ, академія въ 1736 г. рѣшила, по предложенію находившагося тогда въ Парижѣ Цельсія, предпринять градусное измѣреніе на сѣверѣ. Экспедиція, во главѣ которой сталъ Мопертюи, отправилась въ Лапландію, гдѣ и былъ измѣренъ одинъ градусъ, преимущественно по льду, при помощи шведскаго правительства и при содѣйствіи Цельсія. Уже въ 1737 г. экспедиція вернулась съ результатомъ, что одинъ градусъ близъ Торнео подъ полярнымъ кругомъ имѣетъ въ длину 57437 туазовъ. Эта величина во всякомъ случаѣ нѣсколько больше той, которую нашли позднѣе шведы, именно 57196. Однако, по окончаніи работъ экспедиціи въ Перу для длины градуса имѣлись слѣдующія величины:

подъ $66\frac{1}{2}^{\circ}$ сѣв. широты	. . .	57 437 туазовъ,
" 45 "	" "	57 023 " "
" 0 "	" "	56 732 " "

Теперь всѣ сомнѣнія были устранены. Французы доказали, что правы были Гюйгенсъ и Ньютонъ.

Наконецъ, въ 1792 г., согласно рѣшенію Національнаго Собранія, была начата новая большая экспедиція, градусное измѣреніе, охватывавшее дугу меридіана, шедшую черезъ всю Францію и Испанію вплоть до Форментеры (на Питіузскихъ островахъ). И здѣсь, хотя не столь рѣзко, обнаружился тотъ же законъ кривизны земли.

280. Послѣднее измѣреніе было предпринято для опредѣленія новой мѣры длины: часть меридіана (четверть) отъ полюса до экватора долженъ былъ имѣть 10 000 000 метровъ. Коммиссія французскихъ математиковъ уже раньше высказывалась въ пользу такого опредѣленія. Болѣе раннее предложеніе Гюйгенса принять за единицу длины секундный маятникъ (третья часть его длины должна была называться временнымъ футомъ, *Zeitfuss*) было отброшено, такъ какъ оно вводило другое понятіе (время). По окончаніи градуснаго измѣренія и необходимыхъ вычисленій, метръ былъ опредѣленъ въ 1799 г. какъ равный линіѣ 443·296 линій. Въ томъ же году въ Парижѣ въ *Viergeau des Longitudes* былъ положенъ на сохраненіе основной образцовый метръ изъ платины. Позднѣе выяснилось, что величина 443·296 не вполне точна и что 10 000 000-ая часть четверти меридіана равна 443·334 линіямъ. Однако, разъ опредѣленная величина метра удержалась и такимъ образомъ четверть земнаго меридіана имѣетъ не ровно 10 000 000, а 10 000 856 м.

281. Одно изъ главныхъ преимуществъ метрической системы мѣръ представляетъ то, что она является чисто десятичной системой, т. е. что въ ней всѣ болѣе крупныя и мелкія мѣры образуются изъ основной единицы увеличеніями или уменьшеніями въ десять разъ:

1 километр ¹⁾	= 1000 метрамъ,	1 дециметр ²⁾	= 0·1 метра,
1 гектометр	= 100 "	1 сантиметръ	= 0·01 "
1 декаметр	= 10 "	1 миллиметр	= 0·001 "

Для мѣръ поверхности и объема служатъ квадратный метръ, квадратный сан-

¹⁾ Греческія названія для 1000, 100, 10.

²⁾ Латинскія названія для 10, 100, 1000.

тиметръ, кубическій метръ, кубичесюй сантиметръ и т. д. Кубическій дециметръ называется литромъ. Такимъ образомъ кубичесюй метръ есть также килолитръ (10 гектолитровъ).

Единица вѣса граммъ есть вѣсъ кубическаго сантиметра дистиллированной воды при 4°C, т. е. при температурѣ ея наибольшей плотности. Слѣдовательно, литръ воды вѣситъ одинъ килограммъ. Имена кратныхъ вѣсовъ и долей грамма слѣдующія:

1 килограммъ = 1000	граммовъ,	1 дециграммъ = 0·1	грамма,
1 гектограммъ = 100	„	1 сантиграммъ = 0·01	„
1 декаграммъ = 10	„	1 миллиграммъ = 0·001	„

Скорость свѣта

282. Къ числу замѣчательныхъ людей, которыхъ привлекла къ себѣ французская академія, принадлежалъ итальянецъ Джованни Доменико Кассини. Онъ происходилъ изъ знатной семьи и родился въ 1625 г. въ Перинальдо близъ Ниццы. По окончаніи ученія въ Генуѣ и Болоньѣ Кассини сталъ профессоромъ астрономіи въ послѣдней. Здѣсь онъ производилъ различныя астрономическія работы и публиковалъ таблицы спутниковъ Юпитера. По предложенію Пикара, обратившаго вниманіе на работы Кассини, послѣдній былъ приглашенъ въ Парижъ въ качествѣ члена Академіи и королевскаго астронома. Въ 1669 г. Кассини переѣхалъ въ Парижъ.

Здѣсь въ теченіе ближайшихъ 41 года Кассини произвелъ массу работъ на обсерваторіи, открылъ между прочимъ четырехъ спутниковъ Сатурна¹⁾ и опубликовалъ въ изданіяхъ академіи не менѣе 176 статей. Онъ умеръ въ 1712 г. и сталъ родоначальникомъ цѣлаго ряда замѣчательныхъ ученыхъ, которые всѣ были членами Академіи. Трое изъ нихъ, подобно родоначальнику, были директорами Парижской обсерваторіи, — сынъ наследовалъ отцу три раза. Имена этихъ потомковъ Доменико Кассини были слѣдующія:

Жакъ Кассини, 1677—1756.

Сезаръ Франсуа Кассини, 1714—1784.

Жакъ Доминикъ Кассини, 1748—1845.

Съ послѣднимъ родъ угасъ. Его единственный сынъ Александръ Анри Габрель Кассини, ботаникъ, умеръ уже въ 1832 г., не оставивъ наследника.

283. По предложенію того же Пикара пріѣхалъ въ Парижъ и другой ученый Оле Рёмеръ (рис. 271).

Для того чтобы лучше использовать наблюденія Тихо Браге, которыя, несмотря на изобрѣтеніе зрительной трубы, сохраняли свое неоцѣнимое значеніе и въ слѣдующіе вѣка, въ 1671 г. въ Копенгагенъ пріѣхала французская экспедиція подъ руководствомъ Пикара съ цѣлью точнаго опредѣленія меридіана Раненбурга. Пикаръ былъ чрезвычайно подходящій человекъ для такой работы, такъ какъ имѣлъ въ распоряженіи хорошіе инструменты и имѣлъ опытъ, необходимый для такого рода наблюденій, изъ выполненнаго незадолго передъ тѣмъ градуснаго измѣренія (§ 271).

¹⁾ Изъ восьми спутниковъ Сатурна шестой былъ открытъ Гюйгенсомъ (1655), восьмой (1671), пятый (1672), третій и четвертый (1684) Кассини, первый и второй (1789) Гершелемъ и сельмой (1848) Бондомъ.

Когда по этому поводу онъ вошелъ въ сношенія съ властями въ Копенгагенѣ, ему рекомендовали въ качествѣ помощника при производствѣ градуснаго измѣренія молодого Ремера.

Оле Ремеръ родился въ 1644 году въ Ааргузѣ, посѣщаль мѣстную соборную школу, а затѣмъ учился въ Копенгагенѣ. Здѣсь въ числѣ его учителей былъ

Рис. 271



Оле Ремеръ.

Размъ Бартолинъ (1625—1698), открывшій двойное преломленіе свѣта въ исландскомъ известковомъ шпатѣ. Рёмеръ помогаль Бартолину въ изданіи наблюденій Тихо Браге и Бартолинъ рекомендовалъ его Пикару въ качествѣ помощника.

По окончаніи работъ на островѣ Гвенѣ Ремеръ поѣхаль съ Пикаромъ въ Парижъ. Здѣсь онъ скоро сталъ членомъ Академіи и учителемъ математики дофина. Онъ принималъ участіе въ устройствѣ фонтановъ въ Версали и въ Марли, изобрѣ-
Лапура и Анисль. Историческая Физика

талъ различные инструменты и ему же, между прочимъ, принадлежитъ заслуга указанія правильной формы зубцовъ зубчатого колеса (эпициклоида). Наибольшее значеніе имѣютъ его астрономическія наблюденія, которыя онъ производилъ совмѣстно съ Пикаромъ и особенно съ Д. Кассини.

При этихъ наблюденіяхъ дѣло состояло въ измѣреніи промежутковъ времени между двумя послѣдовательными вступленіями спутниковъ Юпитера въ тѣнь планеты или выходами изъ нея. Это явленіе, которое можно наблюдать при помощи самыхъ слабыхъ зрительныхъ трубъ, представляетъ интересъ и само по себѣ въ смыслѣ опредѣленія временъ обращенія спутниковъ Юпитера. Скоро, однако, замѣтили также, что это явленіе, будучи достаточно изучено, при извѣстныхъ вычисленіяхъ можетъ оказывать большія услуги моряку и путешественнику.

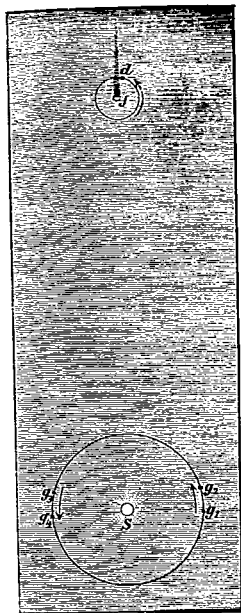
Именно, вступленіе какого-нибудь спутника Юпитера въ тѣнь наблюдается въ одно и то же время во всѣхъ мѣстахъ земли. Поэтому уже Галилей предлагалъ пользоваться этимъ явленіемъ для опредѣленія географическаго положенія, какъ нѣкотораго рода міровыми часами, подобно тому, какъ Гиппархъ пользовался лунными затмѣніями (§ 47). Затмѣніями спутниковъ Юпитера, однако, можно пользоваться гораздо шире, такъ какъ это явленіе можно наблюдать почти каждый день. Юпитеръ имѣетъ большую поверхность, а плоскости орбитъ его спутниковъ такъ близко совпадаютъ съ его собственной, что три ближайшихъ къ нему спутника должны проходить черезъ его тѣнь при каждомъ оборотѣ около планеты. Даже четвертый спутникъ чаще проходитъ черезъ тѣнь, чѣмъ минуетъ ее. Еслибы было возможно предвычислить точныя таблицы моментовъ этихъ явленій, то онѣ могли бы оказать моряку ту же услугу, какъ и хорошей хронометръ. Это вычисленіе, однако, не совсѣмъ просто, такъ какъ вслѣдствіе эллиптичности орбитъ Юпитера и его спутниковъ эти явленія повторяются въ не совсѣмъ одинаковые промежутки времени.

Кассини и Ремеръ взялись за эту работу и между обнаруженными неправильностями оказалось и то, что время между двумя затмѣніями одного и того же спутника въ одно время года нѣсколько короче, чѣмъ въ другое. На рис. 272 пусть S будетъ солнце, g_1, g_2, g_3, g_4 земля въ различныхъ положеніяхъ на орбитѣ, J Юпитеръ и d одинъ изъ его спутниковъ. Оказалось, что время между двумя затмѣніями, когда земля находится въ $g_1 g_2$, меньше того времени, когда она бываетъ въ $g_3 g_4$. А такъ какъ нельзя допустить, что положеніе земли оказываетъ дѣйствительное вліяніе на спутниковъ Юпитера, то Кассини и Ремеръ предположили, что въ основѣ этого явленія лежитъ то, что земля въ положеніи $g_1 g_2$, такъ сказать, идетъ навстрѣчу свѣту и что поэтому, когда мы доходимъ до положенія g_2 , явленіе происходитъ раньше, чѣмъ было бы въ томъ случаѣ, еслибы мы оставались въ положеніи g_1 . Напротивъ, если земля движется отъ g_3 къ g_4 , то свѣтъ, настагающій нась только въ g_4 , долженъ доходить нѣсколько позднѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда мы оставались бы въ точкѣ g_3 . Перемѣщеніе же изъ g_1 въ g_2 всетаки довольно значительно. Земля проходитъ по своей орбитѣ приблизительно 4 мили въ секунду, а время обращенія ближайшаго къ планетѣ спутника, который движется быстрѣе всѣхъ, составляетъ приблизительно 42·5 часовъ. Такимъ образомъ, земля проходитъ между двумя послѣдовательными затмѣніями этого спутника $42·5 \times 60 \times 60 \times 4$, т. е. около 600 000 миль. Слѣдовательно, затмѣніе въ g_2 должно происходить приблизительно на 15 секундъ раньше, а въ g_4 на 15 секундъ позднѣе, чѣмъ слѣдовало бы.

Когда Кассини въ первый разъ дѣлалъ объ этомъ докладъ въ Академіи, съ различныхъ сторонъ посыпались возраженія противъ его взглядовъ.

По предложенію Галилея Accademia del Cimento пыталась опредѣлить скорость свѣта, для чего два наблюдателя, находившіеся на разстояніи одной мили другъ отъ друга, закрывали экранами свѣтъ. Въ опредѣленное время одинъ изъ нихъ удалялъ экранъ, а другой, какъ только замѣчалъ свѣтъ, долженъ былъ удалять свой экранъ. Время, протекавшее отъ того момента, въ который первый наблюдатель удалялъ экранъ, до того момента, когда онъ замѣчалъ свѣтъ отъ второго наблюдателя, и

Рис. 272



Затмѣнія спутниковъ Юпитера.
(видъ съ земли).

должно было представлять время, нужное свѣту для прохожденія дважды разстоянія между наблюдателями. Этотъ опытъ, однако, не привелъ ни къ какому результату, такъ какъ получившійся промежутокъ времени, повидимому, былъ какъ разъ такой, какой былъ необходимъ наблюдателямъ, чтобы произвести нужныя движенія. Большинство ученыхъ придерживалось нѣсколько страннаго утвержденія Декарта, что свѣтъ распространяется мгновенно. Кассини оставилъ дѣло на этомъ, но Ремеръ не бросилъ его. Онъ продолжалъ свою работу и въ 1675 г. представилъ Академіи дальнѣйшія доказательства правильности своего взгляда. Теперь даже Кассини былъ въ числѣ его противниковъ и только небольшое число членовъ Академіи, между ними, однако, Гюйгенсъ, стали на его сторону. Лишь въ слѣдующемъ столѣтіи должно было обнаружиться, что Ремеръ былъ правъ и что свѣтъ распространяется въ пространствѣ со скоростью 300 000 км въ секунду. Несмотря, однако, на такой оборотъ дѣла, никто не могъ оспаривать у Ремера чести перваго открытія скорости свѣта.

Уже въ 1675 году Ремеръ пріобрѣлъ своими работами такую извѣстность, что ему предложили каведру въ Копенгагенскомъ университетѣ. Но онъ переѣхалъ въ Копенгагенъ только въ 1681 г., послѣ уничтоженія Нантскаго Эдикта; здѣсь онъ работалъ очень много какъ въ области науки, такъ и въ области административной. Онъ былъ сдѣланъ членомъ Верховнаго Суда и начальникомъ полиціи въ Копенгагенѣ. Ему принадлежитъ заслуга введенія общихъ мѣры и вѣса во всей странѣ, улучшенія дорогъ и сношеній, освѣщенія улицъ и организациі пожарнаго дѣла въ Копенгагенѣ, въ монетномъ и податномъ дѣлѣ и во введеніи григоріанскаго календаря (§ 19), послѣдовавшемъ въ 1600 г. Несмотря на эту многостороннюю дѣятельность въ административной сферѣ, Ремеръ находилъ время и для астрономическихъ наблюденій, которыя онъ производилъ частью на Круглой Башнѣ, частью на своей собственной обсерваторіи при загородномъ домѣ. При этомъ Ремеръ обладалъ необыкновенной изобрѣтательностью. Послѣ его смерти въ 1710 г. въ обсерваторіи было найдено 54 инструмента, изобрѣтенныхъ и отчасти построенныхъ имъ самимъ, такъ что его называли даже сѣвернымъ Архимедомъ. Онъ изоб-

рѣлъ большую часть типичныхъ формъ астрономическихъ инструментовъ, употребляющихся еще и теперь. Ремеръ умѣлъ такъ хорошо пользоваться этими инструментами и пользовался ими такъ прилежно, что его въ этомъ отношеніи можно назвать достойнымъ преемникомъ Тихо Браге. Онъ оставилъ послѣ себя массу превосходныхъ наблюдений, предназначавшихся по преимуществу для нахождения параллакса неподвижныхъ звѣздъ (см. § 70). Какъ и Браге, Ремеръ не успѣлъ заняться обработкой своего громаднаго наблюдательнаго матеріала, хотя онъ имѣлъ великолѣпнаго помощника, какъ Тихо имѣлъ Кеплера. Этимъ помощникомъ былъ Петръ Горребовъ, родившійся въ 1679 г. въ Лѣкстѣрѣ (Ютландія), въ семьѣ одного бѣднаго рыбака. Съ 1703 года онъ изучалъ въ Копенгагенѣ богословіе и медицину и познакомился съ Оле Ремеромъ, который преподавалъ ему математику и физику. Горребовъ помогалъ Ремеру въ астрономическихъ наблюденияхъ, которыя продолжалъ и послѣ его смерти. Къ сожалѣнію, его рукописи погибли во время большого пожара въ 1728 г. Горребовъ бѣжалъ изъ своего дома на обсерваторіи. Но когда онъ увидѣлъ, что вѣтеръ поворачиваетъ, такъ что опасность угрожаетъ обсерваторіи, то онъ сложилъ работы свои и Ремера въ два ящика и пытался обезопасить ихъ, что, однако, ему не удалось. Только ничтожная часть наблюдений Ремера была спасена и позднѣе обработана нѣсколькими астрономами, главнымъ образомъ Галле изъ Берлина (1845).—Горребовъ умеръ въ 1764 году.

Нельзя, конечно, удивляться, что правильность опредѣленія скорости свѣта, сдѣланнаго Ремеромъ, не разъ подвергалась сомнѣнію, такъ какъ движеніе спутниковъ Юпитера представляетъ крайне сложное явленіе, — здѣсь дѣйствуетъ одновременно много вліяній.

284. Совершенно иной путь опредѣленія скорости свѣта избралъ Джэмсъ Брайлей. Брайлей родился въ 1692 г., изучалъ въ Оксфордѣ богословіе и въ 1719 году сталъ діакономъ въ Ванстѣдѣ. Здѣсь онъ началъ заниматься математикой и астрономіей и сдѣлалъ въ этихъ наукахъ такіе успѣхи, что въ 1721 г. былъ приглашенъ въ Оксфордъ въ качествѣ профессора астрономіи; впрочемъ, здѣсь у него не было сколько-нибудь значительныхъ вспомогательныхъ средствъ.

Уже Коперникъ пытался доказать существованіе параллакса неподвижныхъ звѣздъ, т. е. годичное смѣщеніе ихъ вслѣдствіе движенія земли вокругъ солнца. Но его измѣрительные приборы были слишкомъ неточны для того, чтобы ими можно было доказать такое движеніе. Позднѣе Пикаръ, Флэмстидъ, первый директоръ обсерваторіи въ Гриничѣ, устроенной Карломъ II, и другіе астрономы производили такія наблюденія. Они, правда, наблюдали небольшія измѣненія въ положеніяхъ нѣкоторыхъ звѣздъ, но не поняли ихъ сущности. Быть можетъ, наблюденія Ремера выяснили бы этотъ вопросъ, но къ несчастью они погибли.

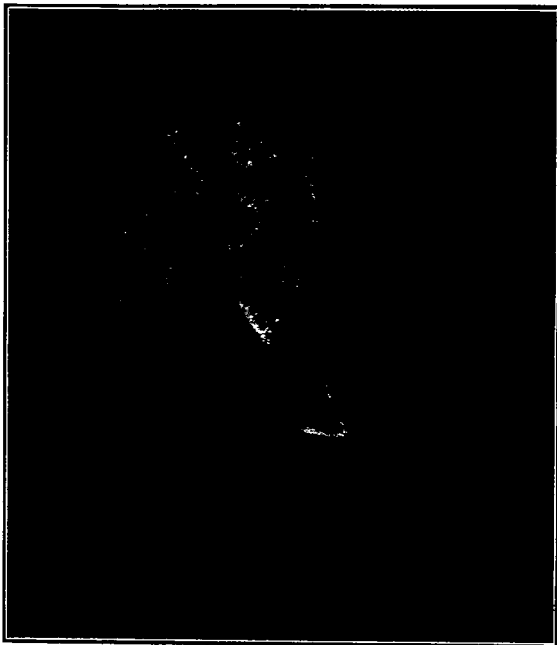
Въ это время Брайлею приходилось часто встрѣчаться съ Самюэлемъ Молинѣ, владѣльцемъ частной обсерваторіи въ Кью, снабженной хорошими инструментами. Молинѣ заказалъ инструментъ для измѣренія зенитныхъ разстояній (зенитальный секторъ), на которомъ можно было отсчитывать углы съ точностью до одной секунды. Съ этимъ инструментомъ Молинѣ въ 1725 г. началъ наблюденія звѣзды γ въ созвѣздіи Дракона, въ которыхъ принялъ участіе также Брайлей и которыя продолжались цѣлый годъ. Оказалось, что эта звѣзда въ продолженіе года описываетъ

небольшой путь, притомъ, однако, такой, какого не могла описывать вслѣдствіе параллакса.

По смерти Молинё въ 1728 г. Бродлей продолжалъ эти наблюденія при помощи новаго инструмента, который былъ установленъ для него у его дяди въ Ванстэдѣ. Онъ нашелъ, что и другія звѣзды въ продолженіе года описываютъ аналогичные небольшіе пути. Очевидно, причину этихъ движеній нужно было искать въ годовомъ движеніи земли.

Переѣзжая однажды черезъ Темзу, Бродлей обратилъ вниманіе на то, что въ то время, когда лодка двигалась, вѣтеръ шелъ какъ будто по иному направленію,

Рис. 273



Джэмсъ Бродлей.

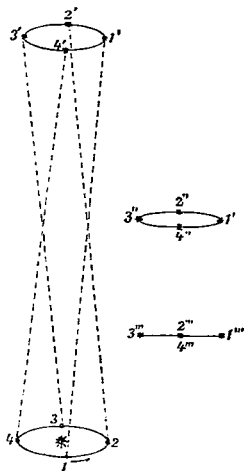
чѣмъ это было на самомъ дѣлѣ. Это наблюденіе, вѣроятно, и дало основаніе Бродлею объяснить упомянутое кажущееся движеніе неподвижныхъ звѣздъ аналогичнымъ явленіемъ, — такъ называемой aberrацией свѣта. Въ 1728 г. онъ сообщилъ о своемъ открытіи тогдашнему Королевскому астроному въ Гриничѣ Эдмунду Галлею, а Галлей тотчасъ же опубликовалъ письмо Бродлея въ изданіяхъ Королевскаго общества. — По смерти Галлея въ 1742 году Бродлей сталъ его преемникомъ. Въ званіи Королевскаго астронома онъ и работалъ до самой своей смерти (1762).

Пусть 1, 2, 3, 4 (рис. 274) будетъ орбита земли. Продолженная во всѣ стороны плоскость земной орбиты представляетъ эклиптику. Звѣзда, находящаяся на пер-

пендикулярѣ къ ней въ полюсѣ эклиптики, описываетъ, какъ нашель Брадлей, небольшой кругъ $1' 2' 3' 4'$ съ поперечникомъ въ $40''$, что приблизительно соотвѣтствуетъ $\frac{1}{45}$ части видимаго поперечника солнца. Звѣзда движется по этому пути въ томъ же направленіи, въ какомъ земля движется по своему, но удивительно, что она идетъ впереди движенія земли на четверть года.

Звѣзда между эклиптикой и полюсомъ эклиптики движется по эллиптическому пути $1'' 2'' 3'' 4''$, большая ось котораго параллельна эклиптикѣ и также равна $40''$, а малая ось тѣмъ меньше, чѣмъ ближе звѣзда къ эклиптикѣ. Звѣзда въ самой эклиптикѣ движется по прямой линіи въ эклиптикѣ $1''' 2''' 3''' 4'''$ то въ ту, то въ другую сторону.

Рис. 274



Аберрація свѣта.

въ томъ случаѣ, когда земля движется въ направленіи луча ($2'''$) или въ противоположномъ ($4'''$), звѣзда кажется тамъ, гдѣ она дѣйствительно находится (точно такъ же,

Рис. 275



Слѣды дождевыхъ капель на окнѣ желѣзнодорожнаго вагона.

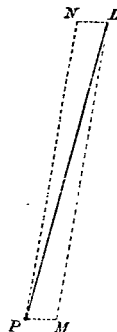
какъ направленіе вѣтра не измѣняется для насъ, если мы идемъ по вѣтру или прямо противъ вѣтра).

Это смѣщеніе, аберрація, очевидно, не зависитъ отъ разстоянія звѣзды. Она опредѣляется только скоростью свѣта и скоростью земли.

Объясненіе Брадлея исходило изъ того, что здѣсь есть два движенія; это бываетъ также, когда отвѣсно падающія капли дождя попадаютъ на окно движущагося желѣзнодорожнаго вагона (рис. 275). Свѣтъ движется, земля также. Пусть направленіе и скорость свѣтового луча даются линіей LM (рис. 276). Пусть за то же время земля переходитъ изъ P въ M . Въ такомъ случаѣ результатъ будетъ такой, какъ еслибы земля стояла неподвижно, а лучъ свѣта кромѣ своего собственного движенія имѣлъ бы еще движеніе, противоположное движенію земли (LN). Эти два движенія LM и LN соединяются въ движеніе LP (ср. § 147). Слѣдовательно, если земля движется перпендикулярно къ направленію свѣтового луча, то свѣтовой лучъ войдетъ въ глазъ или въ зрительную трубу такъ, какъ будто звѣзда смѣстилась въ томъ же направленіи, въ которомъ движется земля. Только въ

томъ случаѣ, когда земля движется въ направленіи луча ($2'''$) или въ противоположномъ ($4'''$), звѣзда кажется тамъ, гдѣ она дѣйствительно находится (точно такъ же,

Рис. 276



Аберрація свѣта.

Наибольшая величина этого смѣщенія составляетъ $20''$ или $\frac{1}{180}$ градуса, а такъ какъ градусъ составляетъ приблизительно $\frac{1}{80}$ радіуса, то $20''$ соотвѣтствуютъ приблизительно смѣщенію въ $\frac{1}{10000}$ радіуса. Другими словами, PM (рис. 276) составляетъ приблизительно $\frac{1}{10000}$ разстоянія LM или скорость свѣта LM приблизительно въ 10000 разъ больше скорости земли PM . Послѣдняя составляетъ около 4 миль въ секунду. Такимъ образомъ, скорость свѣта составляетъ 40000 миль или 300000 км въ секунду. Этотъ результатъ является прекраснымъ подтвержденіемъ открытія Ремера и въ то же время первымъ дѣйствительнымъ доказательствомъ движенія земли вокругъ солнца.

285. Бадлей уже въ 1727 году замѣтилъ другое измѣненіе положеній звѣздъ, но, только ставъ Королевскимъ астрономомъ въ Гриничѣ, онъ могъ глубже изслѣдовать это явленіе и опубликовать результаты своихъ наблюденій въ 1748 г. Именно, онъ показалъ, что неподвижныя звѣзды описываютъ также небольшую видимую орбиту въ періодъ 18.6 лѣтъ. Поперечникъ этой орбиты имѣетъ отъ $14''$ до $19''$ и изъ положенія этого пути Бадлей вывелъ заключеніе, что земная ось, кромѣ большого круга, который она описываетъ вокругъ полюса эклиптики въ 26000 лѣтъ (§ 44), описываетъ также малый кругъ въ 18 лѣтъ, такъ что дѣйствительное движеніе ея представляетъ нѣкоторую волнообразную линію. Это второе движеніе оси получило названіе нутаціи.

286. Толчекъ къ изобрѣтенію третьяго способа измѣренія скорости свѣта, равно какъ и основную идею способа выполнения этого, далъ Доминикъ Франсуа Араго (рис. 277). Онъ родился въ 1786 г. въ Эстажелѣ близъ Перпиньяна, а образование получилъ въ Политехнической школѣ въ Парижѣ. Въ 1805 г. онъ отправился въ Испанію, чтобы тамъ, вмѣстѣ съ Біо, продолжить градусное измѣреніе до Форментеры (§ 278). Во время возстанія испанцевъ противъ Наполеона онъ былъ арестованъ. Ему удалось бѣжать въ Алжиръ, но на пути въ Марсель онъ былъ снова захваченъ испанскимъ крейсеромъ. Когда затѣмъ онъ былъ освобожденъ и снова приближался къ Марселю, буря отбросила его къ Сардиніи. Отсюда Араго снова попалъ въ Алжиръ, долженъ былъ служить здѣсь толмачемъ и только въ 1809 г. былъ снова освобожденъ. Вскорѣ затѣмъ онъ былъ сдѣланъ членомъ Академіи и преподавателемъ Политехнической школы. Вмѣстѣ съ химикомъ Гэ-Люссакомъ (1778—1850) Араго редактировалъ знаменитые „Annales de physique et de chimie“. Онъ опубликовалъ много работъ, отчасти болѣе общаго характера изъ области астрономіи и физики, отчасти біографіи великихъ людей и описанія ихъ дѣятельности. Араго одинаково цѣнили, какъ выдающагося естествоиспытателя и какъ популярнаго писателя и оратора. Въ 1830 г. онъ сталъ директоромъ Парижской обсерваторіи и получилъ множество почетныхъ отличій отъ городовъ и ученыхъ обществъ.—Араго принималъ также дѣятельное участіе въ политикѣ. Какъ членъ палаты депутатовъ, онъ всегда былъ представителемъ свободныхъ взглядовъ и былъ для противниковъ опаснымъ ораторомъ. Въ значительной степени благодаря ему былъ положенъ конецъ кровопролитію во время іюльской революціи 1830 г. Когда правительство послѣ усмиренія іюнскаго возстанія 1832 г. собиралось окружить Парижъ отдѣльными фортами, Араго указалъ на ту громадную опасность, какую это представляло для народнаго мира, и потому правительство оставило свой планъ. Когда изъ-за участія политехниковъ въ возстаніи Политехническая школа была подчинена военному министерству, Араго сложилъ съ се-

бя профессуру.—Во время февральской революціи 1848 года Араго был членомъ временнаго правительства, а позднѣ исполнительнаго комитета. Онъ былъ противъ избранія Наполеона въ президенты и не побоялся послѣ государственнаго переворота поднять голосъ за изгнанныхъ. Араго умеръ въ 1853 году. Такъ какъ въ послѣдніе годы своей жизни Араго почти ослѣпъ, онъ не могъ самъ выполнить свой планъ измѣренія скорости свѣта. Этотъ планъ былъ выполненъ различными способами Физо и Фуко.

287. Ипполитъ Луи Физо, родившійся въ Парижѣ въ 1819 г., умершій въ 1896 г., опредѣлялъ время, которое свѣтъ употребляетъ на прохожденіе пути отъ

Рис. 277



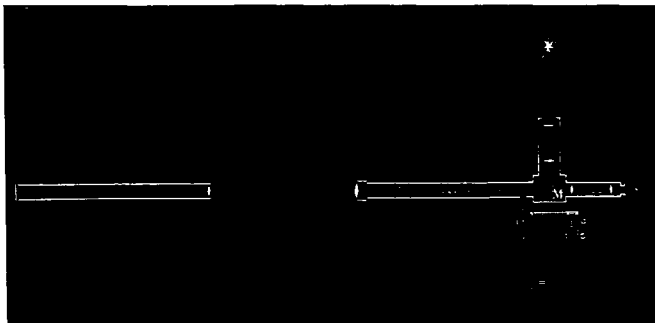
Доминикъ Франсуа Араго.

Сюрена до Монмартра (8633 м) и обратно. Это разстояніе имѣло, слѣдовательно, приблизительно ту же длину, какъ и разстояніе въ опытѣ Accademia del Cimento (§ 282). Но Физо такъ расположилъ опытъ, что посыланіе и обратное отсыланіе свѣта происходило автоматически, а для опредѣленія этого времени служилъ въ высшей степени остроумный приборъ, соединенный со зрительной трубой.

Для этого опыта служилъ приборъ, изображенный на рис. 278. Правая сторона рисунка представляетъ ту часть прибора, которая была установлена въ Сюрень, а лѣвая часть—въ Парижѣ (видъ сверху). Первая часть состояла изъ зрительной трубы, въ которую можно было смотрѣть по направленію къ Парижу. Къ зрительной трубѣ была придѣлана боковая трубка, черезъ которую въ зрительную трубу

попадали лучи сильного источника свѣта. Здѣсь они падали на стеклянную пластинку *M*, которая отражала лучи по направлешию къ Парижу, хотя не была покрыта оловянною фольгой. Затѣмъ черезъ собирательное стекло лучи проходили въ трубку, которая на другомъ концѣ была закрыта зеркаломъ, перпендикулярнымъ къ оси трубки. До установки здѣсь зеркала на его мѣстѣ находился окуляръ, при помощи котораго можно было правильно установить трубку. По отраженіи отъ зеркала, которое устанавливалось въ фокусѣ линзы, лучи выходили изъ линзы параллельнымъ пучкомъ, такъ что возвращались въ Сюрень почти не ослабленными. Здѣсь они

Рис. 278



Опредѣленіе скорости свѣта Физо.

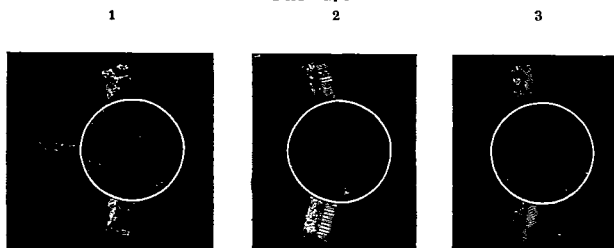
вступали въ зрительную трубу и попадали въ глазъ, не испытывая сколько-нибудь замѣтнаго ослабленія отъ стекла *M*. Такимъ образомъ, въ трубѣ можно было видѣть свѣтъ, зажигаемый самимъ наблюдателемъ. По другую сторону зрительной трубы (на рисункѣ внизу) находился часовой механизмъ съ быстро движущимся зубчатымъ колесомъ, проходившимъ сквозь прорѣзь, сдѣланный въ зрительной трубѣ въ томъ мѣстѣ, гдѣ находился общій фокусъ объекта и окуляра. Такимъ образомъ, глядя въ зрительную трубу, можно было видѣть эти зубцы, и если колесо стояло неподвижно, а на средину поля приходился промежутокъ между зубцами, то въ этотъ промежутокъ можно было видѣть возвращенный изъ Парижа свѣтъ (рис. 279, 1).

Если теперь пустить въ ходъ часовой механизмъ, однако, не слишкомъ скоро, то зубцовъ уже нельзя будетъ видѣть отдѣльно, но свѣтъ будетъ еще видимъ (рис. 279, 2). Пройдя черезъ промежутокъ между зубцами, свѣтъ снова возвращается черезъ этотъ же промежутокъ, если онъ за короткое время, употребленное свѣтомъ на прохожденіе туда и обратно, не передвинется много. Но, ускоривъ ходъ часового механизма, можно достигъ того, что свѣтъ исчезнетъ. Это наступитъ тогда, когда скорость станетъ настолько большой, что свѣтъ, вышедшій черезъ какой-нибудь промежутокъ между зубцами, по возвращеніи встрѣтитъ зубецъ, такъ что не сможетъ идти дальше и попасть въ глазъ. При вдвое большей скорости колеса свѣтъ снова будетъ видимъ, такъ какъ теперь, за время отъ выхода луча до его возвращенія послѣ отраженія, на мѣсто промежутка между зубцами, сквозь который лучи вышли,

успѣлъ стать слѣдующій промежутокъ между зубцами. При утроенной скорости свѣтъ снова исчезнетъ, при учетверенной снова появится и т. д.

Въ опытахъ Физо свѣтъ исчезалъ въ первый разъ, когда зубчатое колесо совершало 12·67 оборотовъ въ секунду. Это колесо имѣло 720 зубцовъ. Время, продолженіе котораго на мѣсто зубца помѣщался ближайшій промежутокъ, составляло, слѣдовательно, $\frac{1}{2} \times \frac{1}{720} \times \frac{1}{12 \cdot 67} = \frac{1}{18244}$ секунды. За это время свѣтъ проходилъ 17266 м. Такимъ образомъ въ одну секунду онъ долженъ проходить 18244×17266 м или 315 000 км (приблизительно 42000 миль).

Рис. 279



Зубчатое колесо Физо въ полѣ зрѣнія трубы.

Въ 1873 г. этотъ опытъ былъ повторенъ Корню, внесшимъ много улучшеній въ измѣренія, на разстояніи 10310 м. Онъ получилъ 298 500 км въ секунду. Въ 1875 г. опытъ былъ повторенъ вблизи Парижа еще разъ на разстояніи 23000 м., причемъ было получено 300 400 км или приблизительно 40000 миль въ секунду.

288. Три опредѣленія скорости свѣта Ремера, Брадлея и Физо такъ различны между собою по своей основной идеѣ и по способу выполнения, что едвали возможно сомнѣваться въ справедливости ихъ согласныхъ результатовъ. Къ этому прибавляется еще одинъ способъ, который позволяетъ также опредѣлить скорость свѣта въ водѣ. Араго указывалъ, что послѣдняя скорость имѣетъ огромное значеніе для вопроса о природѣ свѣта. Это измѣреніе было произведено въ 1850 г. Физо и Фуко. Послѣдній повторилъ затѣмъ свои измѣренія въ нѣсколько измѣненной формѣ.

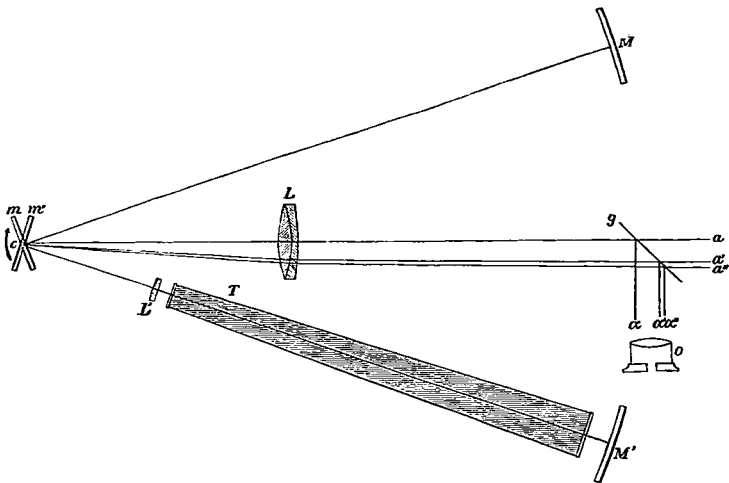
Леонъ Фуко родился въ 1819 г. въ Парижѣ. Онъ изучалъ медицину, но также очень интересовался чисто физическими вопросами. Ему принадлежитъ много хорошихъ работъ въ области оптики, напримѣръ, сооруженіе вогнутыхъ зеркалъ для телескоповъ. Особенно прославился Фуко своимъ доказательствомъ вращенія земли. Онъ умеръ въ 1868 г.

Его опытъ для опредѣленія скорости свѣта былъ произведенъ въ комнатѣ, такъ что свѣтъ проходилъ при этомъ всего нѣсколько метровъ. Въ этомъ опытѣ свѣтъ идетъ отъ *a* (рис. 280) сквозь стеклянную пластинку *g* и собирающее стекло *L*, дѣлающее лучи параллельными, къ зеркалу *m*. Это зеркало вращается около вертикальной оси. Въ положеніи *m* оно отбрасываетъ свѣтъ къ вогнутому зеркалу *M*, центръ котораго лежитъ въ точкѣ *c*. Затѣмъ свѣтъ возвращается назадъ къ *m* и идетъ отсюда сквозь *L* къ стеклу *g*. Отъ стекла онъ отражается въ направленіи *a* черезъ зрительную трубу къ глазу.

Но когда зеркало m занимает положеніе m' , то свѣтъ идетъ сквозь трубку T къ вогнутому зеркалу M' и обратно къ m' , отсюда сквозь L къ g , такъ что его можно видѣть также въ направленіи α . Труба T наполнена водою и на обоихъ концахъ закрыта стеклянными пластинками. Когда свѣтъ проходитъ сквозь воду, онъ получаетъ голубовато-зеленую окраску. Но чтобы еще лучше отличать свѣтъ, идущій отъ M , отъ свѣта, идущаго отъ M' , зеркало M покрывается непрозрачною пластинкой, имѣющей длинное неширокое отверстіе. Такимъ образомъ, въ зрительную трубу o отъ свѣта, приходящаго отъ M , получается впечатлѣніе рис. 281, 1, отъ свѣта же, идущаго отъ M' , впечатлѣніе рис. 281, 2.

Если теперь вращать зеркало mm' съ умѣренной скоростью, то, говоря вообще, оно будетъ посылать свѣтъ по направленіямъ, отличнымъ отъ направленій къ M

Рис. 280



Измѣреніе Фуко скорости свѣта въ воздухѣ и въ водѣ.

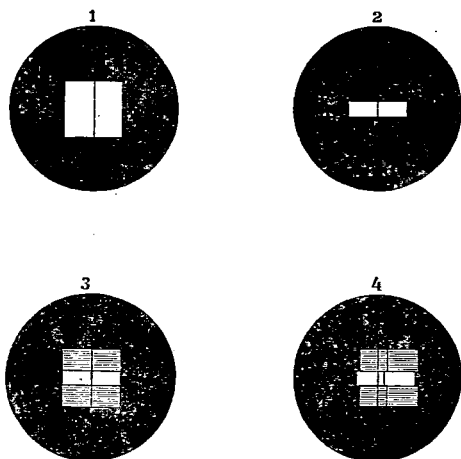
и M' , но иногда также и по этимъ направленіямъ, такъ что глазъ будетъ получать впечатлѣніе вспышекъ, идущихъ отъ M и M' . Если эти вспышки слѣдуютъ другъ за другомъ достаточно быстро, то получится одно слитное впечатлѣніе, рис. 281, 3.

Если, наконецъ, привести зеркало въ очень быстрое вращеніе, то оба эти изображенія смѣстятся вправо, но больше смѣстится то изображеніе, которое получается отъ M' . Пока лучъ свѣта отъ m идетъ къ M и назадъ къ m , это зеркало немного поворачивается и отбрасываетъ теперь лучъ уже не по направленію къ a , а въ направленіи къ a' , вслѣдствіе чего изображеніе будетъ видно въ α' . И въ то время, какъ лучъ свѣта идетъ отъ m' сквозь воду къ M' и обратно къ m' , зеркало поворачивается настолько, что лучъ отбрасывается въ направленіи a'' и наблюдается въ α'' . Такимъ образомъ, послѣдній лучъ смѣщается еще сильнѣе, чѣмъ первый, рис. 281, 4.

Итакъ, лучъ, прошедшій сквозь воду, очевидно, замедляется еще больше, чѣмъ лучъ, идущій сквозь воздухъ. Это смѣщеніе можно измѣрить даже тогда, когда толщина

воды не превышаетъ 4 м и когда свѣтъ замедляется всего на $\frac{1}{116215000}$ секунды. Отсюда получается, что скорость свѣта въ водѣ равна приблизительно $\frac{3}{4}$ его скорости въ воздухѣ и, слѣдовательно, составляетъ 30000 миль въ секунду.

Рис. 281



Смѣщеніе свѣта вслѣдствіе различія скоростей.

Для скорости свѣта въ воздухѣ Фуко нашелъ величину 298000 км. Опыты, произведенные позднѣе Майкельсономъ (1878) и Ньюкомомъ дали для скорости свѣта величины 299850 км и 299800 км.

Исаакъ Ньютонъ

289. Исаакъ Ньютонъ родился 5 января 1643 года въ Вульсторпѣ близъ Грэнтгэма въ Линкольнширѣ. У его отца была маленькая ферма, которая была во владѣннн семьи уже болѣе 100 лѣтъ и давала около 30 фунтовъ стерлинговъ (= 300 руб.) годового дохода. Вскорѣ послѣ женитьбы онъ умеръ и молодой Ньютонъ, получившій имя своего отца Исаака, родился такимъ слабымъ ребенкомъ, что сомнѣвались даже, выживетъ ли онъ.

Спустя нѣсколько лѣтъ, его мать, которую описываютъ, какъ необычайно добрую женщину, вышла замужъ во второй разъ за духовное лицо, по имени Смита въ Нортъ-Витгэмѣ, оставивъ сына въ Вульсторпѣ подл присмотромъ своей матери. По смерти своего второго мужа она вернулась въ 1656 г. съ тремя дѣтьми отъ второго мужа въ Вульсторпъ и отдалась воспитанію дѣтей и управленію своими двумя имѣніями, которыя давали около 80 фунтовъ въ годъ (рис. 282).

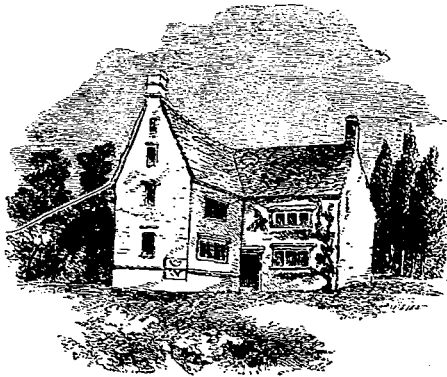
Сначала Исаакъ посѣщаль довольно жалкую сельскую школу, а затѣмъ школу нѣкоего Стокса въ Грэнтгэмѣ. Сначала онъ обнаруживаль мало охоты къ ученію и мало успѣваль. Но затѣмъ въ немъ проснулось честолюбіе и онъ скоро сталъ первымъ въ своемъ классѣ.

Однако, школьное обученіе, повидимому, мало приходилось ему по душѣ. Зато

онъ охотно интересовался предметами изъ области естествознанія и механики. Исаакъ изготовлялъ водяные часы, водяныя и вѣтряныя мельнички, воздушные змѣи, которые запускалъ по вечерамъ, прикрѣпивъ фонарь къ хвосту, на удивленіе жителей городка. Онъ изучалъ силу вѣтра, наблюдая—напримѣръ, въ сильную бурю въ день смерти Кромвелля—, какъ далеко онъ можетъ прыгнуть по вѣтру и противъ вѣтра. Онъ дѣлалъ также солнечные часы, сначала представившіе нѣкоторыя трудности, пока онъ не уяснилъ себѣ, какъ они должны быть устроены (§ 41). Такіе солнечные часы Исаакъ устроилъ на стѣнѣ своего родного дома. Впослѣдствіи они были осторожно сняты со стѣны вмѣстѣ съ камнемъ, на которомъ были укрѣплены, и поставлены въ бібліотекѣ Royal Society.

Такого рода вещи составляли его любимое занятіе и послѣ того, какъ мать взяла его изъ школы, чтобы онъ помогалъ ей въ управленіи имѣніемъ. Но къ сель-

Рис. 282



Домъ въ Вульсторпѣ, въ которомъ родился Ньютонъ.

скому хозяйству Исаакъ не имѣлъ никакой охоты. По совѣту брата матери, духовнаго лица, было рѣшено снова отдать его въ школу въ Грэнтгэмъ для подготовленія къ академическимъ занятіямъ. Онъ дѣлалъ такіе успѣхи, что Стоксъ ставилъ его въ достойный подражанія образецъ другимъ ученикамъ, когда въ возрастѣ 18 лѣтъ онъ покинулъ школу для переѣзда въ Кэмбриджъ.

290. Принимая во вниманіе нѣсколько неправильное начальное образованіе, какое получилъ Ньютонъ, нельзя было думать, что при переходѣ въ университетъ онъ окажется по своимъ познаніямъ на одинаковой высотѣ со своими сверстниками. Но, быть можетъ, тѣмъ свѣжѣ были его силы. По поводу этого его біографъ, превосходный шотландскій физикъ Брюстеръ говоритъ: „не истощенный ранней ускоренной выгонкой, а укрѣпленный здоровымъ покоемъ, его духъ былъ тѣмъ способнѣе дать тѣ могучіе ростки, которые скоро должны были покрыть плодородную почву листьями и плодами“ (рис. 283).

Ньютонъ занялся изученіемъ математики, физики и философіи. Но и здѣсь онъ взялся за работу не по школьному. Многое было для него слишкомъ просто, а иное онъ хотѣлъ знать лучше. Математика Эвклида, этотъ удивительный экзем-

плярь заботливо вышколенной мысли, была для него слишкомъ дѣтской; все здѣсь было понятно само собою и объ этомъ почти не стоило говорить, по крайней мѣрѣ, такъ подробно. Зато онъ нашель, что въ математическихъ сочиненіяхъ Декарта содержится нѣчто, надъ чѣмъ можно ломать себѣ голову, и даже безъ надлежавшей подготовки онъ, благодаря только собственной энергии, прошелъ всѣ эти работы. Онъ изучаль также то, что Валлисъ (§ 178) написалъ о бесконечномъ, и оптику Кеплера. Только позднѣе, когда онъ увидѣль, что и школьный методъ имѣеть свою цѣну, что онъ, именно, можетъ позволить всѣмъ — и не гениямъ, — даже можетъ за-

Рис. 283



Ньютонъ въ молодости.

возможность пользоваться при вычисленіяхъ кривыми линиями и ихъ особенностями. Уже въ 1666 г. Ньютонъ набросаль свое такъ называемое исчисленіе флюкцій — ставшее позднѣе такимъ важнымъ дифференціальное и интегральное исчисленіе, изобрѣтенное одновременно Лейбниемъ. Не говоря объ огромномъ значеніи, которое эта область науки имѣеть сама по себѣ, она была также необходимымъ орудіемъ мысли, использованнымъ Ньютономъ при многихъ физическихъ открытіяхъ.

291. Второе изъ этихъ великихъ открытій будетъ подробно изложено въ другомъ отдѣлѣ этого сочиненія. Оно привело Ньютона къ убѣжденію, что невозможно изготовлять оптическія стекла, дающія безукоризненное изображеніе. Въ виду этого со зрительной трубой невозможно получить очень сильныя увеличенія безъ того, чтобы въ изображеніи не появились размытые цвѣта. Ньютонъ открыль, что этой ошибки можно избѣжать, получая изображеніе при помощи точно отшлифованнаго вогнутаго зеркала. А потому онъ принялся за шлифовку металлическихъ зеркалъ для изготовленія отражательныхъ телескоповъ (рефлекторовъ). Незадолго до того такой телескопъ былъ предложенъ Джэмсомъ Грегори (1638—1675) въ Эбердинѣ.

ставитъ всякаго слѣдить за ходомъ развитія мысли, только тогда пожалѣль онъ, что слишкомъ низко цѣнилъ Эвклида, и самъ сталъ пользоваться этими способами, когда передаваль челоуѣчеству свои великія открытія.

Брьюстеръ пишетъ дальше: „Кэмбриджъ былъ дѣйствительной родиной гениа Ньютона... въ стѣнахъ этого города были сдѣланы и разработаны всѣ его открытія“. Само по себѣ это не представляетъ ничего удивительнаго, такъ какъ онъ оставался здѣсь до 1703 года. Но удивительно, что тѣ три открытія, на которыхъ основывается слава Ньютона, повидимому, были сдѣланы уже въ 1666 или, можетъ быть, въ 1667 г., когда Ньютоу было всего 24 года.

Первое изъ нихъ — чисто математическое. О немъ мы не можемъ говорить здѣсь подробно. Можно только отмѣтить, что оно между прочимъ даетъ намъ

Грегори также пытался шлифовать нужная для этого зеркала, но такъ какъ это ему не удалось, то онъ не могъ построить телескопа. Одинъ итальянскій иезуитъ Никола Цукки (1586—1670) и Робертъ Гукъ (§ 166) возились съ планами постройки зеркальнаго телескопа, но и они также не успѣли выполнить этотъ планъ.

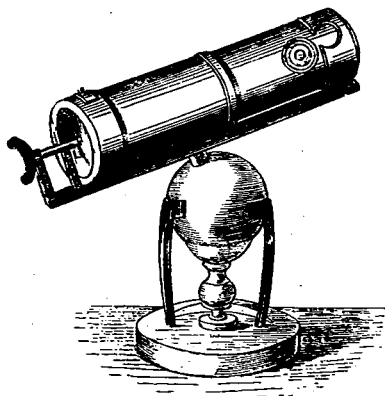
Ньютонъ изготовилъ сначала маленькій зеркальный телескопъ, а затѣмъ большій.—Послѣдній именно и возбудилъ въ Кэмбриджѣ такое удивленіе, что познакомиться съ нимъ захотѣло и Royal Society въ Лондонѣ. Ньютонъ послалъ свой инструментъ въ Лондонъ. Здѣсь инструментъ былъ показанъ королю и изслѣдованъ ученой комиссіей, которая отозвалась о немъ очень благопріятно. Секретарь общества Ольденбургъ далъ Ньютону совѣтъ послать рисунокъ и описаніе инструмента Гюйгенсу въ Парижъ. Самый инструментъ Ньютонъ подарилъ Королевскому обществу и онъ еще и теперь находится въ библіотекѣ Общества съ надписью: „Изобрѣтенъ сэромъ Исаакомъ Ньютономъ и изготовленъ его руками, 1671“:

Этотъ инструментъ изображенъ на рис. 284, а рис. 285 показываетъ его устройство. Вогнутое зеркало *S* давало бы дѣйствительное изображеніе предмета *a* (§ 91), еслибы лучи не встрѣчались по пути маленькаго плоскаго зеркала *c*, которое даетъ изображеніе въ *b*, симметричное съ *a* относительно зеркала *c*. Это изображеніе разсматривается черезъ увеличительное стекло *d*.

292. Уже въ 1669 году Ньютонъ пользовался въ Кэмбриджѣ такимъ уваженіемъ, что ему была передана кафедра Барроу, когда послѣдній ушелъ въ отставку, чтобы принять одно церковное мѣсто. Съ этого времени Ньютонъ читалъ въ университетѣ лекціи объ оптикѣ. Его телескопъ возбудилъ уваженіе среди членовъ Royal Society и въ 1672 г. онъ самъ былъ избранъ въ члены этого общества.

Въ первое время послѣ своего основанія въ 1645 году это общество вело очень скромное существованіе, хотя въ числѣ его членовъ были таюе выдающіеся люди, какъ Бойль (§ 225), Гукъ (§ 166) и Рень (§ 178). Въ 1647 году часть членовъ этого общества переѣхала въ Оксфордъ и здѣсь-то къ нему примкнулъ Бойль, который жилъ въ домѣ аптекаря Кросса, гдѣ происходили собранія общества. Въ 1659 г. общество снова переніло въ Лондонъ, а въ 1662 году Карль II сдѣлалъ его королевскимъ учрежденіемъ. Впрочемъ, Общество не получало отъ государства никакой поддержки и потому могло дѣйствовать независимо. Однако, въ первое время выходило, что при избраніи членовъ большіую роль играло ихъ благосостояніе, чѣмъ научныя работы. Но общество могло указать много великихъ именъ въ своей средѣ, а его изданіе, Philosophical Transactions, появляющееся еще и теперь, содержитъ массу въ высшей степени цѣнныхъ работъ, часто даже составлявшихъ эпоху въ наукѣ. Это общество и его изданія остались вѣрными той основной мысли, на которую

Рис. 284



Зеркальный телескопъ Ньютона.

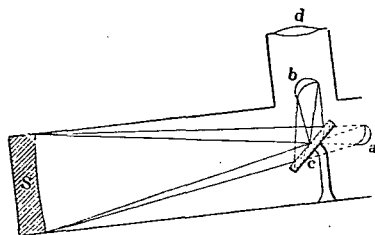
указывали Галилей и Accademia del Cimento и борцомъ за которую былъ Фрэнсисъ Вэконъ (§ 167). Опыты и факты всегда составляли для него главное, а когда временами, какъ у Ньютона, на первый планъ больше выступала работа мышленія, то здѣсь обращали вниманіе не на безцѣльные умозрѣнія или недостовѣрныя гипотезы, а на математически строгое объясненіе фактовъ.

Ставъ членомъ этого общества, Ньютонъ тотчасъ сообщилъ ему упомянутое выше открытіе о цвѣтахъ, которое по его мнѣнію было однимъ изъ самыхъ важныхъ открытій, когда-либо сдѣланныхъ въ области естествознанія.

Это сообщеніе было принято обществомъ благопріятно и было напечатано. Но въ теченіе длиннаго ряда головъ этотъ вопросъ вызывалъ много возраженій, такъ что Ньютону пришлось потратить много времени на защиту своего открытія. Критика иногда такъ раздражала Ньютона, что онъ жалѣлъ объ опубликованіи этого открытія и „пожертвованіи своимъ миромъ“.

Несомнѣнно, вслѣдствіе этихъ споровъ при опубликованіи позднѣйшихъ работъ Ньютона былъ гораздо осторожнѣе.

293. Мы должны заняться здѣсь подробнѣе третьимъ открытіемъ Ньютона, основная идея котораго возникла у него также въ 1666 году, хотя вполнѣ разработалъ и разъяснилъ ее онъ гораздо позднѣе.



Устройство зеркальнаго телескопа Ньютона.

Что касается зарожденія этой мысли, то Ньютонъ по этому поводу уже въ старости передавалъ своей племянницѣ слѣдующее. Сообщающій это, Вольтеръ утверждаетъ, что онъ узналъ о немъ отъ самой племянницы.

Въ 1666 году Ньютонъ былъ нѣкоторое время на своей родинѣ въ Вулсторпѣ, такъ какъ въ Кэмбриджѣ была чума. Здѣсь однажды онъ увидѣлъ, какъ съ дерева упало яблоко, и это навело его на вопросъ, не дѣйствуетъ ли та сила, которая производитъ паденіе яблока и вообще паденіе всѣхъ тѣлъ на поверхности земли, также на большія разстоянія, даже на разстояніе луны,—не дѣйствуетъ ли она на самое луны. Эта сила дѣйствуетъ одинаково на всевозможныя тѣла, такъ что всѣ они падаютъ одинаково скоро (§ 139), и луна, которая также есть тѣло, должна падать такъ же быстро, какъ и всякое другое тѣло, которое находилось бы на томъ же мѣстѣ.

Падаетъ ли тѣло на большомъ разстояніи такъ же скоро, какъ и тѣло у самой поверхности земли? И сила тяжести такъ же ли велика тамъ, какъ здѣсь? Какъ мы увидимъ ниже, этотъ вопросъ былъ намѣченъ въ то время различными учеными. Ньютонъ предполагалъ, что эта сила,—какъ и дѣйствіе источника свѣта (§ 82)—должна убывать съ разстояніемъ такъ, что уменьшается въ такой же степени, въ какой увеличивается вторая степень (квадратъ) разстоянія.

Если это такъ, то легко вычислить, насколько луна должна падать по направленію къ землѣ въ одну секунду. Въ самомъ дѣлѣ, на поверхности земли тѣло проходитъ при паденіи 4·9 м въ одну секунду (§ 149), а такъ какъ разстояніе луны

отъ центра земли равно 60 земнымъ радіусамъ, то луна должна падать на $\frac{49}{60^2}$ или на 0·00136 *м* въ секунду.

Скорость *c* луны (рис. 286) можно легко вычислить, такъ какъ извѣстно, что поперечникъ лунной орбиты равенъ приблизительно 100 000 миль, а время обращенія луны составляетъ 27·5 сутокъ. Такимъ образомъ, скорость луны составляетъ 1000 *м* въ секунду.

Согласно закону инерціи (§ 146) при этой скорости луна должна была бы пройти въ одну секунду отъ точки *о* своей орбиты путь $op = 1000$ *м*. Но такъ какъ на самомъ дѣлѣ она приходитъ изъ *о* въ *m*, то, очевидно, она отклоняется отъ направленія *ор* на величину $pm = on$. Равенъ ли дѣйствительно этотъ путь тому, который луна должна пройти въ одну секунду при паденіи на землю? Величину *on* легко вычислить (§ 173). Вычисленіе даетъ $on = \frac{om^2}{od} = 0\cdot00135$ *м* въ секунду, т. е. дѣйствительно то число, какого слѣдовало ожидать.

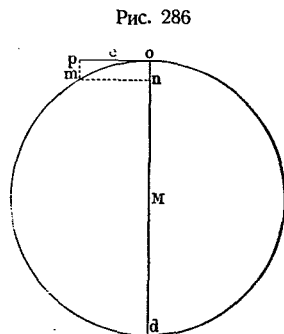
Итакъ, движеніе луны вокругъ земли вполнѣ объясняется закономъ инерціи и предположеніемъ, что луна падаетъ по направленію къ землѣ, какъ и всѣ другія тѣла.

Тѣ два числа, которыя нашелъ Ньютонъ, однако, согласовались другъ съ другомъ не такъ хорошо — они относились одно къ другому, какъ 31:27. Дѣло въ томъ, что при вычисленіи ему пришлось пользоваться менѣе точнымъ значеніемъ величины земли, а значитъ, и относительнаго разстоянія луны. Конечно, Ньютонъ не удовольствовался такимъ плохимъ согласіемъ между фактами и выводами умозрѣнія. На нѣкоторое время онъ оставилъ этотъ вопросъ и послѣ прекращенія чумы снова взялся за свои работы по оптикѣ.

294. Само собою разумѣется, что открытіе Ньютона, къ которому будто бы привело паденіе яблока, обуславливалось его собственными личными особенностями, а именно, съ одной стороны его гешальностью, а съ другой тѣми вѣяніями, которыя чувствовались тогда въ области естествознанія.

У Ньютона было нѣсколько предшественниковъ. Декартъ (§ 171), вихревая теорія котораго во времена Ньютона еще господствовала въ научномъ мірѣ, въ области физики не принадлежитъ, конечно, къ этимъ предшественникамъ. Но какъ математикъ, онъ несомнѣнно имѣлъ для Ньютона огромное значеніе.

Съ другой стороны, Кеплеръ не только указалъ законы, согласно которымъ движутся небесныя тѣла (§ 73), но сдѣлалъ также попытку объяснить эти движенія. Онъ говоритъ, что еслибы въ небесномъ пространствѣ находилось только двѣ звѣзды, неподчиненныя вліянію какого-нибудь другого тѣла, то онѣ притягивались бы другъ къ другу и наконецъ столкнулись бы. Однако, пытаясь объяснить движеніе планетъ, Кеплеръ не придерживается твердо этой мысли. Во всякомъ случаѣ онъ былъ убѣжденъ, что между солнцемъ и планетами существуетъ какая-то связь, но называетъ эту



Паденіе луны на землю.

связь магнитнымъ притяженіемъ. При вращеніи около своей оси солнце при помощи этой связи и увлекаетъ планеты.

Выдающийся французскій математикъ Пьеръ Ферма (1608—1665) занимался не только математическими работами, въ которыхъ онъ рѣшалъ нѣкоторыя изъ задачъ, нашедшихъ позднѣе болѣе общее рѣшеніе въ дифференціальномъ исчисленіи; онъ высказалъ также мнѣніе, что тяжесть есть слѣдствіе взаимнаго притяженія тѣла. Поэтому, какъ онъ совершенно правильно вывелъ, тяжесть должна уменьшаться съ углубленіемъ въ землю. Въ самомъ дѣлѣ, въ этомъ случаѣ та часть земли, которая находится по одну сторону съ ея центромъ, притягиваетъ тѣло внутрь, напротивъ, та часть, которая находится позади тѣла ближе къ поверхности, тянетъ наружу.

Наконецъ, въ 1666 году Борелли (ср. II, § 17) построилъ теорію спутниковъ Юпитера и высказалъ въ ней мысль, что движенія небесныхъ тѣлъ вызываются и поддерживаются взаимными притяженіями. Борелли былъ физикъ и, какъ физикъ, онъ стоялъ на правильномъ пути, но онъ не былъ въ достаточной степени математикомъ, чтобы выяснитъ эту связь.

295. Совершенно то же можно сказать о Робертѣ Гукѣ (§ 166), котораго можно назвать въ этомъ отношеніи величайшимъ предшественникомъ Ньютона или, можетъ быть, правильнѣе, его старшимъ сверстникомъ, также работавшимъ надъ рѣшеніемъ этой великой задачи¹⁾.

Въ томъ же году, когда писалъ Борелли и когда Ньютонъ впервые направилъ свои мысли на дѣйствіе силы тяжести (1666), Гукъ обнаружилъ въ издашіяхъ Королевскаго Общества статью по тому же вопросу.

Чтобы изслѣдовать, мѣняется ли тяжесть съ удаленіемъ отъ центра земли, Гукъ взвѣшивалъ тяжелое тѣло на вершинѣ храма Св. Павла, сначала помѣстивъ тѣло у поверхности земли и соединивъ съ чашкой вѣсовъ длиннымъ шнуромъ, а затѣмъ сложивъ его вмѣстѣ со шнуромъ въ чашку вѣсовъ. Гукъ не нашелъ никакой разницы, какъ не нашелъ никакой разницы, произведя такое взвѣшиваніе на поверхности земли, причѣмъ тѣло висѣло въ шахтѣ глубиною въ 300 футовъ. Гукъ, однако, допустилъ, что эта разница такъ ничтожна, что ее нельзя обнаружить такими взвѣшиваніями. Поэтому онъ предложилъ сдѣлать опытъ съ маятниковыми часами (ср. § 275). Незвѣстно, были ли произведены эти опыты.

Спустя нѣсколько мѣсяцевъ Гукъ говоритъ слѣдующее: „Меня часто удивляло, почему планеты, которыя по мнѣнію Коперника движутся вокругъ солнца, не будучи заключены въ какую-нибудь шарообразную чашу и не будучи связаны съ солнцемъ, какъ съ центромъ, какой-нибудь видимою связью, удаляются отъ солнца не дальше опредѣленнаго разстоянія и движутся не по прямой линіи, какъ движутся всѣ тѣла, которыя получаютъ свое движеніе отъ отдѣльнаго толчка. Измѣненіе формы планетныхъ орбитъ изъ прямолинейной въ криволинейную не можетъ быть слѣдствіемъ одного отдѣльнаго толчка, его причиной должно быть еще дѣйствіе какой-то другой силы. Можно вообразить себѣ причину двоякаго рода. Во-первыхъ, удержаніе при центрѣ можетъ быть производимо тѣмъ, что вблизи солнца эвиръ менѣе

¹⁾ Говоря о заслугахъ этого человѣка, нельзя умолчать о томъ, что существуетъ подозрѣніе, будто нѣсколько разъ чужія открытія, о которыхъ онъ узнавалъ, онъ выдавалъ за свои собственныя. *Прим. пер.*

плотенъ, чѣмъ на большемъ разстояніи. Само по себѣ это не невѣроятно, если эириъ сходенъ съ воздухомъ, такъ какъ въ такомъ случаѣ въ силу расширенія отъ теплоты вблизи солнца онъ долженъ дѣлаться менѣе плотнымъ. Это допущеніе, однако, имѣетъ такъ много противъ себя и такъ мало соотвѣтствуетъ нашей темѣ, что я предпочитаю отбросить его. Но тогда возможно только предположеніе, что указанное искривленіе производится притягательной силой тѣла, находящагося въ центрѣ движенія и постоянно притягивающаго къ себѣ движущееся тѣло. При этомъ допущеніи возможно объяснить планетныя движенія изъ обычныхъ основныхъ положеній механики и, можетъ быть, оно дастъ намъ средство очень точно вычислять движенія небесныхъ тѣлъ при помощи немногихъ наблюденій“.

Однако, Гукъ не пускается въ такія вычисленія, а, какъ физикъ, онъ дѣлаетъ опытъ, который отчасти разъясняетъ этотъ вопросъ. Онъ подвѣшиваетъ на шнурѣ шаръ, отводитъ его слегка отъ вертикальной линіи и даетъ ему боковой толчекъ. Шаръ начинаетъ двигаться около вертикальной линіи; измѣняя величину бокового удара, можно заставить шаръ описывать кругъ или эллипсъ съ центромъ на вертикальной линіи. Гукъ не отрицаетъ, что этотъ опытъ даетъ только поясненіе, а не точное изображеніе планетныхъ движеній. Сила, съ которою шаръ притягивается къ отвѣсной линіи, тѣмъ меньше, чѣмъ ближе онъ подходитъ къ отвѣсной линіи, тогда какъ, напримѣръ, то притяженіе, какое солнце оказываетъ на землю, вблизи солнца должно быть больше. Движеніе планеты, имѣющей спутника, Гукъ наглядно изобразилъ тѣмъ, что прикрѣпилъ къ большому шару при помощи короткаго шнура меньшій и затѣмъ толчкомъ привелъ въ движеніе оба шара.

Спустя 8 лѣтъ, въ 1674 году Гукъ сдѣлалъ Королевскому Обществу новое сообщеніе о движеніи одной звѣзды въ созвѣздіи Дракона (§ 284) и сообщеніе о слѣдующемъ опытѣ для объясненія строенія вселенной, часто привлекавнее слѣшкомъ мало вниманія.

„Здѣсь я изложу систему міра, отличающуюся многими особенностями отъ признанной теперъ, но во всѣхъ отношеніяхъ соотвѣтствующую обычнымъ законамъ движенія. Она основывается на трехъ допущеніяхъ: во-первыхъ, что всѣ небесныя тѣла притягиваютъ къ своимъ центрамъ и это притяженіе не только мѣшаетъ унести прочь частямъ этихъ тѣлъ и предметамъ на ихъ поверхности, но распространяется также и на другія небесныя тѣла, лежащія въ кругу ихъ дѣйствія. Такъ, солнце и луна не только оказываютъ вліяніе на землю и на ея движеніе, а земля — на солнце и на луну, но равнымъ образомъ Меркурій, Венера, Марсъ, Юпитеръ и Сатурнъ также оказываютъ своимъ притяженіемъ значительное вліяніе на движеніе земли такъ же, какъ соотвѣтственное притяженіе земли оказываетъ значительное вліяніе на движенія названныхъ планетъ. — Второе допущеніе состоитъ въ томъ, что всякое тѣло, разъ начавъ двигаться прямолинейно, сохраняетъ это прямолинейное движеніе до тѣхъ поръ, пока его не отклонитъ дѣйствіе какой-либо силы, которое заставитъ его описывать кругъ, эллипсъ или другую сложную линію. — Третье допущеніе состоитъ въ томъ, что дѣйствіе притягательной силы тѣмъ больше, чѣмъ ближе находится тѣло, на которое она дѣйствуетъ, къ центру притяженія. Что касается закона этого увеличенія, то я еще не нашелъ его опытами. Но еслибы онъ былъ извѣстенъ такъ, какъ онъ долженъ быть извѣстенъ, то онъ представилъ бы для астрономовъ превосходное вспомогательное средство свести всѣ движенія небесныхъ

тѣль на одинъ законъ, что безъ знанія этого закона никогда не будетъ возможно. Кто понимаетъ круговое движеніе маятника, тотъ признаетъ правильной эту основную мысль и легко увидитъ, въ какомъ направленіи нужно искать въ природѣ, чтобы найти его вѣрную формулу.

Я указываю это вскользь только для того, кто имѣетъ способность и возможность продолжить это изслѣдованіе дальше и у кого нѣтъ недостатка въ прилежаніи къ наблюденіямъ и вычисленіямъ. Я сердечно желаю, чтобы такія лица нашлись, такъ какъ самъ я занятъ другими вещами, которые нужно кончить раньше“.

296. Что дѣлалъ въ эти годы Ньютонъ для разъясненія устройства вселенной, мы не знаемъ. Въ теченіе ряда лѣтъ послѣ 1666 г. онъ былъ занятъ оптикою и, вѣроятно, также дифференціальнымъ исчисленіемъ, которое впрочемъ должно было стать извѣстнымъ только позднѣе, а его дѣятельность въ этихъ областяхъ, какъ легко себѣ представить, была такъ напряженна, что онъ не могъ въ то же время глубоко сосредоточиваться еще и на другихъ предметахъ. Но, повидимому, его работы о строеніи вселенной не оставались безъ движенія и, быть можетъ, уже въ 70-хъ годахъ у него были въ рукахъ результаты, которые вызвали бы величайшее удивленіе, будь они опубликованы. Помня, однако, о тѣхъ непріятныхъ опытахъ, которые были связаны съ опубликованіемъ его оптики, онъ никому ничего не говорилъ объ этихъ работахъ. Ньютонъ жилъ очень уединенно, встрѣчался лишь съ очень немногими людьми, рѣдко ложился въ постель раньше 2 часовъ, а часто и въ 4 или въ 5 и спалъ очень мало. Онъ опаздывалъ къ обѣдамъ, а когда ему напоминали объ этомъ, онъ, не отрываясь отъ своей работы, глоталъ нѣсколько кусочковъ и забывалъ про остальное. Иногда Ньютонъ не зналъ, ѣлъ онъ или нѣтъ. Случалось, что онъ оставлялъ своихъ гостей, чтобы достать что-нибудь, напримѣръ, вино, но затѣмъ совершенно забывалъ, зачѣмъ онъ пошелъ, и потомъ оказывался за своей работой.

Въ то время какъ онъ велъ такой образъ жизни, въ 1679 г. появилась первая статья его о строеніи вселенной. Гукъ, ставшій за это время секретаремъ Королевскаго Общества, просилъ Ньютона дать какую-нибудь статью для изданія общества. Ньютонъ описалъ новый способъ опредѣленія вращенія земли около оси и предложилъ, чтобы Общество произвело этотъ опытъ. Находящаяся на высотѣ точка, на примѣръ, вершина башни, отстоитъ отъ земной оси дальше, чѣмъ подножіе башни. Эта вершина описываетъ бѣльшій путь, чѣмъ подножіе, и потому должна имѣть бѣльшую скорость по направленію отъ запада на востокъ, чѣмъ послѣднее. Такъ какъ шаръ, падающій съ вершины башни, удерживаетъ при своемъ паденіи эту бѣльшую скорость къ востоку, тогда какъ подножіе движется къ востоку съ меньшею скоростью, то шаръ долженъ упасть нѣсколько къ востоку отъ отвѣсной линіи¹⁾. Общество поручило выполненіе этого опыта Гуку. Гукъ написалъ Ньютону письмо, прочтенное имъ въ одномъ изъ слѣдующихъ собраній. Гукъ понялъ одинъ рисунокъ въ статьѣ Ньютона такъ, что путь падающаго тѣла долженъ имѣть форму спирали и что тѣло, не будь оно задержано землею, должно было бы двигаться

¹⁾ Тихо Браге также высказывалъ такую мысль. Но такъ какъ въ то время не былъ извѣстенъ законъ инерціи, то Тихо думалъ, что предметъ, падающій съ вершины башни, долженъ отставать, т. е. долженъ падать къ западу отъ основанія отвѣсной линіи. Тихо не нашелъ отклоненія отъ отвѣсной линіи и это укрѣпило его въ мнѣніи, что земля не вращается.

именно такимъ путемъ къ центру земли. Это было чистѣйшее недоразумѣніе. Ньютонъ совершенно не думалъ о паденіи до самаго центра, а только о паденіи вблизи поверхности земли, гдѣ тяжесть всюду остается одинаковой. По взгляду Гука тѣло, еслибы оно могло продолжать свое движеніе, должно было описать удлиненный эллипсъ около центра земли, вернуться къ вершинѣ башни и продолжать это движеніе дальше.—Королевское Общество было недовольно, что опыта не сдѣлали, и снова поручило Гуку произвести его. Гукъ исполнилъ это, но опытъ не привелъ ни къ какому результату, такъ какъ высота паденія была всего 27 футовъ.

Рис. 287



Ньютонъ въ молодости (по портрету 1689 года).

Эти опыты были позднѣе произведены Гульельмини въ Болоньѣ (1791), Бенценбергомъ (1802) и Рейхомъ (1831). Такъ какъ высота паденія въ опытахъ перваго изъ нихъ составляла только 90 футовъ, то и они дали не вполне удовлетворительный результатъ. Зато опыты Бенценберга, которые были сдѣланы въ церкви Св. Михаила, въ Гамбургѣ, и при которыхъ высота паденія составляла 236 футовъ (76·3 м), привели къ рѣшительному результату, равно какъ и опыты, произведенные Рейхомъ въ Трехбратской шахтѣ (158·5 м) близъ Фрейберга. Эти опыты нужно производить очень тщательно, въ особенности нужно устранять вредное вліяніе сквозного вѣтра. Затѣмъ нужно сдѣлать большое количество опытовъ и изъ

результатовъ отдѣльныхъ опытовъ взять среднее. Бенценбергъ нашель въ среднемъ изъ 31 опыта отклоненіе къ востоку въ 9 мм, Рейхъ въ среднемъ изъ 106 опытовъ — отклоненіе въ 28·4 мм.

Ньютонъ не развивалъ своей мысли дальне, поелѣ того какъ она встрѣтила со стороны Гука такой несоответственный приѣмъ. Тѣмъ усерднѣе отдался онъ своей работѣ и когда въ 1682 г. повторилъ свое вычисленіе для луны (§ 293), положивъ въ основу величину земного діаметра, исправленную по градусному измѣренію Пикара (§ 271), то онъ нашель, что его идея 1666 года подтвердилась. Его возбужденіе въ этомъ случаѣ было, говорятъ, такъ велико, что онъ долженъ былъ просить одного изъ друзей довести вычисленіе до конца. Во всякомъ случаѣ въ эти годы онъ былъ погруженъ глубже, чѣмъ можно описать, въ математическую обработку этихъ вопросовъ; въ этомъ нѣтъ ничего удивительнаго, если вспомнить, что въ это время спокойнаго уединенія въ Кэмбриджѣ создавался трудъ, который можно назвать значительнѣйшимъ изъ всѣхъ, когда либо появлявшихся, трудовъ въ области естествознанія. — Однако, прежде чѣмъ мы ближе разсмотримъ содержаніе этого труда, мы должны бросить еще одинъ взглядъ на то, что происходило въ это время въ Королевскомъ Обществѣ.

297. Къ числу членовъ этого общества въ то время принадлежалъ Эдмундъ Галлей, о которомъ будетъ рѣчь ниже. Какъ Гукъ и Ренъ, Галлей много занимался движеніями небесныхъ тѣлъ и многое въ этомъ отношеніи стало для всѣхъ нихъ яснымъ. Въ январѣ 1684 г. они какъ-то собрались и разговоръ сейчасъ же перешель на тотъ вопросъ, которымъ интересовались всѣ трое. Если маленькое тѣло притягивается большимъ такъ, что величина притяженія обратно пропорціональна квадрату расстоянія, то малое тѣло, если въ началѣ имѣеть боковое движеніе, должно описывать эллипсъ. Вопросъ въ томъ, какъ доказать это математически. Ренъ обѣщаль дать тому изъ нихъ, кто первый найдетъ это доказательство, книгу цѣною въ 40 шиллинговъ (около 20 рублей). Гукъ утверждалъ, что онъ знаетъ это доказательство, но пока не хочеть его сообщать, чтобы другіе поняли, какъ трудно найти его. Утвержденіе Гука едвали было вѣрно, такъ какъ Рену не пришлось выполнять своего обѣщанія.

Спустя семь мѣсяцевъ Галлей поѣхаль въ Кэмбриджъ и здѣсь посѣтилъ Ньютона въ надеждѣ, что Ньютонъ сможетъ разъяснить ему этотъ вопросъ. Галлей нашель гораздо больше, чѣмъ ожидалъ, такъ какъ Ньютонъ закончилъ большой трудъ, въ которомъ содержалось также желаемое доказательство; но, по всей видимости, эта работа должна была оставаться въ покоѣ до смерти Ньютона, который хотѣлъ избѣжать новыхъ споровъ. Галлею, однако, удалось получить отъ Ньютона обѣщаніе представить этотъ трудъ въ Королевское Общество и Галлей всегда съ удовольствіемъ вспоминаль объ этомъ и ставилъ себѣ въ заслугу, что онъ открыль этотъ единственный въ своемъ родѣ трудъ и способствовалъ его появленію въ свѣтъ. Дѣло, однако, затянулось еще на нѣсколько лѣтъ, но, когда оно, наконецъ, совершилось, трудъ оказался такимъ глубокимъ, что похвальное слово ему въ Обществѣ кончалось словами: „все готово, больше нечего дѣлать“.

Гукъ былъ въ ярости, что онъ не былъ названъ въ трудѣ Ньютона, и онъ требоваль этого на томъ основаніи, что высказываль основныя мысли этого труда задолго до Ньютона, иныя публично, а иныя въ письмахъ къ Ньютону. Когда

Ньютонъ узналъ объ этомъ, онъ написалъ письмо Галлею, въ которомъ далъ волю своему гнѣву на Гука. Онъ пишетъ, что это уже третій разъ Гукъ клеветаетъ на него. Первая клевета обнаружилась, конечно, въ отношеніи Гука къ открытіямъ Ньютона по оптикѣ (§ 292), вторая—въ „ученической“ поправкѣ его сообщенія объ опытѣ для доказательства вращенія земли. Эта поправка, говоритъ Ньютонъ, совершенно безсмысленна, такъ какъ онъ вовсе не говорилъ о формѣ пути внутри земли, а только о паденіи на поверхности земли, гдѣ тяжесть всюду одинакова; а теперь Гукъ является опять и утверждаетъ, будто онъ письменно сообщалъ Ньютону, что сила тяжести обратно пропорціональна квадрату разстоянія—нѣчто такое, чего Гукъ сначала не думалъ и не говорилъ, что Гукъ и другіе могли, конечно, думать раньше, но не могли доказать; объ этомъ Гукъ въ своемъ письмѣ къ Ньютону выражается даже невѣрно, указывая, что этотъ законъ имѣетъ силу также внутри земли, гдѣ онъ не имѣетъ вовсе никакой силы. „Почему я долженъ“ продолжаетъ Ньютонъ, „признавать открывшимъ это человѣка, который обосновываетъ свое притязаніе на ошибку и потому обрушивается на меня. Еслибы человѣкъ, считающій себя ученымъ и желающій показать это, пришелъ къ вамъ, когда вы заняты, и несмотря на ваши просьбы мучилъ васъ своими открытіями, хотѣлъ исправить васъ, самъ дѣлая ошибки, чтобы затѣмъ хвалиться, что именно онъ научилъ васъ всему этому первый, и который наконецъ утверждалъ, что съ нимъ поступаютъ несправедливо, если не признаютъ этого, то я думаю, что и вы сочли бы его за человѣка довольно-таки невыпосимаго характера... Онъ ничего не сдѣлалъ, а пишетъ такъ, какъ будто онъ зналъ все и все указалъ достаточно ясно. Онъ не привелъ самой простой работы съ вычислениями и наблюденіями и оправдываетъ это своими занятіями, тогда какъ ему нужно было оправдываться недостаткомъ способностей... Математикъ, который все выясняетъ, долженъ довольствоваться званіемъ вычислителя и простого работника, а другой, который только ставитъ требованія и хватается за все, изъясняетъ притязанія на всѣ открытія какъ будущихъ ученыхъ, такъ и своихъ предшественниковъ“.

На это рѣзкое письмо, изъ котораго мы привели только небольшую часть, Галлей отвѣтилъ мягко и успокоительно, почему и Ньютонъ объявилъ, что письмо Гука къ нему (1679), въ которомъ идетъ рѣчь о паденіи тѣла внутри земли, навело его всетаки на болѣе внимательныя размышленія объ эллиптическихъ путяхъ планетъ вокругъ солнца. Ньютонъ изъяснялъ также готовность въ одно изъ предположеній своего труда внести слова: „Какъ самостоятельно нашли также Ренъ, Гукъ и Галлей“.

Изъ всего этого слѣдуетъ, что трудъ Ньютона былъ порожденъ духомъ времени; можно сказать, какъ и во многихъ другихъ подобныхъ случаяхъ, что, еслибы не было Ньютона, то явился бы такой же трудъ какого-нибудь другого автора. Но нужно прибавить къ этому, что Ньютонъ при единственной въ своемъ родѣ умственной силѣ все это разъяснилъ сразу, какъ мановеніемъ волшебной палочки, тогда какъ въ противномъ случаѣ это, хотя и было бы разъяснено, но въ гораздо болѣе долгое время и усиліями многихъ изслѣдователей.—Не всякій можетъ слѣдить за полетомъ мысли Ньютона въ его „Началахъ“. Мы ограничимся доэтого тѣмъ, что остановимся на нѣкоторыхъ главныхъ пунктахъ содержанія этого безсмертнаго труда.

298. Когда мы подтверждали при помощи вычисления въ § 293, что движеніе луны вокругъ земли есть простое слѣдствіе закона инерціи и тяжести, то мы ради

простоты допускали, что орбита луны есть кругъ, въ центрѣ котораго находится земля. Это не вполне справедливо. Луна, какъ и планеты, движется вокругъ солнца по эллипсу. Такимъ образомъ, желая получить совершенно достовѣрныя заключенія, мы должны исходить изъ движений, каковы они на самомъ дѣлѣ и какъ они определяются тремя законами Кеплера (§ 73). Ньютонъ математически строго извлекаетъ изъ этихъ трехъ законовъ три вывода. Коротко говоря, законы Кеплера и выводы Ньютона гласитъ слѣдующее:

Первый законъ: Орбита планеты есть эллипсъ съ солнцемъ въ фокусѣ.

Слѣдствие: Притяженіе обратно пропорціонально квадрату разстоянія.

Второй законъ: Радиусъ-векторъ въ равныя времена описываетъ равныя площади (секторы).

Слѣдствие: На планеты дѣйствуетъ притягательная сила, исходящая изъ солнца.

Третій законъ: Кубы среднихъ разстояній планетъ относятся между собою, какъ квадраты ихъ время обращенія.

Слѣдствие: На всѣ планеты дѣйствуетъ одна и та же притягательная сила.

Какъ искусный математикъ, Ньютонъ доказываетъ эти положенія прямымъ и обратнымъ путемъ. Исходя изъ закона, онъ получаетъ слѣдствія. Съ другой стороны, исходя изъ послѣднихъ, онъ получаетъ первые. Мы разсмотримъ это здѣсь нѣсколько подробнѣе.

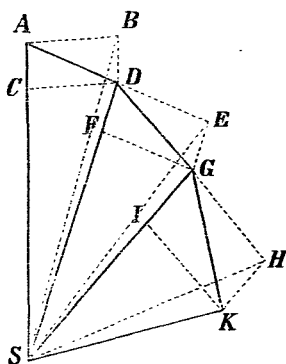
299. Пусть S (рис. 288) будетъ солнце, A планета со скоростью такого направленія и такой величины, что въ единицу времени она приходила бы въ B , если бы на нее не дѣйствовала никакая сила. Но предположимъ теперь, что на планету дѣйствуетъ сила, которая притягиваетъ ее къ солнцу, скажемъ, такъ, что въ единицу времени она достигаетъ точки C на линіи AS . Въ такомъ случаѣ планета въ единицу времени перейдетъ въ D (§ 147). Въ силу закона инерціи въ слѣдующую единицу времени планета должна была бы пройти путь DE , который имѣетъ ту же величину и направленіе, что и AD . Но такъ какъ въ то же время она притягивается изъ D въ F , то она приходитъ въ точку G . Въ концѣ третьей единицы времени она приходитъ въ точку K и т. д. Но, какъ легко видѣть,

$$\begin{aligned}\triangle ADS &= \triangle DES, \\ \triangle DES &= \triangle DGS, \\ \triangle DGS &= \triangle GHS, \\ \triangle GHS &= \triangle GKS.\end{aligned}$$

Такимъ образомъ, треугольники, которые радиусъ-векторъ описываетъ въ равныя времена, равны, именно $ADS = DGS = GKS$. Если мысленно уменьшить частицу времени до безконечности, то путь $ADGK$ будетъ кривой линіей; этимъ доказывается второй законъ Кеплера (рис. 57).—Обратный рядъ заключеній приводитъ къ результату, что дѣйствующая на планету сила исходитъ изъ солнца.

300. Такъ какъ пониманіе движенія по эллиптическимъ орбитамъ требуетъ математическихъ познаній, которыхъ мы не предполагаемъ въ нашихъ читателяхъ, то мы

Рис. 288



Дѣйствіе центральной силы.

должны удовольствоваться замѣчаніемъ, что первый Кеплеровъ законъ также достоверно приводитъ къ заключенію, что сила должна уменьшаться въ такой же степени, въ какой увеличивается квадратъ разстоянія.

Мы хотѣли бы привести здѣсь контрольное вычисленіе только одного пункта. Эллипсъ представляетъ фигуру симметричную относительно обѣихъ осей, малой и большой. Слѣдовательно, орбита имѣетъ ту же кривизну тогда, когда планета бываетъ ближе всего къ солнцу, т. е. когда ее скорость наибольшая, и тогда, когда планета находится на наибольшемъ разстояніи и ее скорость наименьшая. Это равенство кривизнъ легко доказать при помощи элементарнаго расчета.

Пусть на наименьшемъ разстояніи отъ солнца (перигелий) радіусъ кривизны будетъ r , скорость v , центробѣжная сила, a , значить, и притяженіе, уравновѣшивающее ее, f . Тогда (§ 173)

$$f = \frac{v^2}{r}.$$

Точно такъ же на наибольшемъ разстояніи отъ солнца (афелий)

$$F = \frac{V^2}{R}.$$

Изъ этихъ двухъ равенствъ слѣдуетъ:

$$\frac{f}{F} = \frac{v^2}{V^2} \cdot \frac{R}{r}.$$

Если назвать теперь разстояніе солнца въ перигелии a и въ афелии A , то по второму Кеплерову закону два треугольника съ основаніями v и V и высотами a и A равны, слѣдовательно:

$$a \cdot v = A \cdot V \text{ или } \frac{v}{V} = \frac{A}{a}.$$

Если въ предыдущемъ равенствѣ замѣнить $\frac{v^2}{V^2}$ черезъ $\frac{A^2}{a^2}$, то получится

$$\frac{f}{F} = \frac{A^2}{a^2} \cdot \frac{R}{r}.$$

Если теперь ввести предположеніе Ньютона о связи между разстояніями и притяженіями, именно

$$\frac{f}{F} = \frac{A^2}{a^2},$$

то получится, что $R/r = 1$ или $R = r$, т. е. кривизны въ перигелии и афелии равны. Если же, съ другой стороны, исходить изъ перваго закона Кеплера, что орбиты планетъ суть эллипсы, то эти радіусы кривизны должны быть равны и равенство

$$\frac{f}{F} = \frac{A^2}{a^2} \cdot \frac{R}{r}$$

обращается въ

$$\frac{f}{F} = \frac{A^2}{a^2},$$

т. е. предположеніе Ньютона о зависимости притяженія отъ разстоянія оказывается вѣрнымъ.

Законъ измѣненія силы тяжести съ разстояніемъ имѣетъ сходство съ закономъ убыванія яркости при удаленіи отъ источника свѣта (§ 82). Однако, нельзя смот-

рѣтъ на этотъ законъ, какъ на нѣчто само собою понятное. Изъ того, что въ природѣ соблюдается такой законъ, слѣдуетъ, однако, то, что въ міровомъ пространствѣ не существуетъ ничего, что могло бы, такъ сказать, ослаблять или уничтожать силу притяженія, и ничего, что мѣшало бы движенію планетъ.

301. Сравнимъ, наконецъ, между собою дѣйствія, производимыя притягательной силой солнца на различныя планеты. Пусть r будетъ разстояніе земли отъ центра солнца (выраженное, напримѣръ, въ радіусахъ солнца) и t —время одного обращенія земли вокругъ солнца (одинъ годъ). Въ такомъ случаѣ центробѣжная сила, стремящаяся удалить землю отъ солнца, будетъ $\frac{4\pi^2 r}{t^2}$ (§ 174). Если мы обозначимъ черезъ k ту

силу, съ которой солнце притягивало бы землю, еслибы послѣдняя находилась на его поверхности, то $\frac{k}{r^2}$ будетъ выражать величину силы притяженія на дѣйствительномъ разстояніи земли. Такъ какъ въ концѣ концовъ земля не удаляется отъ солнца и не приближается къ нему, то эти двѣ силы должны быть равны:

$$\frac{k}{r^2} = \frac{4\pi^2 r}{t^2} \text{ или } k = \frac{4\pi^2 r^3}{t^2}.$$

Если мы обозначимъ соотвѣтствующія величины для другой планеты черезъ K , R и T , то получимъ:

$$K = \frac{4\pi^2 R^3}{T^2}.$$

Но по третьему закону Кеплера

$$\frac{r^3}{t^2} = \frac{R^3}{T^2}, \text{ слѣдовательно, и } \frac{4\pi^2 r^3}{t^2} = \frac{4\pi^2 R^3}{T^2},$$

т. е. $k = K$. Такимъ образомъ, земля и всѣ остальные планеты должны на поверхности солнца испытывать одинаковое притяженіе. Этотъ законъ вполне соотвѣтствуетъ закону, по которому всѣ тѣла на земной поверхности—большія и малыя, тяжелыя и легкія—падаютъ съ одинаковой скоростью (§ 139). Итакъ, сила, съ которой солнце притягиваетъ планеты, зависитъ не отъ состава и величины планетъ, а лишь отъ ихъ разстоянія отъ солнца.

302. Но, какъ показали наблюденія, третій законъ Кеплера справедливъ также и для спутниковъ планетъ, напримѣръ, для времени обращенія спутниковъ Юпитера и ихъ разстояній отъ него. Отсюда слѣдуетъ, что и эта планета дѣйствуетъ на всѣхъ своихъ спутниковъ съ одинаковой силой; Ньютонъ вывелъ отсюда заключеніе, что эта сила притяженія не есть какая-нибудь магнитная или тому подобная сила, но что она обусловливается только массою небесныхъ тѣлъ—даже болѣе того, —что сила притяженія есть всеобщее свойство вещества и что количество вещества можетъ быть измѣрено величиною притяженія. Для поясненія можно привести нѣсколько примѣровъ; для простоты мы будемъ брать круглыя числа.

Примемъ разстояніе луны отъ земли за 1; тогда разстояніе земли отъ солнца будетъ приблизительно 400 (§ 33). Въ такомъ случаѣ центробѣжная сила, дѣйствующая на землю въ ея движеніи вокругъ солнца и уравновѣшиваемая притягательной силой солнца, можетъ быть выражена формулой $\frac{4\pi^2 \cdot 400}{365^2}$ (§ 174), если за единицу времени принять сутки. Сила притяженія, съ которой земля дѣйствуетъ на луну и

которая равна центробѣжной силѣ луны въ ея движеніи вокругъ земли, выразится формулой $\frac{4 \pi^2 \cdot 1}{27^2}$. Еслибы луна находилась на такомъ же разстояніи отъ земли, какъ и солнце, то земля притягивала бы ее съ силой, равной

$$\frac{4 \pi^2 \cdot 1}{27^2} \cdot \frac{1}{400^2}.$$

Отсюда мы заключаемъ, что притягательная сила солнца относится къ притягательной силѣ земли, какъ

$$\frac{4 \pi^2 \cdot 400}{365^2} : \frac{4 \pi^2 \cdot 1}{27^2 \cdot 400^2} = \frac{400^3 \cdot 27^2}{365^2}.$$

Вычисливъ это выраженіе безъ такого округленія чиселъ, мы получили бы приблизительно 320000. Притягательная сила солнца въ 320000 разъ больше притягательной силы земли.

Для того чтобы сравнить притягательную силу земли съ притягательной силой Юпитера, мы можемъ воспользоваться внѣшнимъ спутникомъ Юпитера. Онъ отстоитъ отъ Юпитера приблизительно въ пять разъ дальше, чѣмъ луна отъ земли, и время его обращенія составляетъ приблизительно 17 сутокъ. Его центробѣжная сила и, слѣдовательно, сила притяженія Юпитера равна $\frac{4 \pi^2 \cdot 5}{17^2}$. Еслибы разстояніе луны отъ земли было равно разстоянію этого спутника Юпитера отъ послѣдняго, то она притягивалась бы съ силой равной $\frac{4 \pi^2 \cdot 1}{27^2} \cdot \frac{1}{6^2}$. Слѣдовательно, притягательныя силы Юпитера и земли относятся между собою, какъ

$$\frac{4 \pi^2 \cdot 5}{17^2} : \frac{4 \pi^2 \cdot 1}{27^2 \cdot 5^2} = \frac{5^3 \cdot 27^2}{17^2},$$

т. е. сила притяженія Юпитера приблизительно въ 310 разъ больше силы притяженія земли на такомъ же разстояніи.

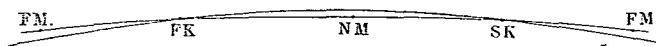
Сила, съ которой солнце притягиваетъ луну, въ среднемъ такова же, какъ и сила, съ которой оно притягиваетъ землю, а именно $\frac{4 \pi^2 \cdot 400}{365^2}$; эта сила то нѣсколько больше указанной величины, то нѣсколько меньше ея, смотря по тому, находятся ли луна и солнце по одну сторону отъ земли или же съ противоположныхъ сторонъ. Сравнивая силу, съ какою луна притягивается къ солнцу, съ той силой, съ какою она притягивается къ землѣ, а именно, $\frac{4 \pi^2 \cdot 1}{27^2}$, нетрудно заключить, что сила притяженія луны солнцемъ $\left(\frac{4 \pi^2}{333}\right)$ больше, чѣмъ сила притяженія луны землею $\left(\frac{4 \pi^2}{729}\right)$.

Отсюда вытекаетъ, что не только орбита земли, но и лунная орбита обращена къ солнцу вогнутостью; при этомъ кривизна послѣдней бываетъ наибольшей въ полнолуніи (рис. 289, *FM*) и наименьшей въ новолуніи (*NM*), такъ какъ въ первомъ случаѣ солнце и земля дѣйствуютъ въ одномъ и томъ же направленіи, а въ послѣднемъ — въ противоположныхъ направленіяхъ.

303. Вычисляя такимъ образомъ величину силы притяженія небесныхъ тѣлъ и дѣлая отсюда выводъ, что эта сила есть всеобщее свойство вещества, Ньютонъ опредѣлялъ, такъ сказать, количество вещества или массу отдѣльныхъ небесныхъ

тѣлъ. Притяженіе земли или тяжесть является наиболѣе извѣстнымъ изъ повседневнаго опыта проявленіемъ этихъ притягательныхъ силъ. Изъ того, что тяготѣніе есть всеобщее свойство тѣлъ и что одно тѣло притягивается другимъ тѣломъ съ силой, соотвѣтствующей массѣ послѣдняго, и само, въ свою очередь, притягиваетъ другое тѣло съ силой, соотвѣтствующей его массѣ, вытекаетъ, что обусловливаемая тяготѣшемъ сила—давленіе или натяженіе—пропорціональна массѣ какъ одного, такъ и другого тѣла, слѣдовательно, пропорціональна и произведешю массъ обоихъ тѣлъ.

Рис. 289



Орбиты земли и луны вокругъ солнца.

Сила, съ которой притягиваются къ землѣ тѣла на земной поверхности, или вѣсъ тѣлъ, зависитъ только отъ собственной массы этихъ тѣлъ, такъ какъ масса земли, а слѣдовательно, и ея сила притяженія остается одной и той же для всѣхъ тѣлъ на ея поверхности. Такимъ образомъ, вѣсъ тѣла пропорціоналенъ его массѣ.

Если мы вообразимъ, что солнце, планеты и ихъ спутники перенесены на поверхность еще болѣе огромнаго тѣла и положены тамъ рядомъ, то и здѣсь ихъ вѣса будутъ пропорціональны ихъ массамъ. Выше было указано, какъ Ньютонъ вычислилъ эти массы; и изображеніе на его надгробной плитѣ въ Вестминстерскомъ аббатствѣ ангеловъ, взвѣшивающихъ небесныя тѣла на вѣсахъ, не покажется слишкомъ неумѣстнымъ.

304. Послѣ того какъ были получены отношенія массъ небесныхъ тѣлъ, оставалось еще опредѣлить абсолютное значеніе массы одной изъ планетъ, на примѣръ, земли. Такъ какъ объемъ земли извѣстенъ, то вопросъ въ сущности сводится къ опредѣленію ея плотности. Можетъ показаться страннымъ—говорить о вѣсѣ земли: говоря о вѣсѣ какого-нибудь тѣла мы подъ этимъ подразумѣваемъ ту силу, съ которой оно притягивается землею. Но можно, разумѣется, представить себѣ, что земля разбита на большое количество мелкихъ частей, что каждая изъ нихъ взвѣшена и возвращена обратно на свое мѣсто и что, наконецъ, найдена сумма вѣсовъ всѣхъ такихъ частей.—Какъ мы сейчасъ увидимъ, позднѣе вѣсъ земли былъ опредѣленъ очень точно и вмѣстѣ съ тѣмъ было найдено подтвержденіе закона всемірнаго тяготѣнія.

305. Первые попытки опредѣленія массы земли состояли въ томъ, что массу земли сравнивали съ массой какой-нибудь горы. Гора, масса которой въ сравненіи съ массой земли, конечно, ничтожна, но въ сравненіи съ массой другихъ предметовъ велика, должна оказывать замѣтное притяженіе на всякое близкое тѣло. Первые такіе опыты были произведены Бугеромъ и Кондаминомъ во время ихъ пребыванія въ Южной Америкѣ (§ 278).

По мѣрѣ удаленія отъ земли, т. е. съ поднятіемъ надъ уровнемъ моря, сила тяжести уменьшается въ такомъ же отношеніи, въ какомъ растетъ квадратъ разстоянія отъ центра земли. На вершинѣ высокой горы сила тяжести должна быть такимъ образомъ нѣсколько меньше, чѣмъ у подошвы; причемъ это уменьшеніе нетрудно вычислить, если извѣстна высота горы. Но такъ какъ сама гора имѣетъ массу, ко-

горя при томъ ближе къ наблюдателю, находящемуся на вершинѣ, чѣмъ центръ земли, то тѣло на вершинѣ горы будетъ сильнѣе притягиваться книзу благодаря этой массѣ. Полученная такимъ образомъ величина силы тяжести вслѣдствіе этого должна быть нѣсколько больше, чѣмъ вышло бы по непосредственному вычисленію. Бугеръ и Кондаминъ опредѣляли величину силы тяжести при помощи часовъ съ маятникомъ (ср. § 275); въ результатъ своихъ вычисленій они получили, что плотность земли въ 4·5 раза превосходитъ плотность горной цѣпи Кордильеровъ.

Названные физики пытались сравнить массу земли съ массой горы еще и другимъ способомъ. Тѣло, находящееся у подошвы горы, подчинено, естественно, силѣ тяжести, направленной къ центру земли, съ другой стороны и гора нѣсколько притягиваетъ тѣло, и при томъ въ горизонтальномъ направленіи. Эти двѣ силы даютъ равнодѣйствующую, которая направлена не совсѣмъ къ центру земли, а нѣсколько отклонена къ горѣ. Бугеръ и Кондаминъ измѣряли отклоненіе отвѣса отъ вертикали вблизи горы Чимборасо и отсюда вычислили отношеніе массъ земли и этой горы. Но для массы горы получилась такая ничтожная величина, что они нашли нужнымъ допустить, что Чимборасо заключаетъ въ себѣ пустоты вулканическаго происхожденія.

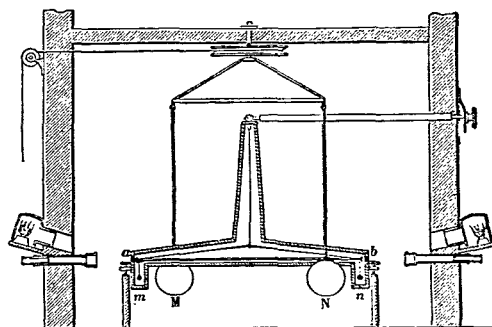
Идея была правильна, плохо было лишь выполненіе. Подобный же опытъ, но съ лучшимъ результатомъ, былъ произведенъ Маскелейномъ въ 1774 г. у горы Шегальонъ въ Шотландіи. Были взяты двѣ точки, изъ коихъ одна лежала сѣвернѣе названной горы, а другая южнѣе ея; разстояніе между ними (найденное при помощи геодезическихъ измѣреній) равнялось 1330 м. Разность географическихъ широтъ (найденныхъ измѣреніемъ высоты полюса), т. е. уголъ, образуемый направленіями отвѣса въ обоихъ пунктахъ, равнялась 54·6", между тѣмъ какъ дугѣ въ 1330 м соотвѣтствуетъ уголъ въ 43". Такимъ образомъ, отклоненіе отвѣса отъ вертикали составило 5·8". Представивъ себѣ массу горы сосредоточенной въ центрѣ тяжести горы, а массу земли—въ ея центрѣ, можно найти, что плотность земли должна быть въ 1·8 раза больше плотности этой горы. Такъ какъ плотность горы была принята равной 2·61, то для плотности земли получилось число 4·7.

306. Джонъ Митчелль предложилъ другой приемъ, который долженъ былъ привести къ очень надежнымъ результатамъ. Но онъ умеръ, не успѣвъ произвести опытовъ. Послѣ его смерти опыты были произведены знаменитымъ англійскимъ химикомъ Генри Кэвендишемъ (1731—1810). Результаты своихъ опытовъ онъ обнародовалъ въ 1798 г.

Помѣщеніе для этихъ опытовъ устраиваютъ такимъ образомъ (рис. 290), чтобы, насколько возможно, устранить въ немъ какое бы то ни было движеніе воздуха. Наблюдатель находится внѣ комнаты и производитъ наблюденія при помощи зрительныхъ трубъ, пропущенныхъ сквозь стѣны. Надъ зрительными трубами устанавливаются лампы, бросающія въ комнату свѣтъ, необходимый для отсчетовъ. Въ серединѣ комнаты на серебряной проволоцѣ подвѣшивается горизонтальный пруть изъ еловаго дерева, на концахъ котораго насажены шары m и n вѣсомъ въ 729 г каждый. Эти шары, пруть и проволока помѣщены въ деревянномъ ящикѣ (на рисункѣ онъ заштрихованъ). Внѣ ящика на концахъ горизонтальнаго стержня такой же длины, какъ и ab , висятъ два большихъ свинцовыхъ шара M и N вѣсомъ по 158 кг каждый. При помощи блока, приводимаго въ движеніе извнѣ, можно вращать этотъ

стержень вокругъ вертикальной оси, пропущенной сквозь потолокъ комнаты. Въ началѣ опыта линия MN образуетъ съ ab прямые углы. При вращеніи большой шаръ M приближается къ маленькому шару m и большой шаръ N къ шару n . Черезъ зрительныя трубы можно при этомъ замѣтить, что и маленькіе шарики m и n приближаются къ большимъ шарамъ M и N , вслѣдствіе чего серебряная проволока испытываетъ закручиваніе. Уголь этого закручиванія или, что все равно, дуги, описанныя шариками m и n , можно отсчитать при помощи зрительныхъ трубъ, — и это служить мѣрою силы, съ которой большіе шары притягиваютъ маленькіе. Остается только рѣшить вопросъ, какая сила соотвѣтствуетъ опредѣленному углу закручиванія. Это можно найти при помощи соотвѣтственныхъ опытовъ различными приемами.

Рис. 290



Опытъ Кэвендиша.

Опредѣливъ величину закручиванія различной толщины серебряныхъ проволокъ въ зависимости отъ силы и отъ толщины проволоки и принимая во вниманіе, что при одномъ и томъ же закручиваніи сила обратно пропорціональна четвертой степени діаметра проволоки, можно вычислить приложенную силу по величинѣ закручиванія и по толщинѣ проволоки.

Однако, здѣсь лучше всего опредѣлить силу непосредственно изъ опыта со взятой проволокой. Это можно найти, напримѣръ, заставивъ пруть ab колебаться, закручиваясь и раскручиваясь, и наблюдая время его одного колебанія. Отсюда можно опредѣлить величину силы, какъ и при колебаніяхъ маятника.

Такими опытами Кэвендишу удалось опредѣлить едва замѣтное притяженіе, производимое большими свинцовыми шарами на маленькіе. Сравнивъ это притяженіе съ вѣсомъ маленькихъ шариковъ, т. е. съ притяженіемъ земли, и принявъ во вниманіе, что свинцовые шары и земля находились на равныхъ разстояніяхъ отъ m и n . Кэвендишъ нашелъ, что средняя плотность земли равна 5.49.

Такіе же опыты и съ тѣмъ же результатомъ были позднѣе произведены различными физиками, между прочимъ Бэли (1843). Онъ бралъ много различныхъ шаровъ изъ разныхъ веществъ, даже изъ метеорнаго камня, съ цѣлью изслѣдовать и вещества неземнаго происхожденія. Во всѣхъ случаяхъ онъ неизмѣнно получалъ, что сила притяженія прямо пропорціональна вѣсу шаровъ; это прямо подтверждаетъ, что тяжесть есть проявленіе всемірнаго тяготѣнія. Бэли въ общемъ произвелъ около 2000

отдѣльныхъ опытовъ. Изъ всѣхъ этихъ опытовъ среднее значеніе плотности земли получилось равнымъ 5·67.

Въ новѣйшее время плотность земли была весьма точно получена Кёнигомъ и Рихарцомъ (1885), воспользовавшимися особыми вѣсами, впервые примѣненными Жолли, а также Бойсомъ (1892—1895), примѣнившимъ методъ Кэвендиша. Ими были получены числа 5·51 (Кенигъ и Рихарць) и 5·53 (Бойсъ).

307. Въ принципахъ Ньютона находить объясненіе огромное количество астрономическихъ явленій,—не только движенія планетъ во всей совокупности подъ вліяніемъ тяготѣнія къ центральному тѣлу, но и цѣлый рядъ мелкихъ отклоненій, обусловливаемыхъ вліяніемъ другихъ небесныхъ тѣлъ. Такъ, въ движеніи луны есть много неправильностей вслѣдствіе того, что на нее оказываетъ вліяніе не только земля, но въ сильной степени и солнце. Замѣтнымъ образомъ вліяютъ на луну и планеты. Этими вліяніями обусловливается измѣненіе эксцентриситета лунной орбиты и, слѣдовательно, измѣненіе ея скорости и разстоянія отъ земли, измѣненіе наклона лунной орбиты къ эклиптикѣ; измѣненія положенія линіи пересѣченія плоскости лунной орбиты съ эклиптикой; измѣненія видимой части поверхности луны и т. д. Мы ограничимся лишь указаніемъ этихъ отклоненій. Въ настоящее время всѣ они могутъ быть вычисляемы съ большою точностью.

308. Такимъ же образомъ въ движеніи планетъ можно замѣтить небольшія производимыя дѣйствіемъ другихъ планетъ отклоненія (возмущенія) отъ орбитъ, по которымъ ихъ должна была бы двигать притягательная сила одного солнца. Эти отклоненія (возмущенія) также нашли себѣ объясненіе и даже послужили для опредѣленія величины силы притяженія и, слѣдовательно, массы этихъ другихъ планетъ, что особенно важно для тѣхъ небесныхъ тѣлъ, у которыхъ нѣтъ спутниковъ и массы которыхъ нельзя опредѣлить по разстоянію и времени обращенія спутника.

Въ этой области теоріи всемірнаго тяготѣнія принадлежитъ великая побѣда. Въ 1781 году В. Гершель открылъ планету Уранъ, которую можно замѣтить простымъ глазомъ лишь при особо благоприятныхъ обстоятельствахъ и которая явилась тогда самой далекой планетой въ солнечной системѣ. Но еще до того, какъ Уранъ совершилъ полное обращеніе вокругъ солнца (84 года), въ его движеніи замѣтили возмущеніе, которое нельзя было объяснить притяженіемъ Сатурна или Юпитера. Нѣсколькими астрономами отсюда былъ сдѣланъ выводъ, что за предѣлами орбиты Урана должна существовать еще одна планета,—и были сдѣланы попытки опредѣлить по возмущеніямъ Урана элементы неизвѣстной планеты, т. е. ея разстояніе отъ солнца, ея положеніе и т. д. Но планета должна была находиться такъ далеко, что по слабости ея освѣщенія солнцемъ замѣтить ее возможно было бы лишь съ большимъ трудомъ; такимъ образомъ отъ вычисленій до наблюденій оставался еще трудный шагъ. Бессель въ Кенигсбергѣ, вѣроятно, первымъ закончилъ вычисленія, но болѣзнь помѣшала ему приступить къ наблюденіямъ. Джонъ К. Адамсъ также вычислилъ положеніе этой планеты, но Эри, Королевскій астрономъ въ Гриничѣ, не хотѣлъ прерывать для поисковъ свои собственныя работы. Вычисленія Адамса были переданы Чаллису въ Кэмбриджъ, который и взялся за розыски планеты. Но такъ какъ у него не было достаточно подробной карты этой части небеснаго свода, онъ вынужденъ былъ сперва заняться ея изготовленіемъ; позже оказалось, что онъ даже видѣлъ новую планету, но нанесъ ее на карту, какъ неподвижную звѣзду. Такимъ-то

образом Леверрье (1811—1877; съ 1854 г. директоръ Парижской обсерваторіи), первому удалось достигнуть цѣли, благодаря его вычисленіямъ и энергіи. Такъ какъ въ Парижѣ не пожелали братья за розысканіе планеты, то Леверрье обратился въ Берлинъ къ Галле. Послѣдній имѣлъ въ своемъ распоряженіи точныя карты этой части неба и немедленно, въ первый же вечеръ, а именно, 23 сентября 1846 года, онъ увидѣлъ новую планету и призналъ ее за такую, такъ какъ она имѣла видъ небольшого слабо свѣтящагося диска. Планетѣ было дано имя Нептунъ.

Впослѣдствіи было выяснено, что результатъ вычисленій Леверрье былъ не совсемъ точенъ, а именно, найденное имъ разстояніе планеты оказалось слишкомъ большимъ. Такимъ образомъ, только благодаря счастливой случайности онъ довольно вѣрно указалъ направленіе, по которому слѣдовало искать планету. Во всякомъ случаѣ, Ньютоновъ законъ всемірнаго тяготѣнія получилъ прекрасное подтвержденіе въ томъ фактѣ, что на основаніи этого закона было открыто небесное свѣтило; правда, объ этомъ свѣтилѣ нельзя сказать, что его до тѣхъ поръ не видѣли, такъ какъ въ раннихъ звѣздныхъ каталогахъ его можно найти въ томъ мѣстѣ, которое оно занимало во время составленія каталога, но какъ неподвижную звѣзду. Звѣздой его тогда считали потому, что перемѣщеніе его, вслѣдствіе огромности разстоянія отъ солнца, чрезвычайно медленно.

309. Послѣ ознакомленія съ членами планетной системы мы считаемъ полезнымъ сдѣлать теперь обзоръ размѣровъ планетъ. Однако, этому нужно сначала предпослать замѣчаніе относительно разстоянія земли отъ солнца; объ этомъ при Ньютонѣ существовало болѣе правильное представленіе, чѣмъ во времена Гиппарха (§ 36), хотя вполнѣ точно оно не было извѣстно и тогда.

Зато весьма точно было извѣстно отношеніе между разстояніями земли и планетъ отъ солнца. Для внутреннихъ планетъ, Меркурія и Венеры, это отношеніе опредѣляется легко. Для этого достаточно прослѣдить, на какое число градусовъ могутъ удалиться эти планеты отъ солнца. Принявъ какой-нибудь отрѣзокъ прямой за разстояніе земли отъ солнца, построимъ при немъ эти углы такимъ образомъ, чтобы земля находилась въ общей вершинѣ этихъ угловъ; изъ точки, въ которой находится солнце, опускаемъ затѣмъ перпендикуляры на другія стороны этихъ угловъ. Эти перпендикуляры представляютъ радіусы орбитъ Меркурія и Венеры.

Чтобы найти то же отношеніе для внѣшнихъ планетъ, необходимо сначала опредѣлить изъ наблюдений времена ихъ обращеній вокругъ солнца. Зная, напримѣръ, что время одного обращенія Юпитера около солнца равно 12 годамъ, можно приступить къ наблюденіямъ тогда, когда Юпитеръ и солнце находятся въ противостояніи, т. е. когда земля находится въ a (рис. 291), солнце въ S , а Юпитеръ находится по направленію къ извѣстной неподвижной звѣздѣ S' .—Мѣсто планеты на линіи aS' не показано на чертежѣ.—Спустя два мѣсяца земля пройдетъ путь въ 60° и будетъ находиться въ точкѣ b . Вслѣдствіе же того, что Юпитеръ за тотъ же промежутокъ времени совершитъ путь лишь въ 5° , онъ будетъ находиться гдѣ-нибудь на линіи Scm . Измѣримъ теперь изъ нашего новаго мѣстоположенія уголъ γ , образуемый лучами зрѣнія bS' къ той же неподвижной звѣздѣ и bn къ Юпитеру. Послѣдній долженъ находиться въ точкѣ пересѣченія J обѣихъ линій cm и bn . Это и опредѣлитъ отношеніе между разстояніями земли и Юпитера отъ солнца.

Получивъ всѣ такія отношенія, нужно опредѣлить дѣйствительную величину

какого-нибудь одного разстоянія при помощи этой одной величины и найденныхъ отнoшеній легко вычислить остальные разстоянія.

Аристархъ и Гиппархъ (§§ 33—36) пытались измѣрить разстояніе земли отъ солнца, но результатъ измѣреній (1000000 миль) былъ весьма неточенъ, такъ какъ опредѣленіе момента, когда луна освѣщена какъ разъ наполовину, слишкомъ ненадежно. Измѣренія были повторены Коперникомъ, Тихо Браге и Кеплеромъ, причемъ послѣдній получилъ въ результатъ 3000000 миль. Но эти измѣренія были тоже ненадежны и результатъ, какъ мы увидимъ, былъ чрезчуръ малъ.

Доминикъ Кассини (§ 282) обратилъ тогда вниманіе на то обстоятельство, что Марсъ въ противостояніи бываетъ вдвое ближе къ землѣ, чѣмъ солнце, а иногда (когда онъ въ перигелии) разстояніе его отъ земли еще меньше. По его предложенію были предприняты наблюденія Марса одновременно въ Парижѣ и въ Кайеннѣ, причемъ для производства наблюденій въ Кайенну былъ командированъ по порученію Академіи Ринге. Измѣренія дали результатъ, близкій къ истинному. Исходя изъ найденнаго разстоянія Марса, было вычислено, что разстояніе земли отъ солнца составляетъ около 18—19 миллионoвъ миль.

Въ такомъ положеніи находился этотъ вопросъ во время Ньютона. Галлей (§ 297 и II, § 225) указалъ на то, что Венера во время соединеній бываетъ къ намъ еще ближе, чѣмъ Марсъ. Въ это время она, вообще говоря, невидима. Лишь въ рѣдкихъ случаяхъ, когда она находится какъ разъ на линіи отъ земли къ солнцу, она медленно проходитъ черезъ дискъ солнца въ видѣ чернаго пятна. Но это явленіе случается весьма рѣдко, а именно, должно пройти болѣе 100 лѣтъ, чтобы оно повторилось. Но тогда уже слѣдуютъ одно за другимъ два прохожденія съ промежуткомъ въ 8 лѣтъ. Послѣ изобрѣтенія зрительной трубы „прохожденіе Венеры“ было предсказано Кеплеромъ для 1631 года. Но, когда это сбылось, Кеплеръ уже умеръ. Слѣдующее прохожденіе было въ 1639 году. Его наблюдали, но не воспользовались имъ такъ, какъ воспользовались, благодаря указанію Галлея, прохожденіями 1761 и 1769 годовъ. Галлей приложилъ всѣ старанія къ тому, чтобы этотъ благоприятный случай не былъ упущенъ. Старанія его увѣнчались успѣхомъ и для разстоянія земли отъ солнца было получено такое значеніе, которое по своей точности далеко превзошло всѣ прежнія. Еще болѣе точное значеніе было получено въ слѣдующія затѣмъ прохожденія Венеры—въ 1874 и 1882 годахъ.

Рис. 292 разъясняетъ прѣмъ, которымъ пользуются при этомъ. Венеру наблюдаютъ одновременно изъ двухъ пунктовъ на землѣ, *a* и *b*. Для наблюдателя въ точкѣ *a* Венера пройдетъ по линіи *CD*, а для наблюдателя въ точкѣ *b* эта линія будетъ *EF*. Длины этихъ линій, равно какъ и разстояніе *AB* между ними, что именно и является самымъ важнымъ,—можно опредѣлить весьма точно, наблюдая время, употребляемое

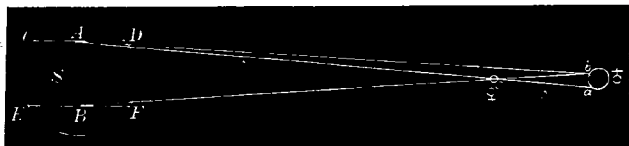
Рис. 291



Отношеніе между разстояніями земли и Юпитера отъ солнца.

Венерой для прохождения линий CD и EF . Така какъ угловыя скорости движенія земли и Венеры по ихъ орбитамъ извѣстны, то изъ продолжительности прохожденія можно опредѣлить длину линіи CD , а отсюда и разстояніе ея отъ центра диска. То же самое имѣеть мѣсто и для EF ; такимъ образомъ, разстояніе AB можетъ быть выражено въ частяхъ діаметра солнца. Допустимъ, что оно равно $\frac{1}{90}$ діаметра (на рисунокѣ AB для большаго ясности взято гораздо больше). Изъ подобія треугольниковъ съ основаніями AB и ab , съ вершинами въ c (Венера) слѣдуетъ, что разстояніе Ве-

Рис. 292



Наблюденіе прохожденія Венеры.

неры отъ солнца относится къ ея разстоянію отъ земли, какъ AB относится къ ab , а именно, какъ 7:3. Если, напримѣръ, разстояніе между наблюдателями въ a и b равно 900 милямъ, то линія AB равна 2100 милямъ. Такимъ образомъ, $\frac{1}{90}$ діаметра солнца равняется 2100 милямъ; слѣдовательно, длина всего его діаметра равна приблизительно 189000 милямъ. Зная теперь діаметръ солнца и его угловую величину (около $\frac{1}{2}^\circ$), нетрудно опредѣлить его разстояніе, которое составляетъ почти ровно 20000000 миль.

Новѣйшія измѣренія скорости свѣта (§§ 287—288) дали новое средство для опредѣленія абсолютныхъ величинъ разстояній въ нашей солнечной системѣ. Опредѣляя скорость свѣта изъ наблюдений затмений спутниковъ Юпитера, Ремеръ (§ 283) предполагалъ извѣстную скорость земли. Можно, наоборотъ, вычислить скорость земли, исходя изъ извѣстной скорости свѣта. Отсюда получается разстояніе земли отъ солнца, совпадающее съ вышеприведеннымъ числомъ.

Брадлей (§ 284), опредѣляя скорость свѣта, также считалъ скорость земли извѣстной. И въ этомъ случаѣ можно вычисленіемъ въ обратномъ порядкѣ проверить указанное число.

310. Въ таблицѣ на слѣдующей страницѣ сопоставлены главнѣйшія величины тѣлъ солнечной системы.

Большая часть приведенныхъ въ таблицѣ чиселъ не нуждается въ дальнѣйшихъ объясненіяхъ. Нѣкоторое затрудненіе представляетъ опредѣленіе продолжительности одного оборота планеты вокругъ оси. Дѣло сводится къ тому, чтобы, намѣтивъ опредѣленную точку на поверхности, распознать ее снова, когда планета совершитъ полный оборотъ вокругъ оси. Пятна на солнцѣ непостоянны и, повидимому, обладаютъ собственнымъ движеніемъ по поверхности солнца, така какъ на экваторѣ они совершаютъ полный оборотъ въ 25 сутокъ, а подь 45° сѣверной и южной широты приблизительно въ 28 сутокъ. Ближе къ полюсамъ пятна наблюдаются рѣдко.

У Меркурія и Венеры время вращенія около оси равно времени оборота около

солнца, т. е. они постоянно обращены къ солнцу одной стороной, какъ открыль нѣсколько лѣтъ тому назадъ Скиапарелли; между тѣмъ какъ раньше считали, что наблюдения даютъ для времени одного оборота приблизительно сутки.

	Знакъ.	Расстояние отъ солнца. (Для земли = 1)	Время обращенія въ годахъ.	Время оборота около оси въ земныхъ суткахъ.	Диаметръ экватора въ миляхъ.	Масса. (Земля = 1)	Плотность. (Вода = 1)	Величина силы тяжести на поверхности. (Для земли = 1)
Солнце	☉	—	—	25—28	184 000	320 000	1·4	27·5
Меркурій	☿	0·39	0·24	обращ.	650	0·08	7·7	0·5
Венера	♀	0·72	0·62	обращ.	1640	0·8	5·2	0·9
Земля	♁	1	1	1	1720	1	5·6	1
Марсъ	♂	1·5	1·9	102	930	0·1	4·1	0·4
Юпитеръ	♃	5·2	12	0·41	19200	310	1·3	2·6
Сатурнъ	♄	9·5	30	0·43	17000	92	0·7	1·1
Уранъ	♅	19·2	82	?	7300	15·8	1·0	0·9
Нептунъ	♆	30	165	?	7600	18·5	1·2	1·0

У двухъ большихъ планетъ, Юпитера и Сатурна, время одного оборота равно приблизительно 10 часамъ. Въ нихъ замѣчается значительное сжатіе, обусловленное большой центробѣжной силой; оно составляетъ у Юпитера $\frac{1}{16}$ диаметра, а у Сатурна $\frac{1}{10}$.

При опредѣленіи величины силы тяжести на поверхности свѣтила принимается во вниманіе, конечно, и масса и расстояние отъ центра (радіусъ).

Въ заключеніе можно замѣтить, что по величинѣ планеты распадаются на двѣ группы: на четыре меньшихъ, находящихся ближе къ солнцу, и четыре бѣльшихъ, отстоящихъ дальше отъ него.

311. У всѣхъ планетъ, за исключеніемъ первыхъ двухъ, Меркурія и Венеры, есть луны или спутники. Марсъ имѣетъ двухъ чрезвычайно маленькихъ спутниковъ, которые были открыты Голломъ въ Вашингтонѣ. Ихъ діаметры достигаютъ всего 1—2 миль. Отъ Марса они отстоятъ лишь на 1270 и 3180 миль, а времена ихъ обращенія составляютъ $7\frac{1}{2}$ и $30\frac{1}{8}$ часовъ. У Юпитера пять лунъ. Обыкновенно считаютъ, что первыя четыре открыты Галилеемъ, наблюдавшимъ ихъ въ январѣ 1610 года. Но есть основанія думать, что онѣ наблюдались уже въ декабрѣ 1609 года въ Ансбахѣ придворнымъ астрономомъ Симономъ Марлусомъ (Майромъ). Каждая изъ этихъ четырехъ лунъ больше нашей луны и отстоитъ отъ своей планеты дальше. Первый и четвертый изъ этихъ спутниковъ отстоятъ отъ Юпитера на 66000 и 252000 миль, а времена ихъ обращенія равны 1 суткамъ $18\frac{1}{2}$ часамъ и 16 суткамъ $16\frac{1}{2}$ часамъ. Пятый спутникъ Юпитера былъ открытъ въ 1892 г. Барнардомъ на Ликской обсерваторіи (на горѣ Гамилтонъ въ Калифорніи). Его расстояние отъ Юпитера равно 23000 миль, а время обращенія — 12 часамъ. У Урана четыре спутника на расстояніяхъ отъ 28000 до 84000 миль отъ него и съ временами обращенія отъ $2\frac{1}{2}$ до $13\frac{1}{2}$ сутокъ. У Нептуна одинъ спутникъ на разстояніи 48000 миль и съ періодомъ обращенія въ 5 сут. 21 ч.

Наибольшимъ количествомъ спутниковъ обладаетъ Сатурнъ, который сверхъ колець имѣеть еще 8 лунъ. Числа, характеризующія эту систему, приведены въ слѣдующей таблицѣ:

	Разстояніе отъ центра въ миляхъ	Времена обращенія		
		Сут.	Час.	Мин.
Поверхность Сатурна	8500	—	10	14
Первое кольцо, внутренней край	10300	—	5	20
Граница между 1-мъ и 2-мъ кольцомъ	12300	—	6	57
Второе кольцо, внѣшній край	16800	—	11	6
Третье кольцо, внутренней край	17200	—	11	30
Третье кольцо, внѣшній край	19400	—	13	46
1-ый спутникъ, Мимасъ	27000	—	22	37
2-ой „ Энцеладъ	35000	1	8	53
3-ий „ Тетиды	43000	1	21	18
4-ый „ Диона	56000	2	17	41
5-ый „ Рея	78000	4	12	25
6-ой „ Титанъ	181000	15	22	41
7-ой „ Гиперіонъ	219000	21	7	8
8-ой „ Япетъ	512000	79	7	54

Времена обращеній колець найдены не изъ наблюдений, а путемъ вычисленія. Именно, разстоянія спутниковъ и времена ихъ обращеній находятся въ опредѣленныхъ отношеніяхъ согласно третьему закону Кеплера. Понятно, что кольца также должны слѣдовать этому закону. Еслибъ они обладали болѣею скоростью, чѣмъ слѣдовало бы по этому закону, то центробѣжная сила унесла бы ихъ дальше отъ планеты. Еслибы, наоборотъ, они имѣли меньшую скорость, то они приблизились бы къ планетѣ. Кольцо можетъ существовать лишь въ томъ случаѣ, если оно обладаетъ скоростью, соотвѣтствующей его разстоянію. Въ настоящее время доказано, что эти кольца представляютъ не сплошную массу, а скопленія огромнаго количества мелкихъ тѣлъ. Только этимъ и возможно объяснить то обстоятельство, что кольца, съ одной стороны, бросаютъ тѣнь на планету, а съ другой—сквозь нихъ видны неподвижныя звѣзды. Со времени открытія колець, т. е. за нѣсколько послѣднихъ столѣтій, внутренней край кольца, новидимому, приблизился къ планетѣ. Если это приближеніе будетъ продолжаться, то нѣтъ ничего невѣроятнаго въ томъ, что вслѣдствіе столкновения кольца съ планетой можетъ произойти катастрофа, размѣры которой трудно и предсказать.

Плоскости орбитъ спутниковъ Сатурна совпадаютъ съ плоскостью кольца. Одна лишь орбита 6-го спутника (Титана) замѣтно наклонена къ плоскости кольца и образуетъ съ нимъ уголъ въ $7\frac{1}{2}^{\circ}$.

312. Прежде чѣмъ разстаться съ планетной системой, взглянемъ на нее мысленно черезъ лучший современный телескопъ, чтобы увидѣть, не встрѣтится ли тамъ гдѣ-нибудь нѣчто такое, что имѣло бы сходство съ состояніемъ поверхности земли.

Прежде всего, что касается луны, то уже Галилей наблюдалъ на видимой части ея поверхности горы (§ 142), кольцеобразныя возвышенности діаметромъ въ 30 миль и безчисленное множество болѣе мелкихъ кратеровъ діаметромъ до 400 м. Галилей

тотчасъ же указаль и приемъ для опредѣленія высоты этихъ горъ по длинѣ бросае-
мыхъ ими тѣней. Въ настоящее время существуютъ весьма подробныя лунныя кар-
ты со всѣми возвышенностями, даже болѣе того—мы располагаемъ такими превос-
ходными рельефными картами поверхности луны, что остается желать, чтобы карты
поверхности земли не уступали имъ. Далѣе, на поверхности луны обнаружены боро-
роды или расщелины (трещины, рис. 150), которыя замѣтны не при всякомъ освѣ-
щеніи. По высотѣ лунныя горы только немного уступаютъ горамъ на землѣ. А такъ
какъ луна гораздо меньше земли, то въ такой же мѣрѣ ея горы относительно выше,
чѣмъ неровности земли. Къ этому присоединяется еще то, что горы на лунѣ имѣ-
ютъ болѣе рѣзкія очертанія, чѣмъ на землѣ.

Послѣднее обстоятельство объясняется тѣмъ, что на лунѣ отсутствуетъ вода,
такъ что отсутствуетъ и ея разрушающее и нивелирующее дѣйствіе. Въ то время,
когда зрительная труба только входила въ употребленіе, темныя равнины на лунѣ
были названы „морями“; воды, однако, на лунѣ нѣтъ. Еслибъ луна обладала атмо-
сферой подобно землѣ, то она разсѣвала бы дневной свѣтъ и онъ освѣщаль бы
тѣни отъ горъ, такъ что онѣ казались бы сѣрыми, а не черными, какими мы ихъ
видимъ на самомъ дѣлѣ. Сверхъ того звѣзда, закрываемая луною, не исчезала бы за
дискомъ луны мгновенно и не появлялась бы такъ же мгновенно; вслѣдствіе прело-
мленія свѣта въ атмосферѣ движеніе звѣзды у самага края луны замедлялось бы на
нѣскольکو мгновений. Вѣроятно также, что звѣзда при этомъ слегка мѣняла бы свой
цвѣтъ. Если на лунѣ и есть нѣкоторое количество воздуха, то онъ долженъ быть
въ очень разрѣженномъ состояніи; чтобы онъ оставался незамѣтнымъ, его плот-
ность не должна превосходить $\frac{1}{300}$ плотности нашей атмосферы.

Такъ какъ вода и воздухъ отсутствуютъ на лунѣ, то не можетъ быть рѣчи о
какой-либо жизни на ней, какъ на земной поверхности. Даже при помощи самыхъ
совершенныхъ трубъ нельзя замѣтить ничего, что могло бы указывать на что-нибудь
подобное. Поверхность луны, повидимому, пребываетъ въ состояніи полной непо-
движности. Иногда какъ будто замѣчали какія-то измѣненія въ отдѣльныхъ кратерахъ,
но и это сомнительно.

Венера представляется совершенно окутанной туманомъ (облаками), такъ что на
ея поверхности ничего нельзя увидѣть. То же самое нужно сказать и о Меркуриі.

Зато условія для наблюденія нашего сосѣда съ другой стороны, Марса, весьма
благопріятны, такъ какъ въ то время, когда онъ къ намъ ближе всего, онъ обращенъ
къ намъ освѣщенной стороной. Но то, что мы видимъ на поверхности этой планеты,
настолько своеобразно и въ такой мѣрѣ отличается отъ условій земли, что Марсъ
до сихъ поръ является для насъ загадкой.

На сѣверномъ и южномъ полюсахъ Марса уже давно были замѣчены болѣе
свѣтлыя пятна, которыя становятся больше на томъ полюсѣ, гдѣ зима, и уменьша-
ются на томъ, гдѣ лѣто. Сейчасъ же, конечно, является мысль о массахъ льда и снѣ-
говъ у полюсовъ земли. Но тутъ же немедленно возникаетъ и затрудненіе. Если
принять во вниманіе, что на этомъ, значительно большемъ, разстояніи отъ солнца его
тепловое дѣйствіе почти вдвое слабѣе, чѣмъ на землѣ, то, какъ можно было бы
думать, на Марсѣ такъ холодно, что вода должна быть тамъ повсюду въ замерз-
шемъ состояніи. Можно впрочемъ допустить, что Марсъ получилъ бѣльшій запасъ

теплоты, чѣмъ земля, напримѣръ, вслѣдствіе столкновения съ другимъ небольшимъ тѣломъ, или что этотъ снѣгъ — не замерзшая вода, а какая-либо другая жидкость.

Нетрудно было бы понять и то, что болѣе темныя пространства, которыя раньше принимались за моря, нѣсколько измѣняютъ форму и величину; такъ какъ они не представляютъ одного сплошного бассейна, то уровень воды въ этихъ моряхъ могъ бы временами то повышаться, то понижаться. Возможно, наконецъ, что изображенія ихъ границъ размываются облаками.

Но поверхность Марса, помимо этихъ измѣненій, представляетъ въ высшей степени удивительное зрѣлище (рис. 293). Прямолинейные морскіе берега и совершенно прямолинейныя рѣки неизвѣстны на землѣ. Эти прямолинейныя рѣки на Марсѣ назвали

Рис. 293



Планета Марсъ.

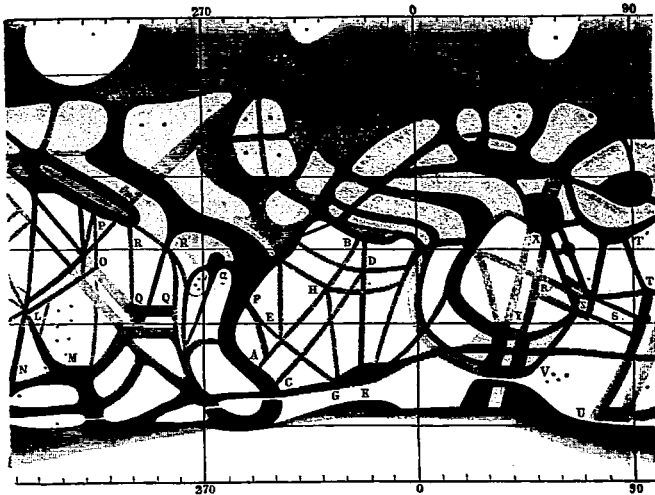
каналами; нѣкоторые думали, что они сооружены высоко стоящими въ умственномъ отношеніи существами. Но если принять въ соображеніе, что „каналы“ имѣютъ много миль въ ширину, то эта высокая интеллигентность упомянутыхъ существъ представляется намъ непонятной. Тогда обратились къ другимъ объясненіямъ, напримѣръ, къ тому, что эти линіи представляютъ собой трещины въ почвѣ или во льду. Дѣлались также догадки, что это суть полосы, покрытыя растительностью, направленіе которыхъ обуславливается водопроводными приспособленіями, сооруженіями разумныхъ существъ. Мы видимъ, такимъ образомъ, что здѣсь представляется широкое поле для полета фантазіи, но разумъ мало удовлетворяется подобными предположеніями.

Объясненіе этого значительно осложняется своеобразнымъ явленіемъ, которое

обыкновенно называютъ раздвоеніемъ каналовъ. Оно наступаетъ въ періоды равенства и состоитъ въ томъ, что взамѣнъ одного канала появляется два параллельныхъ, раздѣленныхъ полосами въ нѣсколько миль шириною (рис. 294). Въ послѣднее время этими явленіями усиленно занимаются, но до сихъ поръ не удалось найти сколько-нибудь удовлетворительнаго объясненія имъ.

О поверхности Юпитера мы знаемъ очень мало. На ней замѣчается нѣсколько темныхъ параллельныхъ полосъ, мѣняющихъ свой видъ (рис. 149). Онѣ производятъ впечатлѣніе слоевъ облаковъ.

Рис. 294



Раздвоеніе каналовъ на Марсѣ.

313. Кеплеръ въ молодости много размышлялъ относительно разстояній планетъ отъ солнца и нашелъ (§ 72), что въ промежуткахъ между шарами, построенными на орбитахъ планетъ, можно вписать пять правильныхъ многогранниковъ. Аналогичныя умозрѣнія можно встрѣтить и въ болѣе близкое къ намъ время. Такъ, профессоръ Тициусъ (Тицъ) въ Виттенбергѣ обнаружилъ въ 1766 году слѣдующій законъ относительно разстояній планетъ отъ солнца, причемъ разстояніе Меркурія было обозначено числомъ 4:

Меркурій	$4 = 4$
Венера	$7 = 4 + 1 \times 3$
Земля	$10 = 4 + 2 \times 3$
Марсъ	$16 = 4 + 4 \times 3$
Юпитеръ	$52 = 4 + 16 \times 3$
Сатурнъ	$100 = 4 + 32 \times 3$

Позднѣ прибавился

Уранъ	$196 = 4 + 64 \times 3$
-----------------	-------------------------

Этотъ законъ былъ потомъ формулированъ Воде (1747—1826) съ нѣсколько измѣненными числами ($8, 8 + 3 \times 2, 8 + 3 \times 2^2, 8 + 3 \times 2^3$ и т. д.), которыя вѣрнѣе

выражаютъ дѣйствительныя отношенія. Поэтому его иногда называютъ также закономъ Бодe. Хотя этотъ законъ выражаетъ случайное совпаденіе, а не физическую закономерность, тѣмъ не менѣе онъ послужилъ поводомъ къ поискамъ новой планеты на расстояніи $4 + 8 \times 3 = 28$ (между Марсомъ и Юпитеромъ). Образовалось даже общество астрономовъ, которые въ 1800 году подѣлили между собою зодіакъ съ цѣлью разыскать новую планету.—Какъ разъ въ это время Пиацци въ Палермо, не принадлежавшій, впрочемъ, къ упомянутому обществу, открылъ въ первый день новаго столѣтія (і-го января 1801 года) небольшое тѣло, которое имѣло собственное движеніе и сначала было принято имъ за комету. Однако, впоследствии оказалось, что оно движется вкругъ солнца по довольно близкой къ кругу орбитѣ. Болъзнъ заставила Пиацци прервать свои наблюденія съ 11 февраля, а такъ какъ Бодe получилъ отъ него извѣстіе лишь въ мартѣ, когда эта планета уже исчезла въ лучахъ солнца, то невозможно было точно опредѣлить ея орбиту. Слѣдующею весною ее пришлось бы, такъ сказать, открывать сызнова, еслибы какъ разъ въ это время молодой Гауссъ (II, § 241) не открылъ новаго способа опредѣленія элементовъ орбитъ планетъ, при помощи котораго онъ могъ вывести ея будущія положенія на основаніи многочисленныхъ наблюденій Пиацци. Планета была разыскана 31 декабря 1801 основателемъ упомянутаго общества, Цахомъ въ Готѣ, а въ слѣдующій вечеръ Ольберсомъ (1758—1840) въ Бременѣ. Ей дали имя Цереры; ея разстояніе отъ солнца (превосходящее разстояніе земли въ 2·77 раза) хорошо согласовалось съ закономъ Тиціуса.

Спустя нѣсколько мѣсяцевъ Ольберсъ открылъ еще одну планету на разстояніи 2·77, орбита которой также была прочислена Гауссомъ. Она получила имя Паллады. Затѣмъ Гардингомъ (1765—1834) въ Лиліенталѣ близъ Бремена была открыта Юнона на разстояніи 2·67 и Ольберсомъ (1807)—Веста на разстояніи 2·36. Послѣ нѣкотораго промежутка Генке въ Дризенѣ открылъ въ 1845 году Астрею, и съ этого времени число малыхъ планетъ или планетондовъ (астероидовъ) стало расти изъ года въ годъ, такъ что въ настоящее время ихъ насчитываютъ свыше 500. Всѣ онѣ до того малы, что трудно опредѣлить точно ихъ діаметры. Даже самыя крупныя среди нихъ (Церера, Паллада, Веста) имѣютъ въ діаметрѣ, вѣроятно, только отъ 30 до 40 миль.

Среднее разстояніе астероидовъ колеблется между двойнымъ и четвернымъ разстояніемъ земли. Среди нихъ совершенно особнякомъ стоитъ Эросъ, открытый Виттомъ въ 1898 году въ Берлинѣ. Въ то время какъ орбиты астероидовъ лежатъ въ промежуткѣ между орбитами Марса и Юпитера, орбита Эроса лежитъ между орбитами земли и Марса. Въ перигелии онъ приближается къ землѣ на разстояніе 2·7 миллионъ миль. Орбиты астероидовъ частью сильно наклонены къ эклиптикѣ (Церера $10\frac{1}{2}^{\circ}$, Паллада $34\frac{3}{4}^{\circ}$); вообще, орбиты этого роя малыхъ небесныхъ тѣлъ до того перепутаны между собой, что будь онѣ твердыми кольцами, ни одного изъ нихъ нельзя было бы удалить безъ того, чтобы не увлечь за нимъ и остальныхъ.

Ольберсъ и другіе высказали предположеніе, что астероиды суть не что иное, какъ обломки разрушившейся планеты, которая нѣкогда помѣщалась между Марсомъ и Юпитеромъ. Въ такомъ случаѣ всѣ они должны были бы имѣть общую узловую точку и различные эллипсы, которые были описаны изъ этой точки отдѣльными тѣлами, должны были бы снова сойтись въ ней. Свои орбиты они должны были бы

сохранить до тѣхъ поръ, пока возмущающія дѣйствія другъ на друга съ стороны планетъ не заставили бы ихъ избрать новые пути. Во всякомъ случаѣ, въ настоящее время ихъ орбиты слишкомъ разошлись и никакой общей точки не имѣютъ; если даже согласиться съ тѣмъ, что астероиды представляютъ обломки когда-то существовавшей большой планеты, то со времени катастрофы, происшедшей съ нею, необходимо долженъ былъ пройти огромный періодъ времени. — Согласно другому воззрѣнію, Юпитеръ, раньше явившійся результатомъ скопленія вещества въ этомъ мѣстѣ, помѣшалъ образованію большой планеты изъ вещества астероидовъ. Нѣкоторые, наконецъ, считаютъ, что рой астероидовъ представляетъ собою кольцо солнца, подобное кольцу Сатурна.

314. Замѣчательно, что Ньютонъ очень поздно выяснилъ, что и кометы подчиняются тѣмъ же законамъ, которымъ подчинены остальные небесныя тѣла.

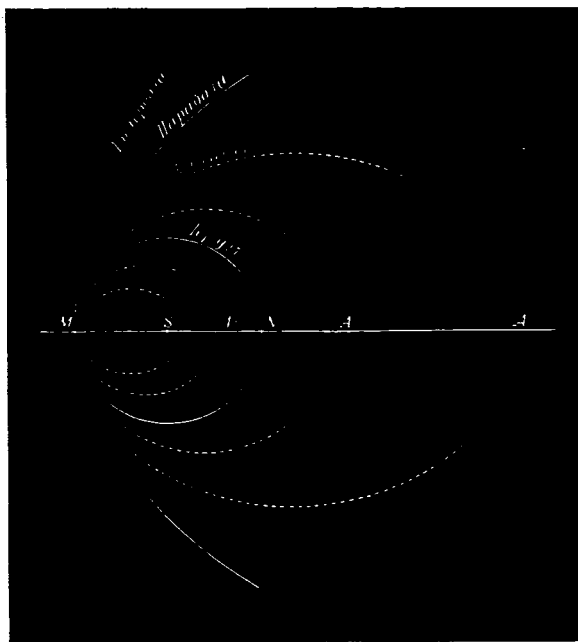
Тихо Браге нашелъ изъ своихъ измѣреній, что кометы находятся такъ далеко отъ земли, что ихъ невозможно считать атмосферными явленіями и что онѣ должны быть небесными тѣлами. Кеплеръ путемъ вычисленій пришелъ къ результату, что ихъ орбиты должны быть прямолинейны. Большая комета 1680 года была предметомъ тщательныхъ наблюденій, особенно со стороны Флэмстида (§ 284), полагавашаго, что комета, которая сначала была видима съ одной стороны солнца, и комета, которая затѣмъ была видима съ другой стороны солнца, была одна и та же. Онъ вступилъ относительно этого въ переписку съ Ньютономъ; но послѣдній, къ удивленію, оставался при томъ мнѣніи, что ея орбита прямолинейна. Дѣрфель (1643—1688) вычислилъ орбиту этой кометы и нашелъ, что она представляетъ параболу и что комета въ своемъ движеніи слѣдуетъ Кеплерову закону площадей. Наконецъ, въ 1686 г. Ньютонъ пришелъ къ убѣжденію, что движеніе кометъ также подчинено закону всемірнаго тяготѣнія. Вслѣдъ за этимъ онъ показалъ, что подъ влияніемъ солнца всякое тѣло должно двигаться по одному изъ коническихъ сѣченій, въ фокусѣ котораго находится солнце, и что видъ и форма этого коническаго сѣченія будутъ вполне опредѣлены, если для даннаго момента извѣстны положеніе тѣла, его скорость и направление движенія.

Для общаго обзора различныхъ орбитъ проще всего будетъ рассмотретьъ небесное тѣло въ тотъ моментъ, когда направленіе его движенія перпендикулярно къ линіи, соединяющей его съ солнцемъ, т. е. когда оно находится въ точкѣ M (рис. 295). Если скорость въ этой точкѣ такова, что центробѣжная сила равна силѣ притяженія, то орбита будетъ кругомъ MN . Если скорость меньше этого, то тѣло нѣсколько приблизится къ солнцу и опишетъ эллипсъ MA_1 , такъ что A_1 будетъ перигелиемъ, а M будетъ афелиемъ. Если же, напротивъ, скорость будетъ больше, то тѣло удалится отъ солнца и опишетъ путь MA' или MA'' , такъ что M будетъ перигелиемъ, а A' или A'' будетъ афелиемъ. Чѣмъ больше скорость въ точкѣ M , тѣмъ дальше отстоитъ афелий и тѣмъ скорость въ немъ меньше, такъ какъ дѣйствіе солнца на движущееся тѣло при переходѣ отъ перигелия къ афелию состоитъ въ замедленіи тѣла. Напротивъ, отъ афелия къ перигелию дѣйствіе солнца на тѣло ускоряетъ движеніе и тѣло какъ бы падаетъ по направленію къ солнцу, но только не по прямой линіи. Если скорость въ точкѣ M еще больше, то орбита будетъ эллипсомъ съ безконечно удаленнымъ афелиемъ, т. е. параболою. Еще бѣльшая скорость въ точкѣ M даетъ гиперболу. Въ послѣднихъ двухъ случаяхъ наблюденію доступна лишь небольшая часть орбиты

вблизи солнца, такъ что трудно опредѣлить, есть ли орбита парабола, представляющая переходъ отъ эллипса къ гиперболѣ, или же она есть гипербола.

Дѣрфель опредѣлилъ орбиту кометы 1680 года и нашель, что она параболическая, такъ что эта комета никогда больше не вернется къ солнцу. Ньютонъ пришелъ къ тому же результату. Тѣмъ не менѣе нѣтъ ничего невозможнаго въ томъ, что эта комета описываетъ весьма растянутый эллипсъ приблизительно въ 574 года. Если это такъ, то эта же комета была видима въ 44 г. до Р. Х., въ 531 и 1106 гг. по Р. Х. и въ 2255 году она должна опять вернуться.

Рис. 295



Видъ орбиты небеснаго тѣла опредѣляется его скоростью въ точкѣ *M*.

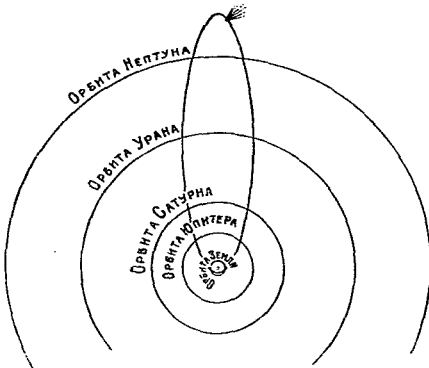
Галлей вычислилъ орбиту кометы, появившейся въ 1682 году, и нашель, что она эллиптическая и что это небесное тѣло уже неоднократно появлялось раньше. Галлей предсказаль возвращеніе этой кометы для 1758—1759 г., что и сбылось. Въ 1835 г. она снова появилась; такимъ образомъ, „комета Галлея“ является первой кометой съ несомнѣнно эллиптической орбитой (рис. 296). Наименьшее разстояніе ея отъ солнца равно 0·59, а наибольшее — 36·4 разстоянія земли. Въ наименьшемъ разстояніи отъ солнца она ближе къ нему, чѣмъ Венера, въ наибольшемъ — дальше Нептуна. Скорость ея достигаетъ 17 миль въ секунду въ перигеліи и $\frac{1}{8}$ мили въ афеліи. По всѣмъ вѣроятіямъ, это та самая комета, которую видѣли въ 11 г. до Р. Х.

незадолго до смерти Агриппы. Вполнѣ увѣреннымъ, что комета движется по эллипсу, можно быть лишь въ томъ случаѣ, если ее наблюдали вблизи солнца нѣсколько разъ. Это имѣло мѣсто въ отношеніи приблизительно дюжины кометъ; но всѣ онѣ, за исключеніемъ кометы Галлея, невидимы для простаго глаза. Между наблюдавшимися по одному разу есть кометы, въ томъ числѣ большія и яркія, имѣющія періодъ обращенія свыше 100 лѣтъ. Есть и такія, которыя пересѣкли солнечную систему по гиперболической орбитѣ и которыя никогда больше не возвратятся къ солнцу.

Плоскости кометныхъ орбитъ занимаютъ иное положеніе, чѣмъ плоскости планетныхъ. Часто онѣ перпендикулярны къ послѣднимъ. Равнымъ образомъ и направленіе ихъ движенія бываетъ иное; въ нѣ-

которыхъ случаяхъ оно даже прямо противоположно направленію, въ которомъ движутся планеты. Если, далѣе, принять во вниманіе, что не только солнце, но и большія планеты оказываютъ притягательное дѣйствіе на кометы, такъ что орбиты послѣднихъ могутъ значительно измѣняться, когда онѣ проходятъ вблизи планетъ, то можно признать правильнымъ мнѣніе, что кометы являются чуждыми тѣлами въ солнечной системѣ, которыя на своемъ пути по міровому пространству попадають подъ дѣйствіе притяженія солнца и вслѣд-

Рис. 296



Галлеева комета.

ствіе этого должны двигаться около солнца по одному изъ коническихъ сѣчей. Кометы, вообще говоря, должны двигаться по гиперболамъ, такъ какъ приходятъ изъ бесконечно удаленныхъ мѣстъ. Но если случится, что Юпитеръ или другая планета измѣнитъ путь кометы, то послѣдній можетъ стать эллиптическимъ и комета уже будетъ двигаться въ солнечной системѣ до тѣхъ поръ, пока Юпитеръ или другая планета снова не измѣнитъ ея орбиты и не направитъ кометы, такимъ образомъ, опять въ міровое пространство. Послѣднее произошло, на примѣръ, съ кометой Лекселля въ 1781 г.; она описала вокругъ солнца замкнутый путь, но затѣмъ снова подошла къ Юпитеру слишкомъ близко.

Наблюдали также иногда, что комета распадалась на двѣ—три болѣе или менѣе отдѣльныхъ кометъ, которыя въ концѣ концовъ дѣлались невидимыми. Въ такихъ случаяхъ вмѣсто кометы наблюдался вполнѣ обильный рой падающихъ звѣздъ, двигавшихся по орбитѣ кометы.

315. Въ своей книгѣ „Principia“ Ньютонъ разъяснилъ также нѣкоторыя астрономически-географическія соотношенія. Онъ показалъ, что сила тяжести должна убывать не только съ поднятіемъ надъ поверхностью земли, но таюке и въ томъ случаѣ, если мы станемъ опускаться внутрь земли, такъ какъ въ этомъ случаѣ часть ея массы, находящаяся надъ нами, дѣйствуетъ въ направленіи, прямо противоположномъ притяженію къ центру. Ньютонъ доказалъ, что сферическій слой не оказываетъ никакого

притяженія на массы, находящіяся внутри его. Поэтому, если мы находимся въ какой-либо точкѣ внутри земли, то мы испытываемъ притяженіе только со стороны такого шара, радіусъ котораго равенъ разстоянію этой точки отъ центра земли.

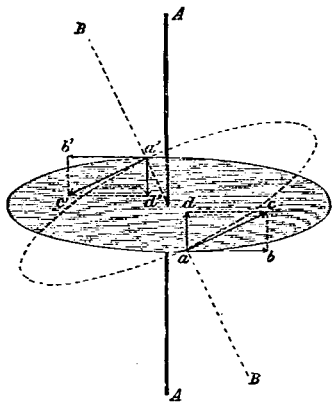
Въ § 276 мы видѣли, что Гюйгенсъ и Ньютонъ пришли къ различнымъ результатамъ въ отношеніи сжатія земли, такъ какъ Гюйгенсъ сосредоточилъ всю силу притяженія въ центрѣ, между тѣмъ какъ Ньютонъ распредѣлялъ ее равномерно по всему шару. Но и въ настоящее время еще нельзя сказать ничего опредѣленнаго относительно распредѣленія массъ въ землѣ, хотя достоверно извѣстно, что плотность земли въ среднемъ равна 5.5 (§ 306), тогда какъ поверхностные слои (вода, твердые пласты) обладаютъ гораздо меньшей плотностью.

316. Равнымъ образомъ была объяснена Ньютономъ и прецессія (§ 44)—явленіе, открытое Гиппархомъ и состоящее въ томъ, что земная ось не сохраняетъ своего направленія въ пространствѣ, но описываетъ коническую поверхность въ 26 000 лѣтъ. Дѣло въ томъ, что въ силу инерціи всякое тѣло стремится сохранить свое положеніе. У быстро вращающагося тѣла это стремленіе проявляется иначе, нежели у тѣла, находящагося въ состояніи покоя. Въ послѣднемъ случаѣ это стремленіе выразится въ видѣ сопротивленія, которое нужно преодолѣть для измѣненія положенія тѣла. Въ томъ же случаѣ, когда тѣло находится въ состояніи вращательнаго движенія, это движеніе складывается съ тѣмъ, которое стараются сообщить тѣлу, и въ результатѣ получается совершенно новое движеніе.

Еслибы мы, напримѣръ, пожелали измѣнить положеніе оси AA быстро вращающагося круга (рис. 297) такимъ образомъ, чтобы верхній конекъ ея перемѣстился книзу, а нижній конекъ—впередъ, то точка a круга должна была бы перейти въ d , а точка a' въ d' . Но такъ какъ эти точки вслѣдствіе вращенія круга должны перемѣститься въ b и въ b' , то по правилу параллелограмма скоростей (§ 176) точка a перейдетъ въ c , а точка a' въ c' . Такимъ образомъ, кругъ займетъ наклонное положеніе, обозначенное пунктиромъ, а ось займетъ положеніе BB . Значитъ, если сила стремится повернуть ось, то ось перемѣщается не по направленію дѣйствія силы, а въ плоскости, перпендикулярной къ этому направленію.

Если, напримѣръ, на полю вѣртится волчокъ въ наклонномъ положеніи, то можно было бы подумать, что онъ долженъ упасть, такъ какъ онъ опирается лишь на остріе. Однако, волчокъ не падаетъ. Верхній конекъ оси перемѣщается не внизъ, а въ сторону, описывая при этомъ окружность около вертикальной линіи. Чѣмъ больше волчокъ наклоняется, тѣмъ болѣе удивительнымъ кажется, что онъ не опрокидывается. Если ось волчка вращается въ кольцѣ (рис. 298), которое насажено на остріе o при помощи придатка $л$, то кольцо держится въ горизонтальномъ положеніи и, вмѣсто того чтобы упасть, вращается горизонтально вокругъ

Рис. 297



Сложеніе двухъ вращеній.

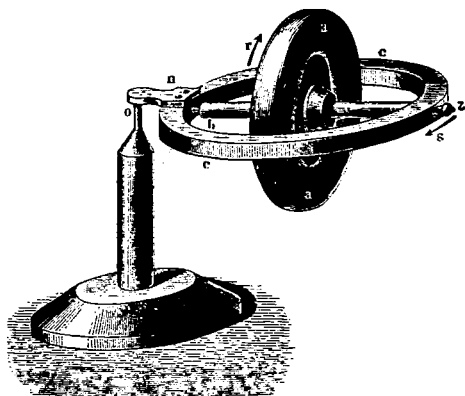
остря *o*. Если производить на кольцо давлѣніе книзу, то оно только ускоритъ свое движеніе. Если пытаться надавливаніемъ ускоритъ движеніе кольца, то оно поднимется надъ горизонтальнымъ положеніемъ; если же задерживать его, то оно опустится ниже¹⁾).

Такъ какъ земля сжата и такъ какъ эта чечевица—если можно такъ называть сплюснутую землю—не лежитъ въ одной плоскости съ солнцемъ и луной, то послѣднія стремятся повернуть чечевицу въ свою плоскость, т. е. стремятся поставить ея ось перпендикулярно къ этой плоскости. Слѣдствіемъ этого является то, что ось перемѣщается не по тому направленію, по которому стремятся двинуть ее солнце и луна, а перпендикулярно къ этому направленію. Вслѣдствіе этого ось должна описывать коническую поверхность (ср. рис. 25).

Браллей, какъ мы видѣли (§ 285), открылъ другое движеніе земной оси съ періодомъ въ 18 лѣтъ. Оно находится въ связи съ соотвѣтствующими колебаніями

лунной орбиты, которая не совпадаетъ съ земной орбитой, а составляетъ съ нею уголъ приблизительно въ 5° . Мы можемъ разсматривать землю и луна, какъ вращающуюся чечевицу, плоскость которой не вполне совпадаетъ съ тою плоскостью, опредѣляемою притягательной силой солнца. Слѣдствіемъ этого является колебаніе плоскости лунной орбиты и вмѣстѣ съ тѣмъ земного экватора или земной оси съ періодомъ въ $18\frac{1}{2}$ лѣтъ.

Рис. 298



Ось волчка вращается въ горизонтальной плоскости.

Само явленіе было извѣстно съ незамятныхъ временъ. Греческій географъ Страбонъ (род. въ 66 г. до Р. Х.) рассказываетъ, что уже финикіане знали о приливахъ и отливахъ. Въ Средиземномъ морѣ, какъ въ морѣ внутреннемъ, нельзя, конечно, наблюдать это явленіе, но финикіане выходили черезъ „Геркулесовы столбы“ и въ открытый океанъ. Они замѣтили, что это явленіе находится въ зависимости отъ луны и что оно особенно интенсивно во время полнолунія и новолунія. Плиній и Плутархъ (род. въ 50 г. по Р. Х.) рассказываютъ нѣчто подобное о Пивеѣ изъ Массалии, который заходилъ далеко на сѣверъ до острова Оуле.

Для объясненія этого явленія дѣлались различныя предположенія. Итальянскій иезуитъ Кабео (1585—1650) полагалъ, что луна производитъ на днѣ морскомъ какое-то спиртное вещество, которое и обуславливаетъ приливъ. Стевинъ говоритъ о притягательной силѣ луны. Но такъ какъ на противоположной сторонѣ земли тоже

317. Наконецъ, Ньютонъ пролилъ свѣтъ на явленія прилива и отлива, до него представлявшія загадку.

¹⁾ Подробнѣе см. Перри, *Вращающійся волчокъ*. 2-е изд. Одесса, Mathesis. 1907.

бываетъ одновременно высокая вода, то онъ полагалъ, что и съ этой стороны должна существовать притягивающая точка. Кеплеръ тоже догадывался о притягательной силѣ, но объяснить явленіе онъ не могъ. Галилей отвергъ эти объясненія и говорилъ о центробѣжной силѣ. Послѣ открытія давленія воздуха нѣкоторые полагали, что луна производитъ измѣненія въ давленіи воздуха, что въ свою очередь оказываетъ вліяніе на уровень моря. Другіе довольствовались тѣмъ, что считали это явленіе тайной природы.

Въ своихъ „Началахъ“ Ньютонъ выступилъ съ объясненіемъ, что приливъ обусловливается разностью между притяженіемъ, оказываемымъ луною на обращенное къ ней море, и притяженіемъ, оказываемымъ ею на самое ядро земли. Это и вызываетъ поднятіе воды на этой сторонѣ земли, *IH*, рис. 299. Далѣе, съ противоположной стороны также существуетъ разность притяженій, производимыхъ луною на море и на ядро земли. Въ этомъ случаѣ луна какъ бы оттягиваетъ землю отъ воды, такъ что и тутъ море поднимается надъ поверхностью земли (*KL*).

Легко сейчасъ же замѣтить, что и солнце можетъ вызывать нѣчто подобное; можно было бы подумать, что вліяніе солнца должно быть сильнѣе вліянія луны, такъ какъ солнце, несмотря на большую отдаленность, притягиваетъ землю гораздо сильнѣе, чѣмъ луна, благодаря своей огромной массѣ. Но здѣсь дѣло не въ самой притягательной силѣ, а лишь въ разности притяженій на твердую часть земного шара и на море. Это можно лучше всего разъяснить при помощи небольшого расчета.

Пусть масса земли будетъ 1, тогда масса луны будетъ приблизительно $\frac{1}{81}$, а масса солнца—320000. Если принять радіусъ земли равнымъ 1, то разстояніе луны будетъ 60, а разстояніе солнца $60 \times 400 = 24000$. Притяженіе, оказываемое луною на ближайшую часть земли, составитъ въ такомъ

случаѣ $\frac{1}{81} \times \frac{1}{60^2}$ тяжести на земной поверхности, а притяженіе луною центра

земли будетъ $\frac{1}{81} \times \frac{1}{61^2}$. Разность этихъ притяженій будетъ

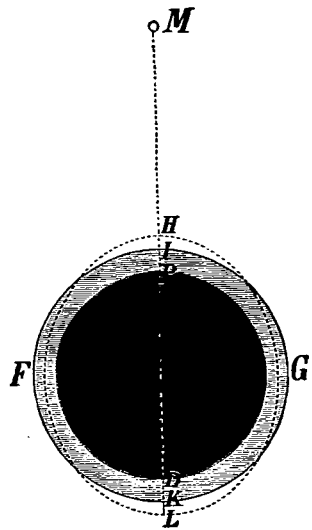
$$\frac{1}{81} \times \frac{1}{60^2} - \frac{1}{81} \times \frac{1}{61^2} = \frac{1}{81} \cdot \frac{61^2 - 60^2}{60^2 \times 61^2} = \frac{1}{8800000} \text{ (приблизительно).}$$

Разность притяженій, производимыхъ солнцемъ на поверхность земли и на ея центръ, будетъ

$$\frac{320000}{24000^2} - \frac{320000}{24001^2} = 320000 \times \frac{24001^2 - 24000^2}{24000^2 \times 24001^2} = \frac{1}{22000000}$$

Такимъ образомъ, дѣйствіе солнца равно $\frac{2}{5}$ дѣйствія луны. Если мы сравнимъ силы

Рис. 299



Приливъ и отливъ.

притяженія солнцемъ центра земли и противоположной стороны земного шара, то получимъ тотъ же результатъ.

Отсюда мы заключаемъ, что при совмѣстномъ дѣйствіи солнца и луны величина этого дѣйствія будетъ $1 + \frac{2}{5} = \frac{7}{5}$. Тогда мы будемъ имѣть самый высокій приливъ. Когда же солнце и луна дѣйствуютъ въ направленіяхъ противоположныхъ (во время квадратуръ), то величина ихъ дѣйствія будетъ лишь $1 - \frac{2}{5} = \frac{3}{5}$. Въ это время будетъ низкій приливъ.

Така какъ земля совершаетъ въ теченіе сутокъ полный оборотъ, то въ каждомъ мѣстѣ земли ежедневно должно быть два прилива и два отлива. Но вслѣдствіе того, что волна прилива въ своемъ движеніи съ востока на западъ задерживается Старымъ Свѣтомъ, а такоже и Америкой, явленіе прилива происходитъ безпрепятственно лишь на югъ отъ Африки и Америки. Движеніе приливной волны подвержено значительнымъ измѣненіямъ, вызываемымъ неодинаковостью глубины моря въ различныхъ мѣстахъ, а такоже формой и распредѣленіемъ материковъ и острововъ. Вслѣдствіе этого въ данномъ мѣстѣ берега высокой приливъ будетъ не въ тотъ моментъ, когда луна проходитъ черезъ меридіанъ, а спустя опредѣленное число часовъ; свѣдѣнія объ этомъ времени даютъ морскіе календари. Равнымъ образомъ, высокие приливы достигаютъ максимума не во время полнолунія и новолунія, а на день, а то и на нѣсколько дней позже.

318. Такъ какъ земля вращается съ запада на востокъ, между тѣмъ какъ луна заставляетъ волну прилива стоять какъ бы неподвижно, то она въ извѣстной мѣрѣ является тормазомъ, уничтожающимъ часть энергіи движенія земли. Тѣмъ не менѣе скорость вращенія земли не измѣнилась отъ этого сколько-нибудь замѣтно съ начала историческаго періода, такъ какъ продолжительность сутокъ остается неизмѣнной уже 2000 лѣтъ. Упомянутый въ § 21 періодъ затменій все еще состоитъ изъ такого же точно числа дней (6585-32), какъ и тогда. Слѣдовательно, и единица времени, сутки, остается та же.

На лунѣ, съ другой стороны, когда она еще была въ болѣе жидкомъ состояніи, такоже, вѣроятно, была пара мощныхъ приливныхъ волнъ, обязанныхъ своимъ существованіемъ землѣ и уничтожившихъ скорость ея вращенія. Луна постоянно обращена къ землѣ одной и той же стороной и въ эту сторону нѣсколько удлинена по направленію къ землѣ. Такимъ же образомъ, вѣроятно, и время вращенія Меркурія и Венеры постепенно сравнялось съ періодомъ ихъ обращенія вокругъ солнца, благодаря приливнымъ волнамъ, вызваннымъ вліяніемъ солнца.

319. Блестящей математической обработкой вопроса о движеніи небесныхъ тѣлъ, съ чѣмъ мы познакомились въ общихъ чертахъ, Ньютонъ больше, чѣмъ кто-либо другой, выяснилъ основы механики и по отношенію къ этой именно сторонѣ его дѣятельности не покажутся преувеличеніемъ два стиха его болѣе молодого современника Попа:

„Nature and Nature's Laws lay hid in Night.
God said, Let Newton be, and all was light“¹⁾.

Съ именемъ Ньютона мы встрѣчаемся, однако, и въ другихъ областяхъ физи-

¹⁾ Природа и законы природы были окутаны мракомъ. Богъ рекъ: Да будетъ Ньютонъ, и все стало свѣтомъ.

ки, въ которыхъ имъ совершенно много великаго. Но здѣсь мы находимъ также и ошибки; и огромный авторитетъ Ньютона былъ причиною того, что теоріи, основанныя на этихъ недоразумѣніяхъ, служили препятствіемъ къ широкому распространенію правильныхъ понятій почти еще цѣлое столѣтіе.

Ньютонъ является однимъ изъ сравнительно немногихъ естествоиспытателей прежняго времени, которые еще при жизни получили достойную оцѣнку своихъ заслугъ. Въ 1695 году Ньютонъ получилъ должность при королевскомъ монетномъ дворѣ, что приносило ему ежегодно около 5000 рублей, причемъ онъ сохранялъ за собою профессуру въ Кэмбриджѣ; въ 1699 году онъ получилъ должность главнаго начальника монетнаго двора съ содержаніемъ въ 12000 рублей. Онъ переѣхалъ на жительство въ Кенсингтонъ, причемъ тогда же былъ избранъ предсѣдателемъ Royal Society. На склонѣ дней своихъ онъ пользовался заботливымъ уходомъ со стороны своей племянницы, г-жи Кондюи. Ньютонъ умеръ въ 1727 году въ возрастѣ 85 лѣтъ, оставивъ послѣ себя значительное состояніе. По распоряженію короля Георга I останки его были погребены въ Вестминстерскомъ аббатствѣ съ болною пышностью.

Интересенъ взглядъ Ньютона, высказанный имъ уже въ преклонномъ возрастѣ, относительно соотношенія между человѣческимъ изслѣдованіемъ и его предметомъ — природой: „Я не знаю, какого мнѣнія будетъ свѣтъ о моихъ трудахъ; я же лично смотрю на себя, какъ на ребенка, который, играя на морскомъ берегу, нанель нѣсколько каменковъ поглаже и нѣсколько раковинъ попестрѣе, чѣмъ удавалось другимъ; но неизмѣримый океанъ оставался предъ моимъ взоромъ неизслѣдованнымъ“.

Послѣ Ньютона осталось также нѣсколько сочиненій религіознаго содержанія. Они вышли въ свѣтъ въ 1736 году; въ нихъ идетъ рѣчь о пророкѣ Даніилѣ и объ Апокалипсисѣ. Віо высказалъ взглядъ, что эти сочиненія возникли въ періодъ душевной болѣзни автора. Но Брююстеръ показалъ, что Ньютонъ неизмѣнно сохранялъ свои духовныя силы, за исключеніемъ одного весьма короткаго періода, вызваннаго переутомленіемъ. Но онъ тогда же совершенно оправился, а появленіе указанныхъ сочиненій относится къ болѣе позднему времени. За нѣсколько дней до смерти Ньютонъ еще руководилъ засѣданіемъ въ Royal Society.

Неподвижныя звѣзды

320. Къ концу XVIII столѣтія движенія тѣлъ солнечной системы были изучены путемъ наблюденія и, наконецъ, теоретически обоснованы Ньютономъ. Но небо неподвижныхъ звѣздъ считалось въ это время чѣмъ-то совершенно неизмѣннымъ. Единичныя наблюденія, какъ, напримѣръ, открытіе новой звѣзды Тихо Браге (§ 67), служили, однако, указаніемъ на то, что измѣненія не совсѣмъ невозможны. Но уже давно было признано, что годичное движеніе неподвижныхъ звѣздъ относительно солнца (§ 29), равно какъ прецессія (§ 44) и абберрація (§ 284) обуславливаются не собственнымъ движеніемъ неподвижныхъ звѣздъ, а движеніемъ земли, — и всѣ попытки опредѣлить разстоянія неподвижныхъ звѣздъ терпѣли крушеніе. Для изслѣдованія звѣзднаго неба требовались болѣе точные инструменты, чѣмъ тѣ, какими располагали въ то время наблюдатели, — и первый, кто ихъ ввелъ въ употребленіе, занимался вначалѣ астрономіей, какъ любитель, наряду со своей главной профессіей.

321. Вильямъ Гершель родился въ 1738 году въ Ганноверѣ, который тогда

былъ объединенъ съ Англiей личной ушей. Отецъ его, военный музыкантъ, былъ образованнымъ человѣкомъ; его мать была толковая, практичная женщина, которая, впрочемъ, не получила высшаго образованiя. Многочисленныя дѣти ихъ всѣ были музыкальны; но только сыновья, среди нихъ и Вильямъ, имѣли возможность усовершенствоваться въ музыкѣ. Семнадцати лѣтъ отъ роду онъ сдѣлался гобоистомъ въ ганноверской гвардiи, съ которой онъ перешелъ въ Англiю. Спустя нѣсколько лѣтъ Гершель оставилъ службу, сталъ давать уроки музыки и принимать участiе въ концертахъ; позднѣе онъ сдѣлался органистомъ въ Галифаксѣ, а потомъ въ Батѣ.

Здѣсь онъ давалъ концерты, имѣлъ много учениковъ и вообще занималъ весьма видное положенiе въ музыкальномъ мiрѣ. Наряду съ музыкальной дѣятельностью, которая отнимала у него около 14 часовъ въ сутки, онъ по вечерамъ изучалъ языки, математику, оптику и астрономiю. Послѣ смерти отца онъ взялъ къ себѣ своего младшаго брата, Александра, а спустя нѣсколько лѣтъ и младшую сестру, Каролину. Братъ и сестра должны были впослѣдствiи стать его помощниками: братъ, механикъ, помогаль при шлифовкѣ зеркалъ, а сестра при наблюдешяхъ.

Занимаясь астрономiей, Гершель былъ до того увлеченъ желанiемъ увидѣть небесныя тѣла собственными глазами, что не успокоился до тѣхъ поръ, пока ему не удалось въ 1774 году изготовить зеркальный телескопъ съ фокуснымъ разстоянiемъ въ $5\frac{1}{2}$ футовъ. Его усердiе въ этихъ занятiяхъ доходило до того, что для наблюдений надъ звѣздами онъ пользовался даже антрактами во время концертовъ.

Послѣ перваго удачнаго опыта онъ сталъ изготовлять телескопы одинъ за другимъ. Шлифовались зеркала въ 7, 10, 20 футовъ. Весь домъ превратился въ мастерскую; а такъ какъ во время этой работы онъ не могъ оставаться безъ умственной пищи, то его сестра, Каролина, должна была читать ему вслухъ, пока онъ днемъ работалъ надъ шлифовкой зеркалъ. По вечерамъ онъ превращался въ музыканта, а по ночамъ производилъ наблюдешя со своимъ телескопомъ. Для отдыха онъ давалъ себѣ лишь немного времени.

Его наблюдешя, однако, не были только любопытнымъ осматриванiемъ неба. Онъ тщательно изучалъ звѣздное небо, одну часть за другою, занося все, что подмѣчалъ относительно положенiя, яркости и цвѣта звѣздъ. Такимъ образомъ онъ уже въ 1781 прiобрѣлъ такую увѣренность и опытность зъ производствѣ наблюдешй, что 13-го марта этого года могъ замѣтить въ созвѣзди Близнецовъ звѣзду съ нѣсколькими большими дискомъ, чѣмъ у прочихъ звѣздъ. Онъ заподозрилъ, что это была комета. Вскорѣ выяснилось, что она обладаетъ собственнымъ движенiемъ. Исслѣдовавъ болѣе подробно ея орбиту, имѣвшую, какъ оказалось, почти форму окружности, Гершель призналъ въ ней планету, которая двигалась внѣ орбиты Сатурна. Онъ назвалъ ее „звѣздой Георга“ (Georgium sidus) въ честь короля. Впослѣдствiи ей дали, однако, имя Урана. Теперь Гершель сразу сталъ знаменитымъ. По приглашенiю

Рис. 300

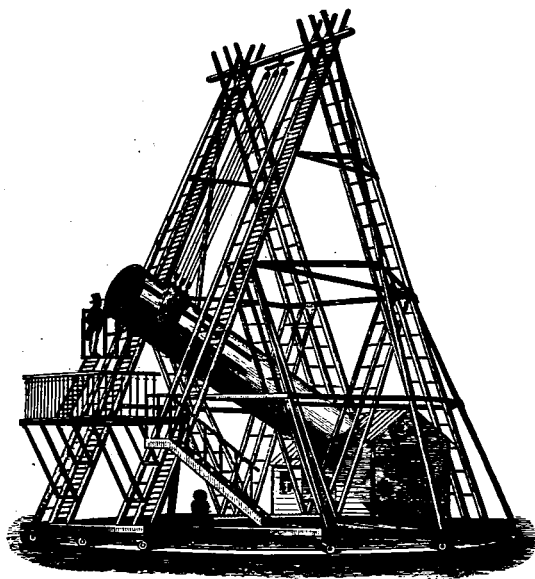


Вильямъ Гершель.

короля онъ посѣтилъ Гриничъ и Виндзоръ. Его телескопъ, который онъ здѣсь демонстрировалъ, превзошелъ своими достоинствами всѣ инструменты Гриничской обсерваторіи, — и король, равно какъ и королевскій дворъ, съ большимъ усердіемъ наблюдали звѣзды съ помощью этого телескопа. Король сдѣлалъ Гершеля придворнымъ инструментальнымъ мастеромъ и въ виду этого Гершель перебрался съ сестрой Каролиной въ Виндзоръ. Вначалѣ онъ получалъ столь незначительное содержаніе, что былъ вынужденъ удѣлять много времени музыкальнымъ занятіямъ, въ виду чего мало отдавался астрономіи. Когда это дошло до короля, матеріальныя обстоятельства Гершеля были улучшены; ему была отпущена значительная сумма, давшая ему возможность построить знаменитый гигантскій 40-футовый телескопъ (рис. 301).

Съ этого времени наступаетъ плодотворный для астрономіи рядъ лѣтъ. Въ 1783 году Гершель женился на женщинѣ изъ состоятельной семьи и переселился

Рис. 301



40-футовый телескопъ Гершеля.

въ Слоу близъ Виндзора. Его сестра послѣдовала за нимъ на новое мѣстожителство и проявила здѣсь значительную астрономическую дѣятельность. Она, напримѣръ, открыла цѣлыхъ восемь кометъ.

Самъ Гершель открылъ двухъ спутниковъ Сатурна и двухъ спутниковъ Урана. Восьмой спутникъ Сатурна, а также третій и четвертый спутники Урана были открыты лишь въ срединѣ XIX вѣка Ласселемъ въ Ливерпулѣ. Главная же заслуга Гершеля заключается въ томъ, что онъ изслѣдовалъ звѣздное небо; о своихъ открытіяхъ онъ въ теченіе ряда лѣтъ послалъ массу сообщеній въ Royal Society въ Лондонѣ.

322. Благодаря наблюденіямъ Гершеля, звѣздное небо, считавшееся до того времени твердью, неизмѣннымъ сводомъ, превратилось въ безчисленное множество свободно парящихъ солнць. При помощи своихъ тонкихъ измѣреній, Гершель нашелъ, что звѣзды мѣняють свое положеніе, хотя и очень медленно. Онѣ мѣняють свое взаимное расположеніе такъ медленно, что только по прошествіи тысячелѣтій можно будетъ замѣтить измѣненія непосредственнымъ наблюденіемъ. Галлей еще до этого обратилъ вниманіе на то, что Сиріусъ, Арктуръ и Альдебаранъ находятся, повидимому, на $\frac{1}{2}^{\circ}$ южнѣе, чѣмъ въ каталогѣ Птолемея. На рис. 302 изображена Большая Медвѣдица въ нынѣшнемъ видѣ (слѣва) и черезъ 36 000 лѣтъ (справа). На первомъ рисункѣ стрѣлками обозначены направленія, по которымъ движутся отдѣльныя звѣзды.

Кромѣ собственнаго движенія отдѣльныхъ звѣздъ Гершель нашелъ еще общее всѣмъ звѣздамъ движеніе, которое онъ объяснилъ движеніемъ солнечной системы въ

Рис. 302



Большая Медвѣдица теперь и черезъ 36 000 лѣтъ.

міровомъ пространствѣ. Именно, Гершель нашелъ, что всѣ звѣзды въ созвѣздіи Геркулеса и вблизи него (рис. 303) удаляются отъ одной опредѣленной точки, обозначенной на рисункѣ маленькимъ кружкомъ. То же можно замѣтить въ лѣсу, когда направляешься къ опредѣленной цѣли. Деревья, стоящія справа отъ этой цѣли, уходятъ вправо, деревья, стоящія слѣва отъ цѣли, уходятъ влѣво; верхушки же деревьевъ поднимаются по мѣрѣ приближенія все выше и выше. На противоположной сторонѣ неба Гершель нашелъ точку, къ которой звѣзды приближаются, подобно деревьямъ въ лѣсу, которая какъ бы сходится въ то мѣсто, откуда мы уходимъ.

323. При помощи телескопа Гершеля, благодаря его размѣрамъ, можно было

увидѣть безчисленное множество звѣздъ. Говоря обыкновенно о „безчисленномъ множествѣ“ звѣздъ, мы выражаемся не совсѣмъ точно, если мы имѣемъ въ виду только звѣзды, видимыя простымъ глазомъ, такъ какъ число этихъ звѣздъ опредѣлить не очень трудно.

По яркости звѣзды дѣлятся на различные классы. Самыя яркія звѣзды составляютъ классъ звѣздъ первой величины. Звѣзды седьмой величины можно еще видѣть, но уже съ большимъ трудомъ. Во всякомъ случаѣ, чтобы видѣть ихъ, нуженъ зоркій глазъ и прозрачное небо. Слѣдующіе классы можно видѣть лишь при помощи телескопа; и число звѣздъ тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе телескопъ. Число звѣздъ первыхъ классовъ приблизительно слѣдующее:

Величина:	1.	2.	3.	4.	5.
Число:	21	65	200	425	1100
Величина:	6.	7.	8.	9.	
Число:	3200	13 000	40 000	142 000	

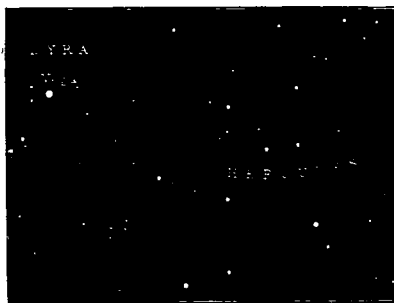
О томъ, какъ неизмѣримо велико число звѣздъ высшихъ классовъ, можно составить представлеіе, рассматривая небольшую часть созвѣздія Близнецовъ (рис.

151): простымъ глазомъ мы тамъ увидимъ только 7 звѣздъ, самая яркая изъ нихъ третьей величины, при помощи же хорошей современной трубы на томъ же мѣстѣ можно насчитать 3205 звѣздъ, до звѣздъ 13-ой величины включительно (рис. 152). Такое количество звѣздъ наблюдается, конечно, не во всѣхъ направленіяхъ. Вообще, число ихъ больше всего въ Млечномъ Пути. Гершель оцѣнивалъ число звѣздъ въ 18 миллионѣвъ. Позднѣ Струве (род. въ 1793 г. въ Альтопѣ, ум. въ 1864 г. въ Петербургѣ) оцѣнилъ число звѣздъ, видимыхъ на всемъ небѣ въ 40-футовой телескопъ Гершеля, въ 20 миллионѣвъ. Въ настоящее время считаютъ, что число телескопическихъ звѣздъ превышаетъ 80 миллионѣвъ. Само собою разумѣется, что число звѣздъ зависитъ, какъ правильно замѣтилъ уже Гершель, отъ силы телескопа, съ которымъ производятся наблюденія.

324. Слѣдующій вопросъ состоитъ теперь въ томъ, на какомъ разстояніи отъ насъ находятся неподвижныя звѣзды. Тихо Браге пытался опредѣлить это разстояніе (§ 70), но безуспѣшно; то же нужно сказать и о Брадлеѣ (§ 284). Послѣдній при этихъ попыткахъ открылъ абerraцію свѣта. Послѣ нихъ за рѣшеніе этого вопроса взялся Гершель, но тоже безуспѣшно, несмотря на то, что въ своихъ наблюденіяхъ онъ достигъ такой точности, какой до него не достигалъ никто. Зато его попытки привели къ совершенно новому открытію.

Такъ какъ тщетно отыскиваемый параллаксъ (ср. § 70 и рис. 53) во всякомъ случаѣ долженъ быть очень малъ, то Гершель хотѣлъ попытаться найти его, примѣнивъ методъ, предложенный еще Галилеемъ, а именно: видимое перемѣщеніе

Рис. 303

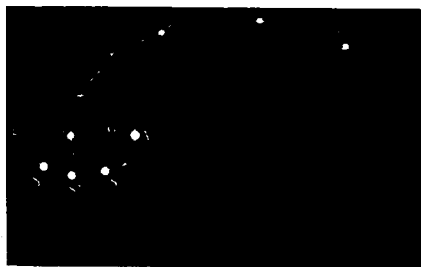


Точка между звѣздами, по направленію къ которой движется солнце.

звѣзды, обусловливаемое движеніемъ земли вокругъ солнца, можетъ быть лучше всего замѣчено, если сравнивать положеніе этой звѣзды съ положеніемъ другой, сосѣдней для глаза, но бесконечно далекой, перемѣщеніе которой вслѣдствіе движенія земли равно нулю или совершенно ничтожно въ сравненіи съ опредѣленнымъ перемѣщеніемъ (параллаксомъ) первой звѣзды. Другими словами, Гершель хотѣлъ подобрать пары звѣздъ, которыя, будучи видимы въ его большой телескопъ на весьма близкомъ разстояніи другъ отъ друга, имѣли бы, конечно, одинаковую рефракцію, одинаковую аберацію и т. д. Для этой цѣли онъ сталъ наблюдать большое количество такихъ звѣздныхъ паръ, опредѣляя взаимное разстояніе и положеніе звѣздъ каждой пары. Спустя нѣкоторое время онъ повторилъ эти измѣренія; но вмѣсто того, чтобы найти параллаксъ, т. е. смѣщеніе звѣздъ, соответствующее годовому движенію земли, онъ открылъ у нѣкоторыхъ изъ этихъ двойныхъ звѣздъ совершенно иное измѣненіе положенія другъ относительно друга: при дальнѣйшемъ движеніи одна изъ нихъ должна была бы совершить полный оборотъ около другой. Подобно тому какъ движутся планеты вокругъ солнца или, еще лучше, подобно тому, какъ земля и луна, составляющія, такъ сказать, двойную планету, движутся вокругъ общаго центра тяжести, находящагося въ землѣ (§ 317), такъ открытыя Гершелемъ „двойныя звѣзды“ движутся въ теченіе многихъ лѣтъ вокругъ общаго центра тяжести. При жизни Гершеля ни одна изъ этихъ паръ не совершила, правда, полного оборота, но съ тѣхъ поръ это наблюдали у многихъ двойныхъ звѣздъ. Гершель производилъ наблюденія, напримѣръ, надъ двойною звѣздою ξ Большой Медвѣдицы въ 1781, 1803 и 1825 гг. Полный же оборотъ звѣзда закончила лишь въ 1842 году, такъ что ея періодъ составляетъ 61 годъ.

Эти движенія также подчиняются законамъ Кеплера и, значить, и тутъ имѣтъ силу законъ всемірнаго тяготѣнія Ньютона. Звѣзды движутся по эллипсамъ около

Рис. 304



Движеніе двойныхъ звѣздъ.

общаго центра тяжести, какъ фокуса. Эти эллипсы часто весьма растянуты, что, однако, можетъ быть иногда лишь слѣдствіемъ перспективы, если этотъ путь наблюдается сбоку. Рис. 304 можетъ дать представленіе о движеніи такихъ двойныхъ звѣздъ. G — общій центръ тяжести, a и A — двѣ звѣзды, когда онѣ на наименьшемъ разстояніи другъ отъ друга. Въ данномъ случаѣ масса A въ три раза больше массы a , такъ какъ разстояніе aG взято втрое больше, чѣмъ AG . Оба тѣла затѣмъ движутся такимъ образомъ, что приходятъ одновременно въ s и S , въ s' и S' , въ s'' и S'' и въ b и B (наибольшее разстояніе) и т. д.

Такимъ образомъ Гершель открылъ, что нѣкоторыя изъ двойныхъ звѣздъ представляютъ дѣйствительныя (физическія) двойныя звѣзды, что это два связанныхъ между собою солнца. Другія же являются только такъ называемыми оптическими двойными звѣздами, т. е. онѣ случайно расположены приблизительно на одной прямой линіи съ землею, тогда какъ вторая звѣзда, возможно, отстоитъ значительно

дальше отъ земли, чѣмъ первая. Этимъ-то именно обстоятельствомъ Гершель и имѣлъ въ виду воспользоваться для опредѣленія параллакса болѣе близкой изъ двухъ звѣздъ. Это не удалось ему, но зато онъ нашель 806 дѣйствительныхъ двойныхъ звѣздъ и описаль ихъ.

Кромѣ двойныхъ звѣздъ есть также звѣздныя системы, которыя состоятъ изъ трехъ, четырехъ и большаго числа звѣздъ, образующихъ одну семью и движущихся около общаго центра тяжести. Гершель былъ того убѣжденія, что неподвижныя звѣзды суть солнца, и, такимъ образомъ, наше представление о солнечныхъ системахъ расширилось уже этими наблюдениями надъ двойными звѣздами. До этого времени существовало лишь представление о нашей солнечной системѣ съ однимъ центральнымъ тѣломъ. Но въ мировомъ пространствѣ мы встрѣчаемъ и такія системы, которыя заключаютъ въ себѣ два, три и болѣе свѣтящихся тѣлъ, движущихся одно около другого. Если въ этихъ системахъ находятся и темныя тѣла, то тамъ можно видѣть не одно солнце на небѣ, какъ у насъ, а иногда нѣсколько, причеиъ иногда эти солнца, можетъ быть, имѣютъ разную окраску.

325. Хотя попытка Гершеля опредѣлить параллаксы неподвижныхъ звѣздъ не удалась, тѣмъ не менѣе онъ не терялъ надежды составить представление о размѣрахъ вселенной, въ которую онъ проникъ гораздо дальше, благодаря своему огромному телескопу, чѣмъ кто-либо до него.

Въ различныхъ направленіяхъ мы наблюдаемъ различныя количества неподвижныхъ звѣздъ, но наибольшее количество звѣздъ мы видимъ въ той плоскости, въ которой густые рои Млечнаго Пути опоясываютъ все небо. По мнѣнію Гершеля, само солнце тоже принадлежитъ къ большому рою звѣздъ,—другими словами, оно есть одна изъ милліоновъ звѣздъ, входящихъ въ составъ Млечнаго Пути, а звѣзды, видимыя простымъ глазомъ, только ближайшіе члены этого большого роя; видимъ же мы ихъ на небесномъ сводѣ далекими другъ отъ друга только потому, что къ землѣ онѣ ближе всѣхъ.

Чтобы опредѣлить размѣры и видъ этого скопленія звѣздъ, Гершель предположилъ, что разстоянія между всѣми мировыми тѣлами въ среднемъ одинаковы, т. е. что эти тѣла распределены во вселенной приблизительно равномерно. Если мы направимъ зрительную трубу въ то или другое мѣсто неба, то мы увидимъ всѣ тѣ звѣзды, которыя находятся въ конусѣ, образуемомъ полемъ зрѣнія трубы. Поэтому, если въ полѣ зрѣнія находилось въ одномъ мѣстѣ 100 звѣздъ, а въ другомъ 800, то Гершель дѣлалъ отсюда выводъ, что въ послѣднемъ случаѣ граница скопленія должна лежать вдвое дальше, чѣмъ въ первомъ, такъ какъ объемъ конуса возрастаетъ въ 8 разъ, когда его длина увеличивается вдвое. Если въ третьемъ направленіи видно 2700 звѣздъ, то граница скопленія въ этомъ мѣстѣ должна отстоять въ три раза дальше, такъ какъ объемъ конуса теперь въ 27 разъ больше. Подобнымъ образомъ Гершель опредѣлилъ глубину нашего скопленія солнць (Млечнаго Пути) не менѣе, чѣмъ въ 3400 направленіяхъ. Онъ опубликовалъ результаты своихъ „зондированій“ въ 1785 году. Впослѣдствіи, однако, онъ пришелъ къ убѣжденію, что его предположеніе о равномерномъ распределеніи звѣздъ неправильно.

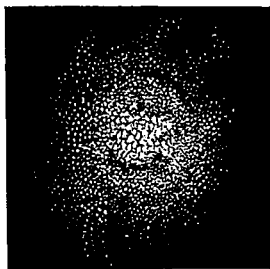
Тогда Гершель принялъ другую исходную точку, а именно ту, что въ общемъ звѣзды одинаково ярки. Въ такомъ случаѣ звѣзды первой величины должны быть къ намъ ближе всѣхъ; звѣзды второй величины должны отстоять нѣсколько дальше, звѣзды

третьей величины—еще дальше и т. д. Такъ какъ въ распоряженіи Гершеля былъ цѣлый рядъ зрительныхъ трубъ различной силы, то при помощи слабѣйшей изъ нихъ, которая все же давала возможность видѣть больше звѣздъ, чѣмъ невооруженный глазъ, онъ могъ зондировать одной ступеню глубже, чѣмъ простымъ глазомъ. Слѣдующая труба, дававшая возможность видѣть больше звѣздъ, чѣмъ первая, позволяла зондировать еще на одну ступень глубже и т. д. до 40-футоваго телескопа. Если въ какомъ-либо направленіи труба № 2 позволяла увидѣть больше звѣздъ, чѣмъ труба № 1, а труба № 3 новыхъ звѣздъ больше не давала, то это указывало, что въ этомъ мѣстѣ была достигнута граница скопленія звѣздъ.

Гершель, однако, видѣлъ, что и это допущеніе—одинаковости яркости звѣздъ—ненадежно и что, слѣдовательно, нельзя слишкомъ полагаться на зондированія, основанныя на этомъ допущеніи. Тѣмъ не менѣе въ этихъ двухъ попыткахъ мы видимъ всю неутомимую энергію великаго изслѣдователя, стремившагося измѣрить глубину, которую онъ самъ въ концѣ концовъ призналъ бездонной. Если даже эти методы и не вполне точны, то тѣмъ не менѣе они—особенно, если пользоваться ими обоими—все же пригодны въ такой же мѣрѣ, въ какой вообще пригодны расчеты, основанные на теоріи вѣроятностей; еще и въ настоящее время мы пользуемся подобными способами, чтобы получить представленіе о формѣ Млечнаго Пути. Эти миллионы звѣздъ, повидимому, образуютъ сжатую чечевицу, которая, вѣроятно, распадается на нѣсколько частей, имѣющихъ форму колецъ. Мы сами находимся на внутренней поверхности одного изъ этихъ колецъ и вслѣдствіе этого мы видимъ звѣзды Млечнаго Пути сливающимися въ поясъ, который на противоположной сторонѣ раздваивается, такъ что въ этомъ мѣстѣ мы можемъ смотрѣть сквозь одну часть кольцеобразнаго отверстія.

326. Наконецъ, Гершель оказалъ большія услуги изслѣдованіемъ звѣздныхъ скопленій и туманностей. Уже до него наблюдали приблизительно 120 туманностей. Гершель довель это число до 2500; благодаря своему превосходному телескопу онъ нашель, что многія изъ нихъ разрѣшаются въ неисчислимое количество звѣздъ. Онъ полагалъ, что это справедливо относительно всѣхъ туманностей, если только разсматривать ихъ достаточно сильной трубой. Впослѣдствіи, однако, онъ пришелъ къ другому взгляду, подтвержденному и новѣйшими изслѣдованіями, а именно, что наряду съ множествомъ туманностей, которыя, если разсматривать ихъ въ телескопъ, разлагаются на тысячи звѣздъ (рис. 305 и 306), существуютъ также и такія туманности, которыя состоятъ не изъ отдѣльных звѣздъ и которыя часто имѣютъ весьма неправильную форму; къ числу ихъ относятся также такъ называемыя планетарныя туманности. Относительно первыхъ Гершель полагалъ, что онѣ находятся далеко за предѣлами Млечнаго Пути и что это въ сущности другіе Млечные Пути. Такимъ образомъ, можно говорить и о Млечномъ Пути млечныхъ путей.

Рис. 305



Звѣздное скопленіе въ Геркулесѣ.

327. Гершель, далѣе, сдѣлалъ много наблюденій окраски неподвижныхъ

звѣздъ, измѣненій ихъ яркости и т. п. Онъ собралъ такой основательный матеріалъ о неподвижныхъ звѣздахъ и этимъ открылъ столь интересныя области въ этомъ до тѣхъ поръ почти мертвомъ мірѣ, что нельзя не отмѣтить еще одной важной стороны его дѣятельности: онъ привлекъ къ разрышенію поставленныхъ имъ проблемъ много молодыхъ силъ. Гершель умеръ въ 1822 году, въ такомъ же возрастѣ, какъ и Ньютонъ. Сестра его, Каролина, которая была значительно моложе его (род. въ 1750 г.), умерла въ 1848 году.

Единственный сынъ В. Гершеля, Джонъ Гершель (1792—1871), достойнымъ образомъ продолжалъ дѣло своего отца. Онъ былъ однимъ изъ выдающихся астро-

Рис. 306



Звѣздное скопленіе въ Центаврѣ.

номовъ XIX столѣтія,—особенно въ области двойныхъ звѣздъ и туманностей. Въ 1834 году онъ отправился на Мысь Надежды и въ теченіе четырехъ лѣтъ наблюдалъ здѣсь ту часть неба, которая невидима у насъ. При коронаціи королевы Викторіи въ 1838 году онъ былъ возведенъ въ дворянское достоинство.

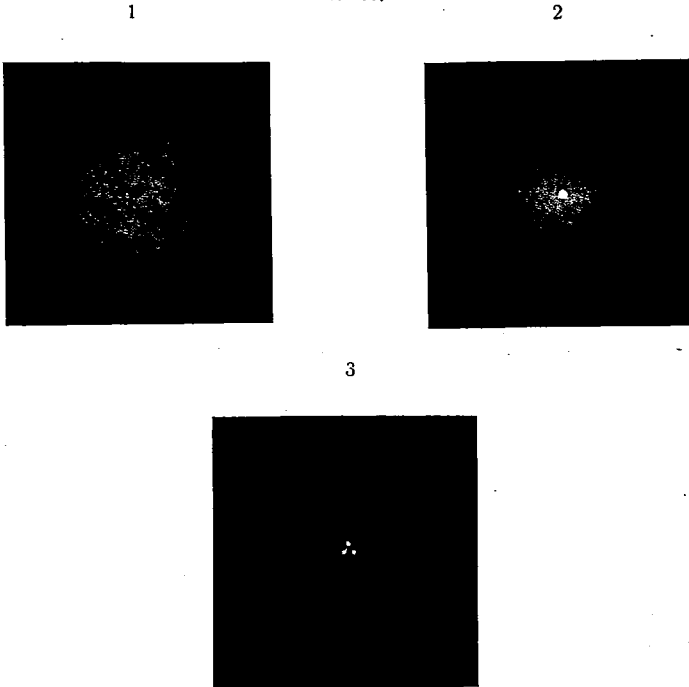
328. Прежде чѣмъ перейти къ дальнѣйшему, попытаемся составить себѣ представленіе о томъ, какихъ увеличеній и какой точности измѣреній достигъ Гершель своими приборами. При измѣреніяхъ двойныхъ звѣздъ ему часто приходилось имѣть дѣло съ дугами въ одну секунду и даже меньше. Чтобы представить себѣ дугу въ одну секунду, достаточно вспомнить, что діаметръ луны составляетъ 30 минутъ или 1800 секундъ.

Если мы представимъ себѣ, что діаметръ луны раздѣленъ на 1800 равныхъ частей, то каждая изъ нихъ представитъ, слѣдовательно, дугу въ одну секунду. Тонкость такихъ измѣреній можно наглядно объяснить еще слѣдующимъ образомъ. Вообразимъ себѣ на разстояніи 2 км зданіе въ 35 м длиною. Оно будетъ видно подъ угломъ въ 1 градусъ. Слѣдовательно, углу въ 1 секунду соответствуетъ 3600-ая часть 35 м, т. е. приблизительно 1 см. Такимъ образомъ, если мы на разстояніи 2 км пожелаемъ бы опредѣлить уголъ между двумя точками, лежащими на разстояніи 1 см другъ отъ друга, то намъ пришлось бы измѣрять уголъ въ 1 секунду. Гершель дошелъ приблизительно до этой точности; однако, требовалось пойти еще дальше, чтобы получить разыскиваемые тысячи лѣтъ параллакса неподвижныхъ звѣздъ.

Здѣсь нужно замѣтить, что оптика и искусство шлифовки стеколъ, а тѣмъ самымъ и конструкція зрительныхъ трубъ въ первой половинѣ XIX столѣтія сдѣлали столь значительные успѣхи, что съ 20-хъ годовъ его астрономы получили возможность пользоваться такими точными инструментами, какихъ до тѣхъ поръ никогда не было. Превосходные инструменты выходили изъ мастерскихъ Фраунгофера въ Мюнхенѣ. Фраунгоферъ же между прочимъ построилъ „гелиометръ“ для Бесселя въ Кёнигс-

бергъ. Это названіе означаетъ „солнцемѣръ“, но этотъ приборъ можетъ также служить для опредѣленія разстояній и между другими близкими точками, напримѣръ, между двойными звѣздами. Объективъ гелиометра посрединѣ разрѣзанъ и каждая изъ его половинокъ, имѣющихъ форму полукруговъ, вдѣлана въ отдѣльную металлическую оправу такъ, что при помощи микрометрическаго винта можно передвигать эти два полукруга, которые будутъ при этомъ скользить другъ около друга вдоль діаметра разрѣза. При сдвигѣ каждая половина объектива даетъ отдѣльное изображеніе звѣзды и, чѣмъ больше раздвинуть половины объектива, тѣмъ больше будетъ и разстояніе

Рис. 307



Планетарныя туманности въ созвѣздіи Рыбъ (1), въ Большой Медвѣдицѣ (2)
и въ Андромедѣ (3).

между двумя изображеніями. При наблюденіи, напримѣръ, двойной звѣзды получается четыре изображенія. Можно поставить половины объектива такъ, что изображеніе сѣверной звѣзды одной пары совпадетъ съ изображеніемъ южной звѣзды другой; тогда будутъ видны только три изображенія. Величина сдвига, которая можетъ быть отсчитана на винтѣ, будетъ зависѣть отъ разстоянія между звѣздами. Такимъ способомъ Фраунгоферъ со своимъ гелиометромъ далъ возможность производить чрезвычайно тонкія измѣренія.

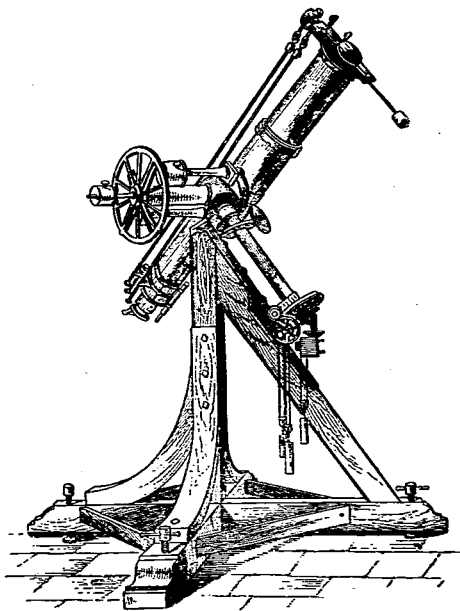
329. Фридрихъ Вильгельмъ Бессель (рис. 309) родился въ 1784 году въ Минденѣ. Пятнадцати лѣтъ отъ роду онъ вступилъ въ торговый домъ въ Бременѣ,

но уже здѣсь онъ употреблялъ свободное время на изученіе математики и астрономіи. Въ 1806 году онъ сдѣлался ассистентомъ обсерваторіи въ Лшиенталь, а въ 1810 году ему было поручено наблюденіе надъ постройкой обсерваторіи въ Кенигсбергѣ; ставши позже во главѣ этой обсерваторіи, онъ руководилъ ею до своей смерти въ 1846 году, вызывая удивленіе, какъ превосходный теоретикъ, вдумчивый изслѣдователь, серьезный и неутомимый наблюдатель. Помимо огромнаго числа другихъ превосходныхъ наблюденій, Бессель опредѣлилъ и параллаксъ неподвижныхъ звѣздъ, обезсмертивъ этимъ свое имя. Правда, приборы, необходимые для такого рода наблюденій были къ этому времени доведены до такого совершенства, что нѣкоторые другіе наблюдатели достигли той же цѣли почти одновременно и свои наблюденія опубликовали лишь немногимъ позже Бесселя.

330. Бессель получилъ параллаксъ неподвижной звѣзды тѣмъ же способомъ, которымъ пытался получить его уже В. Гершель, а именно, измѣряя разстоянія въ оптической двойной звѣздѣ. Главное затрудненіе состояло въ томъ, чтобы найти такую пару звѣздъ, относительно которой можно было бы разсчитывать, что одна изъ нихъ значительно дальше другой. При этомъ дѣлалось вѣроятное допущеніе, что изъ двухъ звѣздъ болѣе яркая есть вмѣстѣ съ тѣмъ и ближайшая къ намъ. Кромѣ Гершеля и другіе наблюдатели дѣлали выборъ, исходя изъ этого, но цѣли они, однако, не достигли.

Бессель въ своемъ выборѣ руководился другой точкой зрѣнія. Какъ извѣстно, В. Гершель показывалъ, что всѣ звѣзды имѣютъ собственное движеніе. Бессель и допустилъ, что изъ двухъ звѣздъ ближе та, которая движется скорѣе. По этой причинѣ онъ выбралъ для своихъ наблюденій двойную звѣзду 61 въ созвѣздіи Лебеда. Одна изъ звѣздъ этой пары имѣетъ собственное движеніе въ 5 секундъ въ годъ; ее даже назвали „летающей звѣздой“. Несвѣдущему человѣку эта скорость можетъ, конечно, показаться не столь ужъ значительной, такъ какъ нужно 350 лѣтъ, чтобы звѣзда перемѣстилась на разстояніе, равное видимому діаметру луны. Въ теченіе 1838 года Бессель произвелъ рядъ измѣреній и въ концѣ года онъ могъ сообщить, что параллаксъ этой звѣзды равенъ приблизительно $\frac{1}{3}$ секунды. Если принять во вниманіе, что радіусъ земной орбиты равенъ 20 милліонамъ миль и что это разстояніе видимо изъ звѣзды 61 Лебеда подъ угломъ въ $\frac{1}{3}$ секунды, то разстояніе этой

Рис. 308



Гелиометръ

звѣзды легко вычислить. Но было бы нецѣлесообразно давать это громадное разстояніе въ миляхъ,—это было бы еще менѣе разумно, чѣмъ выражать окружность земли въ миллиметрахъ. Даже разстояніе земли отъ солнца (20 000 000 миль) было бы неподходящей единицей мѣры, такъ какъ разстояніе указанной звѣзды заключаетъ въ себѣ около полумилліона такихъ единицъ. Вотъ почему обыкновенно таюя огромныя разстоянія выражаютъ, указывая, сколько нужно свѣту времени на ихъ

Рис. 309



Ф. В. Бессель.

пробѣгъ. Свѣтъ, пробѣгающій 40 000 миль въ секунду (§§ 282—288), доходить до насъ отъ луны въ $1\frac{1}{4}$ секунды, отъ солнца приблизительно въ 8 минутъ, отъ звѣзды 61 Лебеда—въ $8\frac{1}{2}$ лѣтъ.

Въ то самое время, когда Бессель наблюдалъ эту звѣзду въ созвѣздіи Лебеда, Гендерсонъ съ тою же цѣлью производилъ наблюденія на Мысь Доброй Надежды надъ великолѣпной звѣздой α въ созвѣздіи Центавра. Обнаружилось, что эта звѣзда—ближайшая изъ всѣхъ, разстоянія которыхъ удалось опредѣлить. Въ таблицѣ указаны важнѣйшія изъ неподвижныхъ звѣздъ, разстоянія которыхъ извѣстны.

Изъ этой таблицы легко видѣть, что нѣкоторыя изъ звѣздъ, разстоянія которыхъ опредѣлены, принадлежатъ къ самымъ яркимъ звѣздамъ небеснаго свода. Это согласуется съ предположеніемъ Герниеля о томъ, что самыя яркія звѣзды должны быть и ближайшими, т. е. что въ среднемъ звѣзды обладаютъ одинаковой яркостью. Это

	Величина	Параллаксъ	Разстояніе		Собственное движеніе	
			въ радиусахъ земной орбиты	въ свѣтовыхъ годахъ	Дуговыхъ секундъ въ годъ	Миль въ секунду
α Центавра	1	0·913"	225970	3·5	3·58	2·5
β1 Лебедя	5	0·374	550900	8·7	5·12	8·7
Сиріусъ	1	0·150	1375100	21·3	1·23	5·1
ε Б. Медвѣдцы	3	0·133	1550000	24·4	0·75	3·5
Арктуръ	1	0·127	1628000	25·5	2·25	11·0
Капелла	1	0·046	4484000	70·5	0·46	6·3

допущеніе, разумѣется, вѣрно не во всѣхъ случаяхъ, но все же въ общемъ оно справедливо. Если мы вычислимъ разстоянія слабыхъ звѣздъ въ предположеніи, что ихъ яркость обусловлена только разстояніемъ, то въ среднемъ разстоянія звѣздъ будутъ такovy:

звѣзды 1 величины	15 свѣтовыхъ годовъ
" 2 "	28 " "
" 3 "	43 " "
" 4 "	61 " "
" 5 "	85 " "
" 6 "	120 " "
" 10 "	700 " "

Согласно такому расчету, отдаленнѣйшія звѣзды Млечнаго Пути такъ далеки отъ насъ, что свѣтъ ихъ, видимый нами въ настоящее время, долженъ былъ выйти изъ нихъ 4000 лѣтъ тому назадъ. Но такая оцѣнка, конечно, не очень надежна, — и еслибъ мы примѣнили ее къ еще болѣе отдаленнымъ туманностямъ, то она была бы еще менѣе надежна.

331. В. Гершель измѣрилъ видимое движеніе большого числа звѣздъ, и эти работы, конечно, продолжаются и до настоящаго времени съ болѣе совершенными приборами. Когда удастся опредѣлить параллаксъ звѣзды, а слѣдовательно, и ея разстояніе отъ насъ, то легко вычислить и скорость ея движенія. Такъ, напримѣръ, звѣзда β1 Лебедя съ параллаксомъ въ 0·374" и съ годовымъ движеніемъ въ 5·12" пробѣгаетъ въ годъ около 274 000 000 миль или 8·7 мили въ секунду. При этомъ, конечно, предполагается, что звѣзда движется перпендикулярно къ лучу зрѣнія. Если же она сверхъ того приближается къ намъ или удаляется отъ насъ, то ея скорость разумѣется, еще больше.

Въ послѣднихъ двухъ столбцахъ приведенной выше таблицы показаны такія скорости нѣкоторыхъ другихъ звѣздъ. Мы видимъ, такимъ образомъ, что солнца — въ томъ числѣ и наше солнце (§ 322) — обладаютъ скоростью въ нѣсколько миль въ секунду, подобно землѣ (4 мили), другимъ планетамъ и кометамъ. Но вслѣдствіе огромной отдаленности эта скорость кажется незначительной, какъ кажется незначительной скорость курьерскаго поѣзда, если наблюдать его съ разстоянія нѣсколькихъ миль. Отдаленность же неподвижныхъ звѣздъ такъ велика, что лишь по прошествіи тысячелѣтій можно будетъ замѣтить измѣненія въ ихъ взаимномъ положеніи.

332. Сиріусъ свѣтитъ, какъ показали измѣренія, въ 5400 000 000 разъ слабѣе солнца. А такъ какъ Сиріусъ дальше солнца въ 1375 000 разъ, то его дѣйствительная яркость должна быть (ср. § 83) въ $\frac{1\ 375\ 000^2}{5\ 400\ 000\ 000} = 350$ разъ больше яркости солнца.

Если интенсивность свѣта Сиріуса такова же, какъ и солнца, то намъ пришлось бы допустить, что его поверхность въ 350 разъ больше, діаметръ почти въ 19 разъ больше, а объемъ въ 6000 разъ больше, чѣмъ у солнца. И тѣмъ не менѣе на этомъ громадномъ разстояніи Сиріусъ кажется намъ точкой, какъ и всякая другая неподвижная звѣзда. Еслибъ яркость Сиріуса была не больше яркости солнца, то онъ казался бы съ земли звѣздой шестой величины, видѣть которую могъ бы только зоркій глазъ при благоприятныхъ условіяхъ.

Можно съ извѣстной вѣроятностью допустить, что и другія солнца, не уступающія нашему по величинѣ, также окружены планетами. Если эти спутники таковы же, какъ земля и другія планеты, то едва ли можно надѣяться на то, что мы ихъ когда-либо увидимъ. Ибо, если само солнце представляется въ видѣ звѣзды шестой величины, то можно ли рассчитывать увидѣть, хотя бы и въ лучшій телескопъ, свѣтъ, посылаемый даже такой большой планетой, какъ Юпитеръ? Но нѣтъ ничего недопустимаго въ томъ, что во вселенной не все такъ происходитъ, какъ въ нашей солнечной системѣ; и какъ разъ Сиріусъ обнаружилъ чрезвычайно любопытныя особенности.

Опредѣливъ собственное движеніе Сиріуса и найдя, что Сиріусъ описываетъ криволинейный путь, Бессель сдѣлалъ отсюда выводъ, что Сиріусъ долженъ двигаться около другого несвѣтящагося тѣла. То же пришлось допустить и относительно Прокіона. Другіе астрономы продолжали эти наблюденія и пути этихъ звѣздъ были опредѣлены съ возможной точностью. Попытки увидѣть въ телескопъ спутника Сиріуса были вначалѣ безуспѣшны. Лишь въ 1860 году Кларкъ, разсматривая это мѣсто неба въ необыкновенно сильный телескопъ съ объективомъ въ 18½ дюймовъ въ діаметрѣ, нашелъ этого спутника, ничего не зная о предположеніяхъ Бесселя. Былъ также найденъ и спутникъ Прокіона, именно—въ 1873 г. О. Струве. Сиріусъ и его спутникъ совершаютъ путь одинъ около другого въ 50 лѣтъ, Прокіонъ и его спутникъ—въ 40 лѣтъ.

333. Со времянъ Гершеля мы все болѣе и болѣе знакомимся съ безпредѣльностью звѣзднаго неба и съ разнообразіемъ являющейся на немъ. Дальнѣйшія изслѣдованія этихъ отдаленныхъ солнечныхъ системъ, состоящихъ иногда не изъ одного солнца, а изъ двухъ, трехъ и болѣе,—а именно, изслѣдованія при помощи спектроскопа (ср. отдѣлъ О природѣ свѣта) показали, что и въ тѣхъ мірахъ, которые отстоятъ отъ насъ на билліоны миль, господствуютъ тѣ же законы природы, что и у насъ,—законы Кеплера и законы, относящіяся до природы свѣта. Но въ подробностяхъ эти законы зато проявляются иногда гораздо сложнѣе, чѣмъ въ нашей солнечной системѣ. Если, напримѣръ, какая-либо система состоитъ изъ трехъ солнцъ различной величины, различной температуры и съ различными атмосферами, различно вліяющими на свѣтъ, исходящій отъ этихъ солнцъ, то на планетѣ, принадлежащей къ этой системѣ, условія должны рѣзко отличаться отъ земныхъ. Стоитъ только подумать о восходѣ и заходѣ различныхъ солнцъ, о разнообразномъ освѣщеніи и о явленіи сумерекъ, раздѣленіи времени, вызываемомъ движеніемъ различныхъ солнцъ и т. п.

З в у к ъ

З в у к ъ

334. Природа подарила человѣчеству, еще въ его колыбели, звукомъ, которымъ оно стало пользоваться непосредственно и безъ всякихъ усилій. Человѣкъ обладаетъ не только органомъ для воспріятія звука, ухомъ, но и органомъ для воспроизведенія звука, голосомъ. Не думая о строеніи и физическомъ дѣйствіи этихъ органовъ, человѣкъ сталъ ими пользоваться въ силу своихъ духовныхъ способностей и, наоборотъ, пользованіе этими органами содѣйствовало развитію его духовной стороны.

Но и здѣсь уже очень рано обнаружилась присущая человѣку изобрѣтательность. Музыка не безъ основанія называютъ старѣйшимъ изъ всѣхъ искусствъ. Въ

Рис. 310



Игра на арфѣ и на флейтѣ у древнихъ египтянъ.

первой книгѣ Моисея 4, 21 сказано о томъ, что Ювалъ былъ „отецъ всѣхъ играющихъ на гусяхъ и свирѣли“, и во все то время, о которомъ только говорятъ исторія и легенды, у всѣхъ народовъ уже были музыкальные инструменты. Три главныхъ вида инструментовъ, которые употребляются въ настоящее время, были и тогда въ ходу, а именно: во-первыхъ, такіе инструменты, — какъ барабанъ, литавры, треугольникъ и колоколь, — которые издають только одинъ тонъ; во-вторыхъ, струнные инструменты, издающіе различные тоны, какъ цитра, арфа, скрипка, фортепіано и, въ-третьихъ, духовые инструменты. Всѣ эти три вида инструментовъ можно найти всюду на землѣ на изображеніяхъ, оставленныхъ древнѣйшими народами, а также и у народовъ на самомъ низкомъ культурномъ уровнѣ.

Существуетъ много легендъ о божественномъ происхожденіи музыки, что легко объясняется тѣмъ чарующимъ дѣйствіемъ, которое музыка оказываетъ на душу человѣка. Мы читаемъ о томъ вліянніи, какое оказывала на Саула игра Давида на арфѣ, и слышимъ о полудикомъ обитателѣ Африки, что онъ съ умиленіемъ склоняется надъ своимъ инструментомъ, извлекая изъ него слабые звуки.

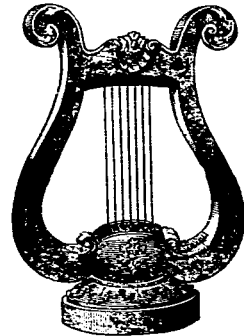
335. Человѣкъ очень рано узналъ изъ опыта, какъ изготовлять инструменты, какой длины должны быть струны и т. п. Эти правила почитались, какъ и многое другое въ древности, какъ божественное откровешіе. Числовыя соотношенія, связанныя съ высотой тоновъ, были впервые изслѣдованы Пифагоромъ (§ 24).

Рис. 311



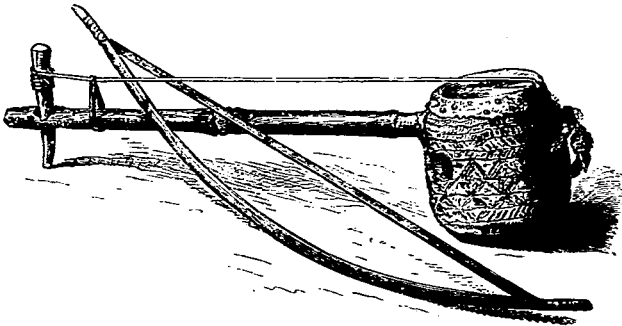
Еврейская лютя.

Рис. 312



Греческая лира.

Рис. 313



Африканская скрипка.

Какъ рассказываютъ, случайно обративъ вниманіе на то, что звонъ молотковъ въ кузницѣ давалъ музыкальную кварту, квинту и октаву, Пифагоръ нашель, что всѣ меньшихъ молотковъ составлялъ $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$ и $\frac{1}{2}$ вѣса большаго. Это побудило его натягивать струну различными грузами, а также струны разной длины — однимъ и тѣмъ же грузомъ, изслѣдуя при этомъ измѣнешія тона. Такъ какъ этотъ рассказъ написанъ спустя нѣсколько столѣтій, то онъ мало достовѣренъ, — но онъ представляетъ интересъ въ томъ отношеніи, что здѣсь идетъ рѣчь объ опытахъ, что у древнихъ грековъ было вообще совершенно неизвѣстно (ср. § 140). Пифагоръ нашель, что если

струна даетъ опредѣленный тонъ, то струна того же сорта и при томъ же натяженіи дастъ высшую кварту, квинту и октаву, если ея длина составляетъ $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$ и $\frac{1}{2}$ длины первой. Вообще, для того чтобы двѣ струны одинаковаго вѣса и при одинаковомъ натяженіи давали созвучіе—издавали пріятный для уха аккордъ,—ихъ длины должны находиться между собою въ простомъ отношеніи. Это находится въ полномъ соотвѣтствіи съ наблюденіемъ, слѣданнымъ Питоагоромъ, что красота и въ другихъ областяхъ, напримѣръ, въ строительномъ искусствѣ, обуславливается простыми числовыми отношеніями.—Питоагоръ, какъ полагаютъ, добавилъ къ семи струнамъ лиры восьмую (октаву).

Объ указанныхъ соотношеніяхъ упоминаетъ и Аристотель, прибавляя, что они также справедливы для тоновъ трубъ и ихъ длинъ. Ему также было извѣстно, что звуки вызываются колебаніями, исходящими изъ звучащаго тѣла и распространяющимися по воздуху до уха.

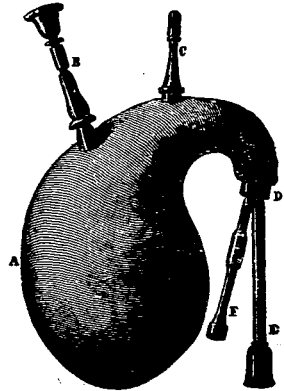
336. Болѣе подробно эти соотношенія были изслѣдованы французскимъ лезуитомъ Мерсенномъ (род. 1588, ум. 1648; §§ 171 и 240) въ сочиненіи, вышедшемъ въ 1636 году. Онъ нашелъ, что высота тона зависитъ исключительно отъ числа колебаній, и установилъ законъ для колебаній струнъ, заключающійся въ томъ, что число колебаній обратно пропорціонально длинѣ струны и квадратному корню изъ ея удѣльнаго вѣса и, наоборотъ, прямо пропорціонально квадратному корню изъ натягивающаго груза. Можно, напримѣръ, увеличить число колебаній струны вдвое однимъ изъ слѣдующихъ трехъ способовъ: либо уменьшеніемъ вдвое ея длины, либо уменьшеніемъ четверо ея вѣса, либо увеличеніемъ въ четыре раза натягивающаго груза, оставляя при этомъ прочія условія безъ измѣненія.

Мерсеннъ нашелъ далѣе, что тотъ же законъ справедливъ и для трубъ, т. е. что числа колебаній тоновъ, ими производимыхъ, обратно пропорціональны длинамъ трубъ. Труба двойной длины производитъ тонъ съ половиннымъ числомъ колебаній. Тонъ открытой трубы имѣетъ вдвое больше колебаній, чѣмъ тонъ закрытой трубы такой же длины.

Гораздо обстоятельнѣе законы колебанія струнъ были изслѣдованы столѣтіемъ позже, когда цѣлый рядъ великихъ математиковъ XVIII столѣтія (Тэйлоръ, Иванъ и Даніилъ Бернулли, Даламберъ, Эйлеръ и Лагранжъ) обработали этотъ вопросъ чисто теоретически. Прежде всего Тэйлоръ далъ точную абсолютную формулу, помощью которой можно вычислить число колебаній струны, если извѣстны ея длина, вѣсъ и натяжеше¹⁾.

Брукъ Тэйлоръ род. въ 1685 г. вблизи Лондона, получилъ образованіе въ Кэмбриджѣ, 27 лѣтъ сталъ членомъ Королевскаго Общества, а два года спустя его

Рис. 314



Итальянская волынка.

¹⁾ Пусть длина струны будетъ l , вѣсъ единицы ея длины p , натягивающій грузъ P и ускореніе силы тяжести g (§ 149); тогда число колебаній струны будетъ

секретаремъ. Помимо работы, въ которой выведена упомянутая формула, онъ опубликовалъ большое число другихъ работъ какъ по чистой математикѣ (строка Тэйлора), такъ и изъ области математической физики. Онъ умеръ уже въ 1731 году.

337. Одновременно съ этимъ или даже нѣсколько раньше одному французу удалось точно опредѣлить число колебаній опытнымъ путемъ.

Жозефъ Совѣръ родился въ Лафлешѣ въ 1653 г. Онъ плохо слышалъ и даже въ 7-милѣтнемъ возрастѣ еще не умѣлъ говорить. Тѣмъ не менѣе онъ былъ однимъ изъ величайшихъ экспериментаторовъ своего времени въ области акустики.

Рис. 315



Мерсеннь.

низкихъ тоновъ, близкихъ одинъ къ другому, возникаютъ своеобразные толчки или биенія. Одно мгновеніе тонъ силенъ, а въ слѣдующее—слабъ, затѣмъ опять силенъ и опять слабъ и т. д., повторяясь въ опредѣленномъ тактѣ. Но объяснить это явленіе не умѣли.

Услышавъ объ этомъ, Совѣръ тотчасъ же понялъ, въ чемъ дѣло. Если, напримѣръ, одинъ тонъ совершаетъ 34 колебанія въ секунду, а другой 35 колебаній, то въ началѣ и въ концѣ секунды оба тона находятся въ одной и той же фазѣ колебанія, вслѣдствіе чего они усиливаютъ другъ друга; въ серединѣ же секунды они находятся въ противоположныхъ фазахъ и поэтому ослабляютъ другъ друга. Въ такомъ случаѣ тонъ испытываетъ одно усиленіе и одно ослабленіе въ теченіе каждой секунды. Если одинъ тонъ совершаетъ 34 колебанія, а другой 36 колебаній въ секунду, то эти тона взаимно усиливаютъ другъ друга въ началѣ, въ серединѣ и въ

$$n = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{P \cdot g}{p}}$$

Если, напримѣръ, стальная струна длиною въ 1 кв.м. натянута грузомъ въ 7.5 кг или 7500 г, то всѣхъ одного миллиметра струны равенъ 0.0075 (удѣльн. вѣсъ стали 7.5), а число ея колебаній будетъ

$$n = \frac{1}{1000} \sqrt{\frac{7500 \times 10000}{0.0075}} = 100.$$

Сначала Совѣръ посѣщалъ иезуитскую школу, которую въ свое время посѣщали также Мерсеннь и Декартъ. Онъ изучалъ сперва богословіе, а затѣмъ математику и физику. Средства къ существованію онъ добывалъ уроками. Совѣръ работалъ также и въ области инженерныхъ наукъ; своимъ трудамъ въ этой области онъ обязанъ избраніемъ въ члены Академіи въ 1696 г. На это избраніе онъ, такъ сказать, отвѣтилъ тѣмъ, что съ этого времени посвятилъ себя одной только вѣтви науки—той именно, которая, казалось бы, была для него менѣе всего доступна—ученію о звукѣ, которое онъ, несмотря на недостатокъ слуха, повдвинулъ впередъ, какъ никто другой. Умеръ онъ въ 1716 г.

338. Органные мастера нѣрѣдко наблюдали, что при одновременномъ звучаніи двухъ

концѣ секунды и ослабляютъ другъ друга въ промежуткахъ. Тогда получается два біенія въ секунду. Если разность чиселъ колебаній равна тремъ, то получится три біенія въ секунду и т. д. Конечно, нѣтъ необходимости быть музыкальнымъ, чтобы слышать эти біенія, и Совѣрь понялъ, что это явленіе можетъ служить удобнымъ и интереснымъ средствомъ для опредѣленія того, совпадаютъ ли вполнѣ два данные тона или нѣтъ.

Совѣрь воспользовался этимъ явленіемъ не только для опредѣленія разности чиселъ колебаній двухъ источниковъ звука, но и для полученія абсолютнаго числа ихъ колебаній. Напримѣръ, онъ нашель, что его двѣ органныя трубы длиною около 5 футовъ давали одно біеніе въ секунду. Точное измѣреніе обнаружило, что длины этихъ трубъ относились, какъ 100 къ 101. Если число колебаній болѣе длинной трубы обозначить черезъ x , то число колебаній болѣе короткой трубы будетъ $x + 1$, такъ какъ эти двѣ трубы давали одно біеніе въ секунду. Но такъ какъ числа колебаній обратно пропорціональны длинамъ трубъ, то имѣеть мѣсто пропорція

$$\frac{x+1}{x} = \frac{101}{100}.$$

Отсюда $x = 100$. Совѣрь предложилъ принять этотъ тонъ въ 100 колебаній въ секунду за нормальный тонъ. Однако, это предложеніе не было осуществлено. Для музыки неважно, имѣеть ли нормальный тонъ такое круглое число колебаній или нѣтъ. Даже въ настоящее время не всюду принять одинъ и тотъ же „камертонъ“. Въ однихъ странахъ для настраиванія музыкальныхъ инструментовъ за нормальный принимаютъ тонъ въ 435 колебаній, въ другихъ — въ 440 колебаній.

Французскій математикъ Лагранжъ при помощи біеній объяснилъ въ 1759 г. такъ называемыя тоны Тартини. Итальянскій музыкантъ Тартини за нѣсколько лѣтъ до смерти Совѣра обратилъ вниманіе на то, что при одновременномъ звучаніи двухъ довольно различныхъ тоновъ слышится также еще и третій, болѣе низкій тонъ. А именно, чѣмъ больше разность чиселъ колебаній двухъ тоновъ, дающихъ біенія, тѣмъ быстрѣ послѣднія слѣдуютъ другъ за другомъ. Если эта разность равна 10, то въ каждую секунду слышны 10 біеній, которыя производятъ впечатлѣніе рокочущаго шума. Если разность еще больше, то это рокотаніе переходитъ въ музыкальный тонъ. Если, напримѣръ, одинъ изъ тоновъ совершаетъ 400 колебаній въ секунду, а другой 600, то получается 200 біеній въ секунду, которыя чуткимъ ухомъ воспринимаются, какъ тонъ въ 200 колебаній.

Къ Совѣру мы еще вернемся ниже. Теперь мы должны разсмотрѣть нѣкоторыя другія свойства звука.

339. Нерѣдко приходится наблюдать, что ударъ, производимый на нѣкоторомъ разстояніи отъ насъ молотомъ, трамбовкой и т. д., воспринимается ухомъ нѣсколько позже, чѣмъ глазомъ, такъ что звукъ, очевидно, употребляетъ извѣстное время для того, чтобы пройти данное разстояніе. Это явленіе, конечно, было извѣстно древнимъ и о немъ упоминаетъ также и Аристотель. По его мнѣнію, низкіе тоны распространяются медленнѣе высокыхъ.

Ложность этого утвержденія была обнаружена Пьеромъ Гассенди (1592—1655). Въ отдаленномъ мѣстѣ производились выстрѣлы изъ пушки и изъ ружья и Гассенди измѣрять промежутокъ времени между появленіемъ свѣта и звука. Онъ нашель, что низкій звукъ пушечнаго выстрѣла и высокій звукъ ружейнаго дости-

гаютъ уха въ совершенно одинаковыя промежутки времени. Такимъ образомъ, Гассенди является первымъ, о которомъ извѣстно, что онъ дѣйствительно произвелъ измѣреніе скорости звука, хотя оно было и не вполне точно. Въ теченіе слѣдующаго вѣка скорость распространенія звука опредѣлялась и другими наблюдателями, но результаты различныхъ опытовъ значительно различались другъ отъ друга. Гассенди нашелъ 1473 парижскихъ футовъ, Мерсеннъ 1380, Accademia del Cimento 1077, Бойль 1126, Дом. Кассини, Гюйгенсъ, Пикарь и Рѣмеръ 1097, Флѣмстидъ и Галлей 1071. Различія въ числахъ отчасти обусловливаются, несомнѣнно, недостаточной точностью измѣреній, а отчасти, вѣроятно, и состояніемъ воздуха, что большинствомъ наблюдателей не принималось во вниманіе въ должной мѣрѣ.

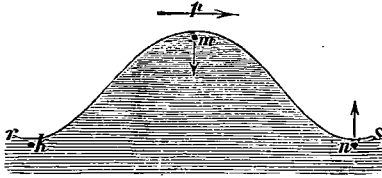
Важныя наблюденія надъ распространеніемъ звука были произведены Вильямомъ Дергэмомъ (1657—1735). Онъ былъ богословомъ, но очень интересовался также явленіями природы и былъ членомъ Королевскаго Общества. Онъ нашелъ, что звукъ быстрѣе распространяется по вѣтру, чѣмъ протівъ вѣтра, что Accademia del Cimento отрицала. Дергэмъ доказалъ, что звуки различной высоты распространяются съ одинаковой скоростью. Музыкальная пѣса доносится издали вполне вѣрно, безъ запаздыванія низкихъ тоновъ. Дергэмъ нашелъ, что звукъ пистолетнаго выстрѣла распространяется одинаково быстро впередъ, назадъ, вверхъ, внизъ и по горизонтальному направленію. Но относительно силы звука онъ нашелъ, что она, напротивъ, не всегда одна и та же: въ теплый лѣтній день она меньше, чѣмъ въ холодный зимній. Какъ это ни странно, но Дергэмъ не обратилъ вниманія на то, что эти обстоятельства оказываютъ вліяніе и на скорость распространенія звука. Первый, сдѣлавшій наблюденіе въ этомъ направленіи, былъ знаменитый итальянскій врачъ, графъ Біанкони (1717—1781). Пользуясь очень большими разстояніями, Біанкони нашелъ, что скорости распространенія звука выстрѣла лѣтомъ при 35° Ц. и зимою при -1.5° относятся между собою, какъ 76 къ 79. Кондаминъ (§ 278) нашелъ, что скорость звука на возвышенности Квито меньше, чѣмъ въ болѣе теплой Кайеннѣ. Наблюденія Бенценберга (§ 296) въ 1811 году окончательно установили, что въ теплому воздуху скорость звука больше, чѣмъ въ холодномъ.

340. На эти изслѣдованія, которыми кромѣ упомянутыхъ ученыхъ занималось также много другихъ, обратилъ вниманіе и Ньютонъ въ своихъ „Principia“ (§ 297). Для этого онъ рассматриваетъ въ своемъ сочиненіи распространеніе волны въ водѣ и въ воздухѣ.

Пусть gps (рис. 316) представляетъ поверхность воды, которая въ опредѣленный моментъ въ точкѣ p выше, чѣмъ въ точкѣ s ; въ такомъ случаѣ частица воды m будетъ опускаться внизъ, между тѣмъ какъ частица n будетъ подниматься. Ньютонъ рассматриваетъ затѣмъ движеніе воды въ изогнутой трубкѣ (рис. 317), имѣющей длину l , въ одномъ колѣнѣ которой вода въ опредѣленный моментъ на величину a выше спокойнаго уровня, а въ другомъ на столько же ниже его. Въ этомъ случаѣ вода должна придти въ движеніе и, достигнувъ съ опредѣленною скоростью положенія равновѣсія, въ силу инерціи она перейдетъ черезъ него и уйдетъ отъ него въ другую сторону на такую же величину, на какую сначала не доходила до него (если не принимать во вниманіе тресія). На мгновеніе дѣйствующей силой будетъ сила тяжести столба воды высотой въ $2a$. Но эта сила приводитъ въ движеніе всю массу воды l . Вслѣдствіе этого масса движется не съ ускореніемъ g , а съ ускоре-

ніемъ только $\frac{2a}{l} \cdot g$ или $\frac{2ag}{l}$. Если вообразить себѣ простой маятникъ, подвѣшенный на ниткѣ длиною въ $\frac{1}{2} l$, т. е. тѣло P , подвѣшенное на нити указанной длины и въ данный моментъ находящееся на разстояніи a отъ положенія равновѣсія, то это тѣло будетъ двигаться не съ полнымъ ускореніемъ силы тяжести, а лишь съ частью его,

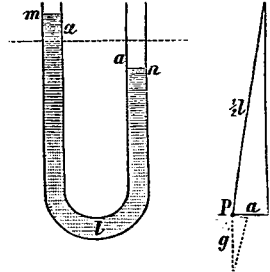
Рис. 316



Распространеніе волны.

равной $\frac{a}{\frac{1}{2} l}$ (треугольникъ, указанный пунктиромъ, подобенъ большому треугольнику). Такимъ образомъ, ускореніе равно $\frac{a}{\frac{1}{2} l} \cdot g = \frac{2ag}{l}$. На

Рис. 317



Движеніе воды въ изогнутой трубкѣ.

тѣло P , слѣдовательно, дѣйствуетъ та же ускорительная сила, что и на массу воды въ трубкѣ. Поэтому вода должна достигнуть положенія равновѣсія въ то же самое время, какъ и маятникъ. По прошествіи вдвое бѣльшаго времени вода въ лѣвомъ колѣнѣ будетъ занимать самое низкое положеніе, въ правомъ наивысшее, а маятникъ за то же время совершитъ полное качаніе слѣва направо.

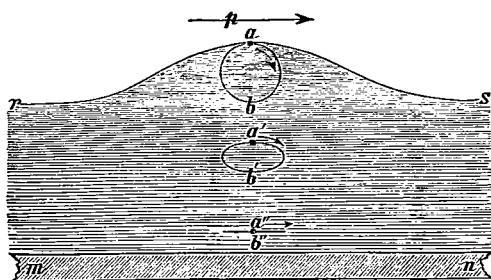
Пусть рис. 316 изображаетъ поверхность воды, по которой движеніе распространяется слѣва направо; въ такомъ случаѣ частица m опускается, а частица n поднимается, какъ въ трубкѣ, и явленіе должно совершаться въ существенномъ по тому же закону—съ тѣмъ только различіемъ, что столбъ воды между m и n , приводимый въ движеніе, не имѣетъ заранѣе опредѣленной формы, какъ въ трубкѣ. Теперь уже высоту столба воды будетъ высота точки m надъ n . Горизонтальное разстояніе этихъ точекъ представляетъ собою половину длины волны, такъ какъ подъ длиною волны разумѣютъ разстояніе между гребнями или между долинами двухъ сосѣднихъ волнъ. Когда частица m опустится внизъ, то частица k новой волной подымется къверху, и теперь уже k будетъ тянуть m вверхъ. Когда m подымется вверхъ, то поверхность воды снова будетъ въ томъ положеніи, съ какого мы начали наше разсужденіе. За это время волна успѣла подвинуться до n , а затѣмъ еще на такое же разстояніе, т. е. на цѣлую длину волны. Въ теченіе того же самаго времени маятникъ длиною въ $\frac{1}{2} l$ успѣваетъ совершить одно колебаніе вправо и одно влѣво. Маятникъ вчетверо длиннѣе, т. е. длиною въ $2l$, успѣлъ бы въ то же самое время совершить одно колебаніе слѣва направо. Отсюда мы заключаемъ, что волны на поверхности жидкости распространяются на цѣлую длину волны ($2l$) за то же время, въ теченіе котораго маятникъ такой же длины ($2l$) совершаетъ одно колебаніе.

Примѣръ. Если волны нѣкоторой опредѣленной системы въ 9 разъ длиннѣ волнъ другой системы, то первыя распространяются на длину волны во время, второе большее, чѣмъ послѣдшя, такъ какъ маятникъ, который въ 9 разъ длиннѣ, употребляетъ второе больше времени на одно колебаніе. А если первыя волны совершаютъ въ утроенное время путь, въ девять разъ большій, то онѣ должны двигаться второе быстрѣ послѣднихъ.

Впослѣдствіи оказалось, однако, что формула Ньютона нуждается въ исправленіи, а именно, должна быть принята во вниманіе и глубина жидкости. Но въ общемъ вопросъ былъ рѣшенъ правильно. Ньютонъ и въ данномъ случаѣ открылъ математикамъ слѣдующаго столѣтія область для дальнѣйшей разработки.

341. Если вникнуть въ то обстоятельство, что движеніе волнъ обуславливается движеніемъ водяного столба рис. 316, то мы поймемъ, что въ данномъ мѣстѣ однѣ частицы воды движутся вверхъ, въ другомъ мѣстѣ онѣ движутся вбокъ, въ третьемъ — внизъ. Физикъ Вильгельмъ Веберъ (II, § 242) изучалъ движеніе волнъ совместно со своимъ братомъ, физиологомъ Эрнстомъ Веберомъ (1795—1878). Они пользовались для своихъ изслѣдованій жолобомъ со стеклянными стѣнками, такъ что можно было сбоку наблюдать движеніе воды. Веберы пускали въ воду маленькія крупинки одинаковаго съ водою вѣса, на примѣръ, частицы торфа и наблюдали въ микроскопъ движеніе этихъ частицъ. Волны производили стеклянной трубкой, помощью которой наблюдатели могли въ одномъ концѣ жолоба вытягивать нѣкоторое количество воды вверхъ, а затѣмъ заставляли ее падать обратно внизъ. Оказалось,

Рис. 318



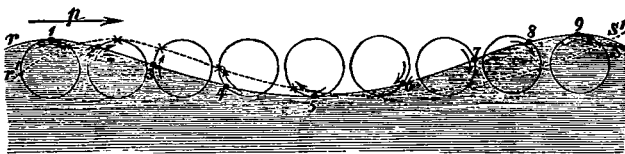
Движеніе частицъ воды въ жолобѣ Веберовъ.

что частички торфа, а слѣдовательно, и частицы воды описываютъ круговые пути во время прохожденія гребня и долины волны; причемъ движеніе частицъ направлено впередъ, когда онѣ находятся въ самой высокой точкѣ своего пути, т. е. когда онѣ находятся на вершинѣ гребня волны (а, рис. 318); движеніе это направлено назадъ, когда частицы находятся въ самомъ низкомъ мѣстѣ своего пути, т. е. на днѣ долины волны. Далѣе оказалось, что пути частицъ эллиптическіе. На самомъ веру пути были довольно близки къ круговымъ, нѣсколько ниже они были болѣе сплюснутые, а на днѣ они представляли прямыя линіи, по которымъ частицы воды двигались впередъ и назадъ. Изъ движенія отдѣльныхъ частицъ воды легко объяснить и все движеніе волны. На рис. 319 показаны круговые пути девяти водяныхъ частицъ, съ отмѣчен-

нымъ на нихъ положимъ частицъ въ опредѣленный моментъ. Волна подвигается слѣва направо и частица 1 занимаетъ во взятый моментъ наивысшую точку своего пути, частица 2 отстоитъ на $\frac{1}{8}$ отъ этого положенія, частица 3—на $\frac{1}{4}$ и т. д. Волна имѣетъ въ этотъ моментъ форму 1, 2, 3 . . . 9. Но спустя короткое время ($\frac{1}{8}$ времени колебанія) частица 2 займетъ положеніе частицы 1, 3—положеніе частицы 2 и т. д., т. е. вся волна подвинется нѣсколько впередъ (въ положеніе, указанное пунктирной линіей).

Если вѣтеръ дуетъ въ томъ же направленіи, въ которомъ движутся волны, то онъ дѣйствуетъ на нихъ, какъ нетрудно видѣть, усиливающимъ образомъ, такъ какъ

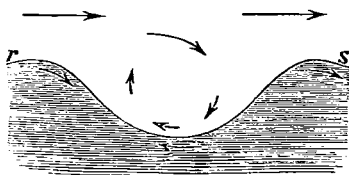
Рис. 319



Движеніе отдѣльныхъ частицъ воды въ волнѣ

онъ ускоряетъ движеніе частицъ, находящихся на гребняхъ волнъ (рис. 320). Напротивъ, въ долинахъ волнъ вѣтеръ вляетъ въ томъ же направленіи, но не такъ сильно. И даже въ такой долині можетъ возникнуть небольшой вихрь, имѣющій на днѣ впадины направленіе прямо противоположное направленію вѣтра, т. е. то направ-

Рис. 320



Дѣйствіе вѣтра на волны.

вленіе, въ которомъ движутся частицы воды въ этомъ мѣстѣ. Вслѣдствіе того, что вѣтеръ, такимъ образомъ, усиливаетъ движеніе частицъ воды, когда онѣ находятся въ наивысшей точкѣ своего пути, и такъ какъ, съ другой стороны, онъ, во всякомъ случаѣ, не замедляетъ ихъ и тогда, когда онѣ занимаютъ самое низкое положеніе, а, можетъ быть, даже и здѣсь ускоряетъ еще ихъ движеніе, то въ результатъ подѣйствіемъ вѣтра получается постепенное увеличеніе волнъ.

Возникающія вначалѣ маленькія волны вѣтеръ приводитъ въ движеніе благодаря прилипанію воздуха къ поверхности воды. То же имѣетъ мѣсто и на поверхности отдѣльныхъ большихъ волнъ, вслѣдствіе чего поверхность ихъ въ вѣтреную погоду не гладка, а покрыта рябью. Эти маленькія волны представляютъ множество точекъ для напора вѣтра. Движеніе гребней отъ этого ускоряется по сравненію съ движеніемъ долинъ, что можетъ привести въ концѣ концовъ къ тому, что волна „разобьется“ (опрокидывающіеся гребни) и обрушится въ свою долину.

Это не будетъ имѣть мѣста въ томъ случаѣ, когда на поверхности воды находится тонкій слой масла. Одна капля масла можетъ покрыть большую поверхность воды. Масло уменьшаетъ прилипаніе между воздухомъ и водой и мѣшаетъ образовацію

ряби на поверхности волнъ, такъ что у вѣтра уже нѣтъ точекъ опоры для давленія на поверхность волны и его дѣйствіе не достигаетъ такой силы, чтобы могло разбивать волны. Вотъ почему съ корабля, идущаго въ бурную погоду по вѣтру, нерѣдко выливаютъ на воду немного масла. Тогда море позади корабля, откуда приходятъ волны, остается гладкимъ и этимъ уменьшается вѣроятность того, что волна настигнетъ судно и что ея гребень опрокинется и обрушится на палубу.

342. Иначе обстоитъ дѣло съ волнами, которыя можно всюду наблюдать, когда онѣ набѣгаютъ на морской берегъ.

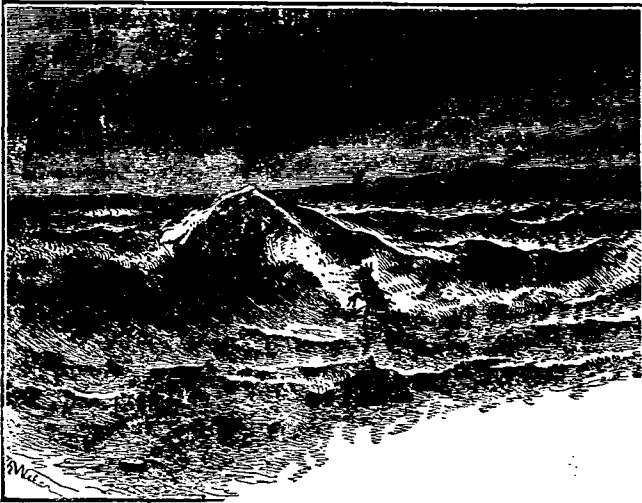
Англійскій астрономъ Джорджъ Эри (1801—1892), выполнившій много прекрасныхъ работъ на обсерваторіяхъ въ Кэмбриджъ и Гриничѣ, изучилъ движеніе волнъ математически и показалъ, что законъ Ньютона для поступательнаго движенія волнъ справедливъ лишь тогда, когда глубина воды въ сравненіи съ длиною волны очень велика. Въ этомъ случаѣ движеніе частицъ воды совершается по кругамъ на любой глубинѣ, но размѣры окружностей съ глубиной быстро уменьшаются, такъ что на разстояніи одной длины волны отъ поверхности діаметръ окружности составляетъ $\frac{1}{535}$ часть діаметра у поверхности.

Далѣе Эри показалъ, что наблюденные Веберомъ пути частицъ имѣютъ мѣсто, когда глубина воды незначительна въ сравненіи съ длиною волны. Поступательная скорость волны въ этомъ случаѣ пропорціональна квадратному корню изъ глубины. А такъ какъ глубина воды подъ гребнемъ волны значительно больше, чѣмъ подъ долиной, то гребень долженъ двигаться быстрѣе, чѣмъ долина; слѣдствіемъ этого является то, что волна разбивается въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ глубина невелика и гдѣ, слѣдовательно, разниця между глубиною подъ гребнемъ и подъ долиной имѣетъ большее значеніе. То же самое относится и къ волнамъ прилива и отлива, которыя весьма велики даже въ сравненіи съ глубиною океана, а особенно въ сравненіи съ относительно неглубокимъ Сѣвернымъ моремъ. Поэтому промежутокъ времени между отливомъ и слѣдующимъ за нимъ приливомъ короче, чѣмъ между приливомъ и послѣдующимъ отливомъ. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ, гдѣ приливъ набѣгаетъ на обширное мелкое мѣсто, онъ можетъ даже такъ быстро слѣдовать за отливомъ, что волна прилива опрокидывается въ долину волны отлива. Если къ тому же приливъ усиливается тѣмъ, что попадаетъ въ суживающееся клиномъ устье рѣкъ, то явленіе прилива можетъ производить страшныя дѣйствія (рис. 321).

343. Въ воздушной волнѣ, идущей горизонтально, отдѣльныя частицы движутся не вверхъ и внизъ, а впередъ и назадъ, подобно частицамъ воды на днѣ жолоба Веберовъ. Вслѣдствіе этого въ воздухѣ возникаютъ сгущенія и разрѣженія, какъ это показано на рис. 322. Пусть каждая малая часть линіи ab изображаетъ путь частицы воздуха, а стрѣлка p пусть указываетъ направленіе движенія волны. Въ опредѣленный моментъ частица 1 находится въ серединѣ своего пути и движется въ направленіи, указанномъ маленькой стрѣлкой. Частица 2 по отношенію къ первой частицѣ нѣсколько отстаетъ. Частица 3 отстаетъ еще больше. Она занимаетъ крайнее лѣвое положеніе своего пути. Частица 4 еще не достигла своей крайней лѣвой точки, ѣ находится въ серединѣ своего пути, но движется влѣво и т. д. Такимъ образомъ частицы воздуха находятъ ближе всего другъ къ другу въ мѣстахъ 1, 9, 17 . . . слѣдовательно, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ отдѣльныя частицы движутся въ томъ же направленіи, какъ и вся волна. Наиболѣе удалены частицы другъ отъ друга въ мѣ-

стахъ 5, 13 . . . , т. е. тамъ, гдѣ направленіе ихъ движенія противоположно движенію волны. На линіи cd частицы воздуха занимаютъ тѣ положенія, въ которыхъ онѣ находятся спустя $\frac{1}{4}$ времени колебанія. Теперь частицы расположены гуще всего у 3, 11 . . . и наиболѣе удалены другъ отъ друга у 7, 15 . . . Волна подвинулась на $\frac{1}{4}$ длины волны и т. д.

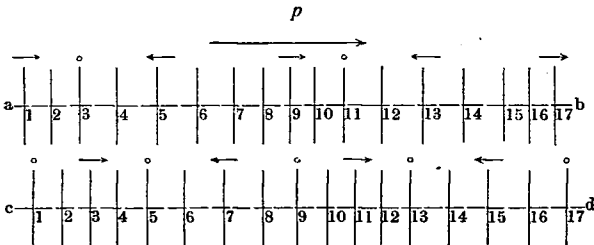
Рис. 321



Приливноя волна на р. Амазонкѣ.

344. Скорость, съ которой распространяется это движеніе, есть скорость звука, величина которой, какъ было найдено путемъ наблюдений, равна 1100 футамъ или 330 метрамъ въ секунду (§ 339). Ньютонъ показаль, что скорость звука можно опредѣлить

Рис. 322



Распространеніе воздушныхъ волнъ.

также теоретическимъ путемъ, даже при распространении звука въ любомъ тѣлѣ. Если представить себѣ столбъ изъ даннаго вещества высотой въ 1 м, то вслѣдствіе собственнаго вѣса онъ долженъ быть нѣсколько сжатъ, причемъ степень сжатія будетъ зависѣть отъ взятаго вещества. Зная величину этого сжатія, составляющую незначи-

тельную долю метра, можно вычислить скорость звука въ этомъ тѣлѣ. Ньютонъ показалъ, что скорость звука въ каждомъ тѣлѣ выражается формулой $\sqrt{\frac{g}{e}}$, если черезъ e обозначить величину указанного сжатія.

Нѣтъ ничего удивительнаго въ томъ, что скорость звука опредѣляется столь простой и общей формулой. Дальнѣйшіе выводы изъ этой формулы не могутъ быть здѣсь приведены. Но легко убѣдиться въ томъ, что двумя величинами, входящими въ нее, охвачены всѣ условія, отъ которыхъ зависитъ скорость звука. Нужно думать, что сжатіе распространяется въ тѣлѣ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ больше сопротивление, которое оно оказываетъ сжатію, и чѣмъ тѣло легче. Скорость звука, слѣдовательно, должна быть тѣмъ больше, чѣмъ меньше сжатіе e , испытываемое тѣломъ вслѣдствіе своего собственнаго вѣса. — Сжатіе это, очевидно, тѣмъ больше, чѣмъ больше притягательная сила земли. Съ другой стороны, скорость звука должна зависетьъ исключительно отъ вещества тѣла. На лунѣ, напримѣръ, она должна быть такой же, какъ и на землѣ. Но на лунѣ сжатіе, обусловленное собственнымъ вѣсомъ, равняется только $\frac{1}{6} e$. А такъ какъ сила тяжести тамъ равна только $\frac{1}{6} g$, то отношеніе, которое опредѣляетъ собой скорость звука, остается безъ измѣненія. Формула даетъ скорость звука въ секунду, такъ какъ g представляетъ скорость падающаго тѣла въ секунду.

Если нужно вычислить скорость звука въ воздухѣ, то предварительно нужно получить величину e . Представимъ себѣ 1 кубсм воздуха при обыкновенномъ давленіи, т. е. подъ давленіемъ, равнымъ давленію столба ртути высотой въ 0.760 м. Вѣсъ столба воздуха равенъ $\frac{1}{10500}$ или 0.000095 вѣса одного кубсм ртути (§ 263). Воздухъ,

слѣдовательно, сжать въ отношеніи $\frac{760000}{760095} = 0.999875$. Столбъ воздуха въ 1 м вы-

сотой, слѣдовательно, сжимается приблизительно на 0.000125 или на $\frac{1}{8000}$. Это и есть величина e . Такъ какъ g равно приблизительно 10 м, то g/e равно 80000. Квадратный корень изъ этого числа равенъ 283. Скорость звука въ воздухѣ, полученная изъ формулы, равна, слѣдовательно 283 м (приблизительно 900 ф.). Это число равно приблизительно $\frac{3}{5}$ величины, найденной путемъ наблюденія. Долго ломали себѣ голову надъ причиною погрѣшности, такъ какъ математическое обоснованіе формулы было по всей видимости неоспоримо. Ньютонъ самъ сдѣлалъ предположеніе, что атомы воздуха занимаютъ приблизительно $\frac{1}{6}$ пространства и что звуку не требуется времени, чтобы проходить въ нихъ. По этому допущенію звукъ долженъ пробѣгать въ секунду 900 ф. между атомами, а 200 ф. въ самихъ атомахъ—всего, слѣдовательно, 1100 ф. Старанія многихъ математиковъ XVIII столѣтія разъяснить дѣло не имѣли успѣха. Истинная причина явленія была указана только въ 1816 г. Лапласомъ.

345. Пьеръ Симонъ Лапласъ, родившійся въ 1749 году, началъ свою карьеру математикомъ и въ качествѣ таковаго прибылъ въ Парижъ, гдѣ сталъ членомъ Академіи наукъ. При Наполеонѣ онъ сдѣлался министромъ и канцлеромъ, имъ же онъ былъ возведенъ въ графское достоинство. При Людовикѣ XVIII Лапласъ былъ сдѣланъ перомъ и маркизомъ. Онъ умеръ въ 1827 г. въ Парижѣ.

Лапласъ расширилъ и продолжилъ во многихъ отношеніяхъ начатія Ньюто-

номъ теоретическія работы, въ томъ числѣ математическое опредѣленіе скорости звука. Когда воздухъ сжимается, онъ нагрѣвается (II, § 172), а при расширеніи онъ охлаждается. Лапласъ указываетъ, что вслѣдствіе этого сгущенная часть воздушной волны теплѣе, а разрѣженная холоднѣе, чѣмъ воздухъ, находящійся въ покоѣ. Отъ этого средняя температура воздуха не повышается, но онъ пріобрѣтаетъ большую упругость. Нагрѣваніе сгущенной части волны повышаетъ въ ней давленіе, а охлажденіе разрѣженной части волны понижаетъ давленіе по сравненію съ нормальнымъ. Распространеніе давленія вслѣдствіе этого ускоряется. Упругость воздуха возрастаетъ, но средняя плотность его остается прежней. Когда Лапласъ при вычисленіи принялъ во вниманіе это обстоятельство, онъ нашелъ для скорости звука величину, которая вполнѣ совпадала съ показаніями опыта.

При 0° эта скорость равна 1059 футамъ и она увеличивается приблизительно на 2 фута (0.6 м) при повышеніи температуры на 1 градусъ. То обстоятельство, что прежнія измѣренія скорости звука плохо согласовались между собой, объясняется отчасти тѣмъ, что при нихъ не было принято во вниманіе вліяніе температуры.

346. Формула Ньютона имѣетъ то большое преимущество, что благодаря ей можно опредѣлить скорость звука въ любомъ тѣлѣ, если только извѣстны его сжимаемость и удѣльный вѣсъ, если, слѣдовательно, извѣстно, насколько сжимается самъ по себѣ столбъ воздуха въ 1 м высотой.

Такъ какъ всѣ газообразныя тѣла сжимаются одинаково (законъ Бойля, § 259), то сжатіе, испытываемое столбомъ газа вслѣдствіе собственного вѣса, должно быть пропорціонально его удѣльному вѣсу. Если этотъ удѣльный вѣсъ невеликъ, то невелико и сжатіе, а скорость звука, слѣдовательно, велика. Водородъ приблизительно въ 15 разъ легче воздуха. Вслѣдствіе этого въ формулѣ скорости звука знаменатель въ 15 разъ меньше и подкоренное количество въ 15 разъ больше, чѣмъ для воздуха. Корень, а слѣдовательно, и скорость звука въ водородѣ, такимъ образомъ, приблизительно въ 4 раза больше, чѣмъ въ воздухѣ. Точнѣе, она равна 4044 фут. при 0° (1266 м). Въ угольной кислотѣ, которая тяжелѣе воздуха, скорость звука равна 833 футамъ (261 м).

347. Сжимаемость многихъ жидкостей и твердыхъ тѣлъ также была измѣрена, что сдѣлало возможнымъ опредѣленіе скорости звука въ нихъ. Результаты этихъ вычисленій были подтверждены наблюденіемъ для различныхъ веществъ, которыя допускаютъ прямое измѣреніе скорости звука.

Тщательное измѣреніе скорости звука въ водѣ было сдѣлано въ 1827 г. Колладономъ и Штурмомъ на Женевскомъ озерѣ. Каждый изъ этихъ двухъ наблюдателей при производствѣ опыта находился въ лодкѣ. Съ одной лодки спускался въ воду колоколь, по которому можно было ударять молоткомъ. Ломанный рычагъ, образующій рукоятку молотка, при своемъ движеніи опускалъ горящій фитиль въ небольшую кучку пороха. Такимъ образомъ посылался одновременно свѣтовой сигналъ въ воздухѣ и звуковой сигналъ въ водѣ (рис. 323 и 324). Лодки находились на разстояніи нѣсколькихъ миль другъ отъ друга, и наблюдатель во второй лодкѣ отмѣчалъ при помощи погруженной въ воду слуховой трубы и секундныхъ часовъ промежутокъ времени между воспріятіемъ луча свѣта и воспріятіемъ звука. Такъ какъ время, необходимое свѣту для прохожденія столь короткаго разстоянія, неизмѣримо мало, то наблюденный промежутокъ времени есть именно тотъ, въ теченіе

котораго звукъ пробѣгаетъ это разстояіе. Скорость звука въ водѣ, полученная изъ этого опыта, равна 4572 ф. (1435 м). Эта величина очень мало отличается отъ числа (1453 м), полученнаго путемъ вычисленія изъ сжимаемости воды ($e = 0.00000465$).

Въ морской водѣ скорость звука нѣсколько больше, приблизительно 4700 ф. (1475 м) и нѣсколько отличается отъ этого числа въ зависимости отъ содержанія соли и отъ температуры.

На берегу моря можно иногда слышать выстрѣлъ, произведенный въ отдаленномъ мѣстѣ или на кораблѣ, дважды. Первый звукъ распространился по водѣ, а второй по воздуху.

Рис. 323



Измѣреніе скорости звука въ водѣ, произве-

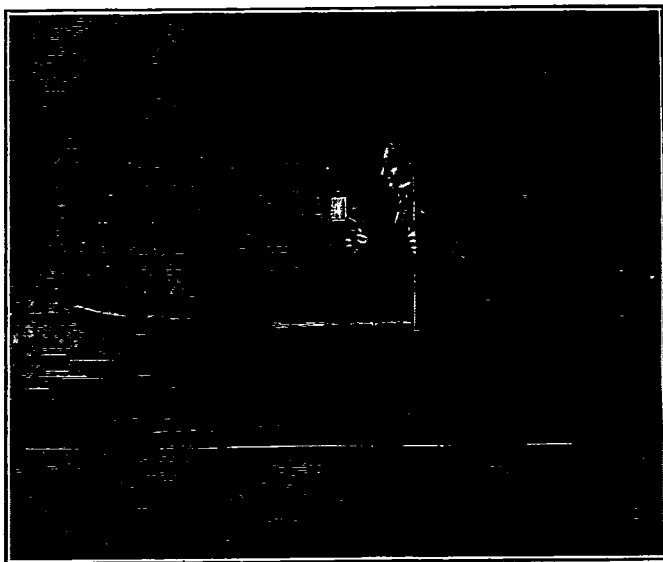
348. Французскій физикъ Жанъ Батистъ Біо (1774—1862) услышалъ подобный же двойной звукъ у конца желѣзной трубы длиною въ 951 м., когда у другого конца производился ударъ молоткомъ. Звукъ, доходящій первымъ, распространяется, очевидно, по желѣзу, а второй по воздуху въ трубѣ. Біо опредѣлили, насколько возможно точно, промежутокъ времени между первымъ и вторымъ звуками и вычислили скорость звука въ желѣзѣ. Онъ нашель, что она равна 3460 м, т. е. въ 10 разъ больше скорости звука въ воздухѣ. Позднѣйшія измѣренія по телеграфной проволоцѣ длиною свыше $\frac{1}{2}$ мили дали приблизительно такое же, но нѣсколько большее число.

Такъ какъ и удѣльный вѣсъ и сжимаемость тѣлъ завясятъ отъ способа ихъ обработки (вытягиваніе, сплющиваніе, литье, накаливаніе, закалка), то скорость звука въ тѣлахъ завяситъ и отъ этого. Средняя скорость звука въ оловѣ составляетъ

2500 м, въ серебрѣ 2760 м, въ мѣди 3760 м, въ стали 5000 м, въ сосновомъ деревѣ 5800 м. Сосновое бревно въ 20 м. длиной пробѣгается звукомъ приблизительно въ $\frac{1}{300}$ секунды.

349. Если произвести колебаніе въ какой-нибудь точкѣ спокойной поверхности воды, напримѣръ, бросивъ въ воду камень, то это сотрясеніе передается по всѣмъ направленіямъ съ одинаковой скоростью; возникаютъ извѣстныя круговыя волны, выходящія изъ даннаго мѣста и становящіяся все слабѣе по мѣрѣ удаленія отъ него. Такимъ же образомъ нарушеніе покоя въ какомъ-нибудь мѣстѣ въ воздухѣ, путемъ произведенія взрыва, распространится равномерно по всѣмъ направленіямъ. Изъ этого

Рис. 324



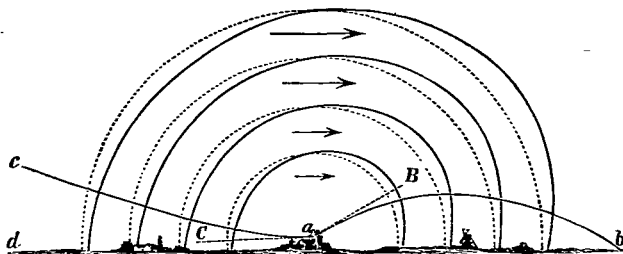
денное Колладономъ и Штурмомъ.

мѣста будутъ выходить сферическія волны, которыя по мѣрѣ удаленія отъ исходной точки ослабѣваютъ. Направленіе распространенія повсюду перпендикулярно къ поверхности волны. Легко видѣть, что это такъ и должно быть, такъ какъ различныя части поверхности сферической волны имѣютъ одну и ту же плотность и нѣтъ, слѣдовательно, основанийъ къ тому, чтобы движеніе одной такой части передавалось другой части той же самой сферы. Если, однако, благодаря какому-нибудь обстоятельству, форма поверхности волны измѣняется, то измѣняется также направленіе распространенія. Это можетъ производить иногда совершенно неожиданныя явленія. Такъ иногда звуки слышались на удивительно большое разстояніе, съ другой же стороны случалось, что выстрѣлы изъ орудій не были слышны на сравнительно небольшомъ разстояніи.

Извѣстно, что въ направленіи, по которому дуетъ вѣтеръ, звуки слышатся

лучше, чѣмъ въ противоположномъ. При этомъ обыкновенно удовлетворяются объясненіемъ, что въ направленіи вѣтра къ скорости звука прибавляется скорость вѣтра. Что это объясненіе недостаточно, легко видѣть, если припомнить, что движеніе воздуха со скоростью 10 м въ секунду ощущается, какъ довольно сильный вѣтеръ, но распространяется ли звукъ вмѣсто 330 м со скоростью въ 340 или 320 м, смотря по тому, движется ли онъ по вѣтру или противъ него,—это не можетъ, очевидно, имѣть значительнаго вліянія на силу звука. Англійскій физикъ Джонъ Тиндалль (род. въ 1820 г., ум. въ 1893 г.) объяснилъ это явленіе слѣдующимъ образомъ. Скорость вѣтра на высотѣ почти всегда больше, чѣмъ непосредственно у поверхности земли (рис. 325). Вслѣдствіе этого поверхности волнъ, которая въ спокойномъ воздухѣ должны быть

Рис. 325



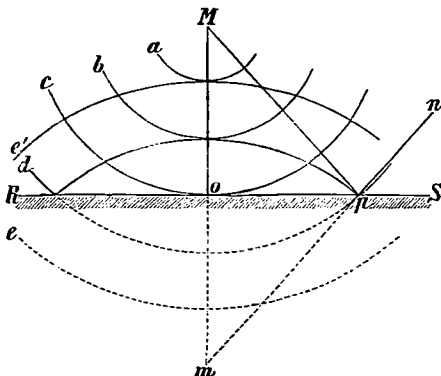
Распространеніе звука по вѣтру и противъ вѣтра.

сферическими (пунктирныя линіи), измѣняютъ свои формы, распространяясь вверху въ направленіи вѣтра (направленіе стрѣлки) быстрѣе, чѣмъ у поверхности земли. Поэтому онѣ принимаютъ формы, обозначенныя сплошными линіями. А такъ какъ распространеніе звука въ каждой точкѣ происходитъ перпендикулярно къ поверхности волны, то звукъ, исходящій изъ точки *a* въ направленіи *aC*, не достигнетъ наблюдателя, находящагося въ точкѣ *d*, но пройдетъ надъ нимъ въ направленіи *ac* и наблюдатель въ точкѣ *d* не услышитъ звука. Напротивъ того, звукъ, выходящій по направленію *aB*, распространяется по линіи *ab*, которая повсюду перпендикулярна къ поверхности волны. Звукъ, слѣдовательно, будетъ слышанъ наблюдателемъ въ точкѣ *b*, и всѣ звуки, исходящіе изъ *a* по направленіямъ ниже *aB*, будутъ отклонены подобнымъ же образомъ и достигнутъ земной поверхности въ различныхъ точкахъ между *a* и *b*. Эта часть земной поверхности получить, слѣдовательно, больше звуковъ, чѣмъ собственно слѣдовало бы, а именно, всѣ звуки, которые при безвѣтренной погодѣ распространились бы по всему пространству подъ *aB*.

350. Если волны какого либо рода,—звуковыя ли волны или водяныя,—достигаютъ границы какой-нибудь среды, болѣе плотной, чѣмъ та, въ которой онѣ распространялись до этого, то онѣ отражаются, такъ какъ доходящее до этой границы сгущеніе должно сгладиться, а это можетъ произойти только въ томъ случаѣ, если колеблющіяся частицы воздуха или воды отразятся отъ границы среды. Каждая часть волны, конечно, отражается, достигнувъ стѣны, и такъ какъ направленіе распространенія звука перпендикулярно къ поверхности волны, то отсюда можно найти направленіе, въ которомъ волна отразится отъ стѣны.

Пусть M (рис. 326) будетъ точка, изъ которой исходятъ волны a, b, c, d , а RS отвѣсная стѣна. Волна d , которая должна была бы распространиться по пунктирной линіи d , отражается отъ стѣны и идетъ по сплошной линіи d . Подобнымъ же образомъ волна e возвращается по e' . Отраженныя отъ стѣны волны симметричны съ тѣми волнами, которыя образовались бы при дальнѣйшемъ распространеніи волнообразнаго движенія. Онѣ состоятъ, слѣдовательно, изъ круговъ съ центромъ m , который симметриченъ M , т. е. находится на продолженіи перпендикуляра Mo , на такомъ же разстояніи позади стѣны, на какомъ M находится впереди ея. Отраженныя волны возвращаются отъ стѣны такъ, какъ еслибы онѣ исходили изъ m . Линія trp образуетъ, слѣдовательно, съ RS такой же уголъ, какъ и Mr . Такимъ образомъ, такъ же, какъ и при отраженіи свѣта отъ зеркаль (§ 85), уголъ паденія равенъ углу отраженія.

Рис. 326

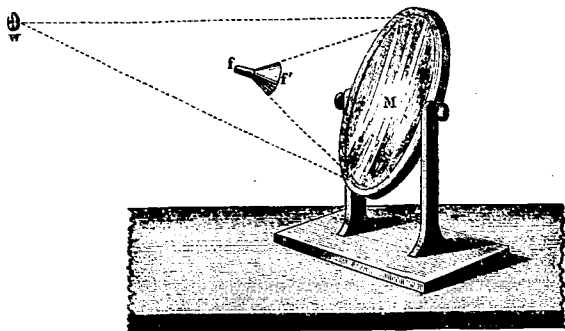


Отраженіе звука отъ плоской стѣны.

Вслѣдствіе этого звукъ отражается отъ стѣны различной формы такимъ же образомъ, какъ свѣтъ отъ зеркаль, устроенныхъ соответственнымъ образомъ. Вогнутое зеркало M (рис. 327) можетъ, напримѣръ, отразить въ слуховую воронку f тиканіе часовъ, находящихся въ W , какъ это видно на рисункѣ.

351. Подъ открытымъ небомъ звуковыя волны часто отражаются стѣнами, скалами, опушками лѣсовъ. Смотря по тому, какъ построена стѣна, слышится болѣе или

Рис. 327



Отраженіе звука отъ вогнутаго зеркала.

менѣе ясное эхо. Какой промежутокъ времени проходитъ отъ возникновенія звука до воспріятія эхо, зависитъ, конечно, отъ разстояніи отражающей стѣны. Если это разстояніе невелико, то чтобы эхо было слышно отдѣльно и чтобы послѣдняя

часть звука не сливалась съ первой частью эхо, звукъ долженъ быть короткимъ. Даже облака могутъ вызывать эхо, что несомнѣнно способствуетъ образованію „раскатовъ“ грома.

Въ нѣкоторыхъ помѣщеніяхъ съ изогнутыми стѣнами шумъ, производимый въ одномъ мѣстѣ помѣщенія, можно ясно слышать въ другомъ опредѣленномъ мѣстѣ его. Это явленіе объясняется также отраженіемъ звука. Стѣны дѣйствуютъ въ такомъ случаѣ, какъ вогнутое зеркало дѣйствуетъ на лучи свѣта, а именно такъ, что звуковыя волны концентрируются въ одномъ мѣстѣ и здѣсь взаимно усиливаются.

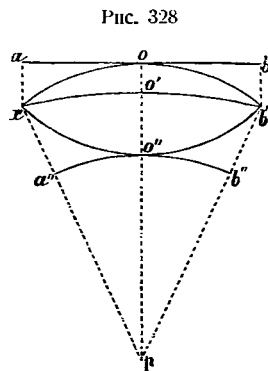
Въ большихъ помѣщеніяхъ, церквахъ или залахъ, стѣны, потолки, своды и колонны представляютъ гладкія поверхности, расположенныя въ самыхъ различныхъ направленіяхъ; звуки, отражаясь отъ каждой изъ этихъ поверхностей, доходятъ до уха черезъ различные промежутки времени, вслѣдствіе чего получается впечатлѣніе болѣе продолжительнаго гула. Связная рѣчь становится непонятной, потому что уха одновременно достигаютъ части различныхъ словъ. Этотъ отзвукъ обуславливаетъ плохую „акустику“ такихъ помѣщеній для произнесенія рѣчей. Но при торжественной музыкѣ это совпаденіе звуковъ не мѣшаетъ сколько-нибудь замѣтнымъ образомъ.

352. Когда звуковая волна переходитъ изъ одной среды въ другую, ея форма мѣняется. Пусть $a'o'b''$ (рис. 328) представляетъ собою чечевицеобразный пузырь изъ коллодія, наполненный угольной кислотой. Если на эту чечевицу падаетъ звуковая волна ab , то середина ея проходитъ разстояніе отъ o до o' въ то время, какъ края перемѣщаются отъ a до a' и отъ b до b' , такъ какъ въ угольной кислотѣ волна распространяется медленнѣе, чѣмъ въ атмосферномъ воздухѣ (§ 346). Въ то время какъ въ угольной кислотѣ волна пройдетъ разстояніе отъ o' до o'' , въ воздухѣ она распространится отъ a' до a'' и отъ b' до b'' . Прямолінейная волна ab , такимъ образомъ, превращается въ криволинейную $a''o''b''$, которая, иля дальше, сосредоточивается въ точкѣ p , гдѣ поэтому дѣйствіе волны сильнѣе всего.

Отраженіе и преломленіе звука происходятъ, какъ мы видимъ, по тѣмъ же законамъ, какъ и отраженіе и преломленіе свѣта (ср. §§ 75, 85, 94).

353. Какъ волны, поднимающіяся на водѣ, такъ и волны сгущенія въ воздухѣ обуславливаются тѣмъ, что частички воды или воздуха передаютъ сосѣднимъ частицамъ нѣкоторое давленіе или движеніе. Легко видѣть, чтó произойдетъ, если нѣсколько волнъ одновременно произведутъ давленіе на частицу или сообщать ей движеніе.

Стевинъ показалъ (§ 175), какъ складываются двѣ силы (давленія), дѣйствующія на одну и ту же частицу, а Галилей выяснилъ (§ 147), каково будетъ движеніе частицы, если сообщить ей одновременно два различныхъ движенія. Отсюда легко сдѣлать тотъ выводъ, что частица, подвергающаяся одновременно дѣйствію двухъ или нѣсколькихъ системъ волнъ, испытываетъ въ каждый данный моментъ то давленіе и совершаетъ то движеніе, которыя являются результирующими давленій и движеній отдѣльныхъ системъ.

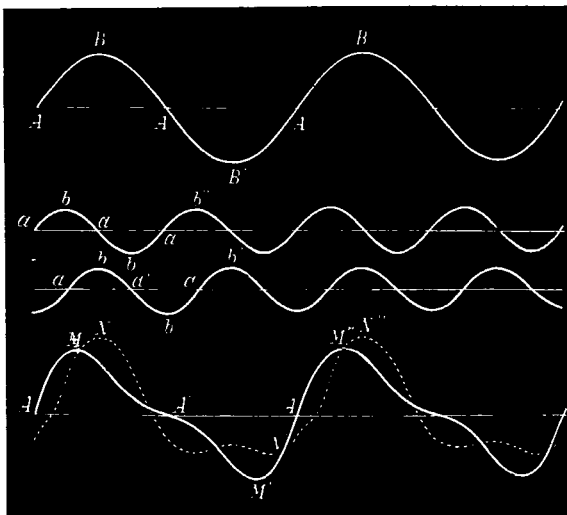


Преломленіе звуковыхъ волнъ при прохожденіи черезъ угольную кислоту.

Подобное совокупное дѣйствіе различныхъ системъ волнъ можно наблюдать на берегу, когда вѣтеръ производитъ на поверхности воды небольшія волны и пароходъ посылаетъ издали нѣсколько волнъ бѣльшей величины. Можно наблюдать, какъ мелкія волны подымаются на гребни большихъ волнъ и опускаются въ ихъ долины. Точно такимъ же образомъ ухо, воспринимая одновременно нѣсколько тоновъ, идущихъ еъ различныхъ сторонъ и образующихъ въ дѣйствительности нѣкоторый комплексъ звуковъ (сложный звукъ), въ состояніи узнать любой изъ нихъ съ его особенностями. Это показываетъ, что въ такомъ комплексѣ каждое изъ складывающихся дѣйствій существуетъ отдѣльно и что ухо въ состояніи выдѣлить его изъ комплекса.

Такая сложная волна можетъ имѣть очень неправильную форму. Даже рядъ правильныхъ волнъ $ABV'B''$ (рис. 329) и рядъ волнъ $abb'b''$ той же формы, но

Рис. 329



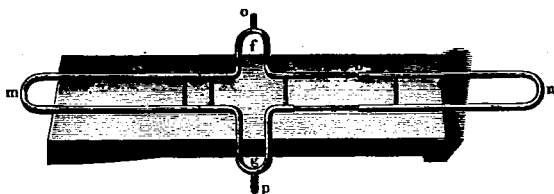
Сложене волнъ.

вдвое меньшей длины, образуютъ волну $AMM'M''$ уже довольно сложной формы. Если второй рядъ волнъ нѣсколько сдвинуть, то форма результирующей волны $N'N''N'''$ будетъ еще сложнѣе. Но она все же еще относительно проста по сравнению съ волнами, возникающими отъ сложения нѣсколькихъ системъ волнъ, форма и отношеніе длинъ которыхъ болѣе сложны.

354. Однимъ изъ слѣдствій сложения нѣсколькихъ волнъ является интерференція. Она состоитъ въ томъ, что двѣ системы волнъ одинаковой длины въ нѣкоторыхъ мѣстахъ слагаются такъ, что ихъ дѣйствіе усиливается, между тѣмъ какъ въ другихъ мѣстахъ онѣ взаимно уничтожаются, такъ какъ гребень одной волны совпадаетъ съ долиною другой. Если передъ трубкой o представленнаго на рис. 330

прибора произвести звукъ, то волны этого звука пройдутъ въ обѣ вѣтви трубки и одновременно выйдутъ изъ отверстія *p*. Если оба эти пути будутъ одинаковой длины, то волны достигаютъ *p* въ одинаковомъ состояніи (фазѣ), вслѣдствіе чего въ этомъ мѣстѣ будетъ слышенъ сильный звукъ. Если теперь удлинить одну вѣтвь трубки, вытянувъ подвижную часть, то звукъ въ *p* сдѣлается слабѣе и даже исчезнетъ совершенно, когда пути, пробѣгаемые звуковыми волнами въ двухъ вѣтвяхъ трубки, будутъ отличаться другъ отъ друга на длину полуволны. Если еще больше удли-

Рис. 330



Интерференція звуковыхъ волнъ.

нить трубку, то тонъ снова усилится, и когда одна вѣтвь трубки станетъ длиннѣе другой на цѣлую волну, то тонъ снова получитъ свою первоначальную силу.

Другой примѣръ интерференціи можно наблюдать безъ всякихъ вспомогательныхъ средствъ на камертонѣ¹⁾. Если ударить камертонъ, то онъ начинаетъ колебаться такимъ образомъ, что его ножки то сближаются, то удаляются другъ отъ друга. При сближеніи отъ ножекъ исходятъ двѣ волны разрѣженія, а отъ промежутка между ними двѣ волны сгущенія. При удаленіи ножекъ другъ отъ друга будетъ обратное явленіе. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ разрѣженія сталкиваются со сгущеніями, сгущенія и разрѣженія взаимно уничтожаются. Въ этомъ можно убѣдиться, держа камертонъ передъ ухомъ и вращая между пальцами его ручку. Звукъ исчезаетъ всякій разъ, когда камертонъ направленъ къ уху такимъ образомъ, что сгущенія одной системы совпадаютъ въ ухѣ съ разрѣженіями другой системы.

Обыкновенно говорятъ объ интерференціи звука только съ самимъ собой или со своимъ эхо или съ другимъ звукомъ точно такого же числа колебаній. Можно, однако, считать за явленіе интерференціи и тѣ біенія, которыя были описаны въ § 338, гдѣ сгущеніе воздуха, производимое однимъ звукомъ, совпадаетъ въ извѣстное время съ разрѣженіемъ другого, вслѣдствіе чего они взаимно уничтожаются, а спустя короткій промежутокъ времени сгущеніе одного звука слагается уже со сгущеніемъ другого и они усиливаютъ другъ друга.

355. Если вблизи струны, настроенной на извѣстный тонъ, сильно зазвучитъ этотъ тонъ, то струна также начнетъ звучать, что легко замѣтить, прекративъ первый тонъ. Это явленіе было извѣстно уже давно, когда въ серединѣ XVIII вѣка его изслѣдовали два ученика Валлиса (§ 178), Вильямъ Нобль и Томасъ Пиготъ. Валлисъ сдѣлалъ сообщеніе объ этомъ въ изданіяхъ Королевскаго Общества.

Такіе тоны назывались симпатическими тонами. Это названіе напоминаетъ о

¹⁾ Камертонъ былъ изобрѣтенъ англійскимъ военнымъ горнистомъ Джономъ Шоромъ около 1711 года.

наблюденияхъ, сдѣланныхъ надъ часами. Гюйгенсъ замѣтилъ, что двое часовъ, которые въ теченіе сутокъ расходятся между собою на пять секундъ, начинаютъ идти одинаково, если помѣстить ихъ въ одной комнатѣ, хотя бы и на разстояніи 15 футовъ другъ отъ друга. Гюйгенсъ объяснялъ эту „симпатію“ движеніемъ воздуха; но въ 1739 году англичанинъ Элликотъ замѣтилъ нѣчто подобное на двухъ часахъ, помѣщенныхъ на разстояніи только двухъ футовъ другъ отъ друга, но въ двухъ плотно закрытыхъ футлярахъ. Эти часы расходились между собою на 90 секундъ въ сутки, но симпатія въ этомъ случаѣ была такъ велика, что каждыя изъ нихъ, будучи остановлены, черезъ $\frac{1}{4}$ или $\frac{1}{2}$ часа сами приходили въ движеніе. Элликотъ показалъ, что это происходитъ вслѣдствіе небольшихъ, самихъ по себѣ незамѣтныхъ движеній, которыя передаются отъ идущихъ часовъ къ остановившимся. И когда онъ соединялъ футляры часовъ деревянной палкой, остановившіеся часы приходили въ движеніе гораздо быстрее.

Это явленіе показываетъ, что колеблющемуся тѣлу, напримѣръ, маятнику, можно сообщить значительныя колебанія при помощи ряда слабыхъ толчковъ, правильно слѣдующихъ одинъ за другимъ. Движеніе маятника не только сохраняется, но и усиливается послѣдующими толчками.

То же справедливо и для струны. Дѣйствіе каждой изъ волнъ, достигающихъ ея, само по себѣ незначительно, но эти дѣйствія суммируются, и такъ какъ до струны доходятъ за короткій промежутокъ времени сотни волнъ, то онѣ сообщаютъ ей достаточно сильныя колебанія, при условіи, конечно, что онѣ достигаютъ ея въ надлежащіе моменты, т. е. при условіи, что звучащій тонъ въ точности совпадаетъ съ тономъ струны.

356. Опытъ Нобля и Пигота привелъ къ объясненію другого явленія, также небезызвѣстнаго раньше.

Золова арфа (рис. 331) была извѣстна, вѣроятно, еще въ древности; по другому мнѣнію, ее открылъ нѣмецкій математикъ Аванасій Кирхеръ (1601—1680); изобрѣтателемъ ея называютъ также шотландскаго врача Освальда. Быть можетъ, каждый изъ нихъ изобрѣлъ ее самостоятельно или придаль ей особенно цѣлесообразную форму. Золова арфа состоитъ изъ рамки, на которой натянуто нѣсколько струнъ; ее помѣщаютъ въ такрмъ мѣстѣ, гдѣ струны могутъ быть приводимы въ движеніе вѣтромъ. Если даже ограничиться одной струной, то можно получить цѣлый рядъ различныхъ тоновъ.— Нѣчто подобное, но съ гораздо меньшимъ разнообразіемъ тоновъ, можно наблюдать, когда сильный вѣтеръ приводитъ въ движеніе телеграфные провода.

Нобль и Пиготъ нашли, что струна можетъ быть приведена въ колебаніе не только тономъ одинаковой высоты съ ея тономъ, но и нѣкоторыми другими, а именно тѣми тонами, числа колебаній которыхъ



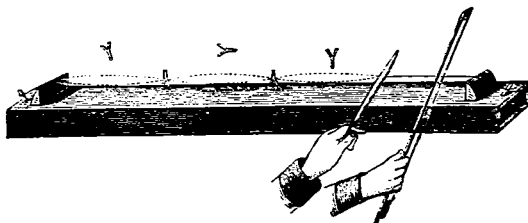
Золова арфа.

Рис. 331

въ два, три, четыре и т. д. разъ больше. Струна издаетъ въ этомъ случаѣ не свой низкій тонъ, а болѣе высокій, именно тотъ, который приводитъ ее въ колебаніе. Накладывая на струну бумажки, можно доказать, что струна колеблется при этомъ не всей своей длиной: середина ея остается въ покоѣ, если число колебашій тона, вызывающаго ея звучаніе, вдвое больше числа колебаній струны; если число колебаній этого тона втрое больше, то въ покоѣ остаются двѣ точки струны и т. д. На тѣхъ мѣстахъ струны, которая остаются въ покоѣ, — въ такъ называемыхъ узлахъ —, бумажки неподвижны, со всѣхъ же другихъ мѣстъ онѣ соскакиваютъ.

357. Совѣръ, не знавшій объ этихъ опытахъ, нѣсколькими годами позже дѣлалъ вполнѣ аналогичные имъ. Въмѣстѣ съ тѣмъ онъ нашель новый способъ заставить колебаться струну, раздѣленную на двѣ, три, четыре и т. д. части. Способъ этотъ заключается въ томъ, что струны касаются пальцемъ въ точкѣ, отдѣляющей половину, треть, четверть и т. д. ея, и посреди отдѣленной части проводятъ смычкомъ. Этотъ опытъ изображенъ на рис. 332. Здѣсь колеблются четыре части струны, образуя три узла. Бумажки въ узловыхъ точкахъ остаются неподвижными, между тѣмъ какъ съ утолщенныхъ частей струны (пучностей) онѣ соскакиваютъ. Названія

Рис. 332



Колебаніе струны, имѣющей три узла.

„узлы“ и „пучности“ были введены Совѣромъ. Если внимательно наблюдать колеблющуюся струну съ узлами, то можно легко отличить части, находящіяся въ движеніи, отъ частей, находящихся въ покоѣ, — пучности и узлы. Колебанія происходятъ такимъ образомъ, что двѣ части, отдѣленные узломъ, движутся въ противоположныхъ направленіяхъ.

Тоны двойного, тройного и т. д. числа колебаній называются по отношенію къ основному тону обертонами. Для пониманія теоріи музыки и рѣчи обертоны имѣютъ большое значеніе.

358. Способъ сдѣлать видимыми колебанія пластиночекъ былъ найденъ Хладни, родившимся въ 1756 году въ Виттенбергѣ и умершимъ въ Бреславлѣ въ 1827 году. Хладни изучалъ юриспруденцію и получилъ степень доктора правъ, но послѣ смерти отца сталъ изучать естественныя науки и особенно занимался акустикой. Онъ отдался всецѣло своимъ любимымъ занятіямъ, не занимая никакой должности. Хладни зарабатывалъ себѣ на жизнь литературной дѣятельностью, а также лекціями и демонстрировавшемъ изобрѣтенныхъ имъ приборовъ, между которыми были два музыкальных инструмента, не вошедшихъ, однако, въ общее употребленіе. Въ одномъ изъ нихъ, эвфонѣ, звуки получались отъ проведенія влажными пальцами по стекляннымъ палочкамъ, въ другомъ, цилиндрическомъ піанино (Klavierzylinder), посредствомъ

прижиманія деревянныхъ палочекъ къ вращающемуся стеклянному цилиндру. Хладни опубликовалъ также нѣсколько сочиненій о метеоритахъ, въ которыхъ онъ доказывалъ, что они появляются не изъ атмосферы, а изъ мірового пространства. Мнѣніе это въ то время было ново и многими оспаривалось, между тѣмъ какъ въ настоящее время оно общепринято.

Если упрутую пластинку изъ стекла или изъ латуни, укрѣпленную въ одной точкѣ, придержать въ другомъ мѣстѣ пальцемъ и провести по краю ея смычкомъ, то пластинка начинаетъ колебаться, но такъ, что нѣкоторыя линіи на ней останутся въ покоѣ. Хладни сдѣлалъ видимыми эти узловыя линіи, посыпавъ пластинки сухимъ пескомъ. Во время колебанія пластинки песчинки сбрасываются съ колеблющихся частей и собираются на узловыхъ линіяхъ (рис. 334).

На рис. 335 изображено нѣсколько такихъ фигуръ, получающихся на укрѣпленной посрединѣ квадратной пластинкѣ, если коснуться ея пальцемъ въ точкѣ *a* и провести смычкомъ въ мѣстѣ *b*. Можно получить множество фигуръ другой формы. Касаясь любого мѣста пластинки и проводя гдѣ-нибудь по краю смычкомъ, можно почти всегда получить особую фигуру, которая тѣмъ красивѣе, чѣмъ чище тонъ.

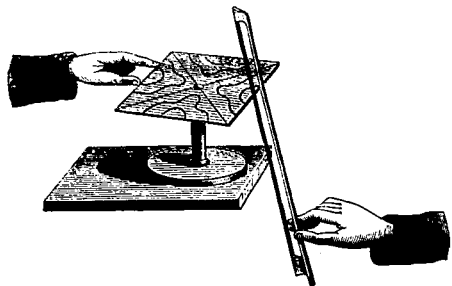
Чѣмъ выше тонъ, тѣмъ больше число отдѣльно колеблющихся частей пластинки и тѣмъ сложнѣе фигуры. На рис. 336 а изображены нѣкоторыя болѣе простыя, а на рис. 336 б болѣе сложныя Хладниевы фигуры, получающіяся на круглыхъ пластинкахъ. Чтобы получить фигуры, состоящія изъ кольцеобразныхъ лирій, нужно укрѣпить пластинку не въ центрѣ, а въ одной изъ точекъ (*a*) имѣющаго получиться кольца и провести смычкомъ по краю пластинки или лучше по краю круглаго прорѣза въ серединѣ пластинки.

359. Было найдено также, что колеблющіяся струны и пластинки и вообще всѣ звучащія тѣла даютъ, кромѣ основного тона, обертоны и въ томъ случаѣ, если даже ихъ намѣренно и не вызывать прикосновениемъ. Но въ большинствѣ случаевъ эти обертоны не очень сильны. Осо-

Рис. 333



Рис. 334

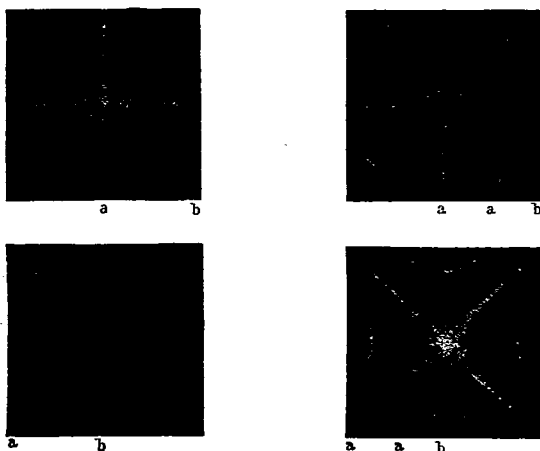


Полученіе Хладниевыхъ фигуръ.

бенно много для изученія обертоновъ сдѣлалъ Германъ Людвигъ Фердинандъ фонъ-Гельмгольцъ (род. въ 1821 году въ Потсдамѣ, умеръ въ 1894 году въ Шарлоттенбургѣ).

Гельмгольцъ былъ сыномъ учителя гимназіи. Онъ посѣщалъ гимназію своего родного города, а затѣмъ изучалъ въ Берлинѣ медицину. Въ 1843 году онъ сдѣ-

Рис. 335



Хладніевы фигуры на квадратной пластинкѣ.

лался военнымъ врачомъ въ Потсдамѣ, въ 1848 учителемъ анатоміи въ художественной школѣ въ Берлинѣ, а въ 1849 профессоромъ физиологіи въ Кёнигсбергѣ, гдѣ и началъ свой цѣнный рядъ физиологическихъ открытій. Какъ врачъ, Гельмгольцъ стоялъ на той точкѣ зрѣнія, что процессы въ человѣческомъ тѣлѣ происходятъ по

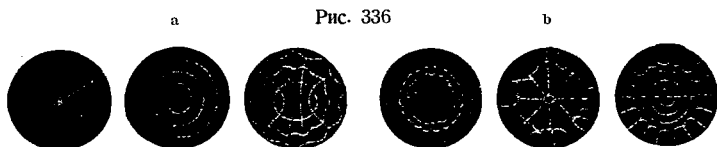


Рис. 336

Хладніевы фигуры на круглыхъ пластинкахъ.

тѣмъ же физическимъ и химическимъ законамъ, какъ и явленія внѣ его. Соответственно этому Гельмгольцъ тщательно, чѣмъ кто-либо, изучилъ физическую сторону явленій зрѣнія и слуха.

По его объясненію заднюю стѣнку чужого глаза нельзя видѣть потому, что она отражаетъ только тотъ свѣтъ, который исходитъ отъ предмета, отпечатлѣвающагося на ней. Такъ какъ этимъ предметомъ является глазъ наблюдателя, не испускающій свѣта, то задняя стѣнка глаза и кажется темной. Чтобы освѣтить ее, Гельмгольцъ помѣщалъ стеклянную пластинку въ косомъ положеніи между обоими глазами, наблюдающимъ и наблюдаемымъ, такъ что свѣтъ отъ поставленной сбоку лампы отражался въ наблюдаемый глазъ. Свѣтъ возвращался изъ глаза и сквозь

стеклянную пластинку проходилъ въ глазъ наблюдателя. Но возвращающіеся изъ глаза лучи становятся настолько сходящимися, что для полученія яснаго изображенія стѣнки наблюдаемаго глаза (ср. § 111) ихъ приходится разсвѣтать при помощи чечевицы. Такимъ образомъ Гельмгольцъ изобрѣлъ глазное зеркало. Впослѣдствіи ему придавали и другія формы. Оно пріобрѣло большое значеніе при лѣченіи глазъ и съ его помощью Гельмгольцъ сдѣлалъ нѣсколько другихъ важныхъ открытій.

Въ 1855 г. Гельмгольцъ сталъ профессоромъ физиологии въ Боннѣ, а въ 1858 г. въ Гейдельбергѣ. Въ 1871 г. онъ былъ приглашенъ въ Берлинскій университетъ директоромъ физическаго института, а въ 1888 г. назначенъ директоромъ вновь открытаго государственнаго физико-техническаго института въ Шарлоттенбургѣ. Эту должность онъ занималъ до смерти.

Рис. 337



Гельмгольцъ.

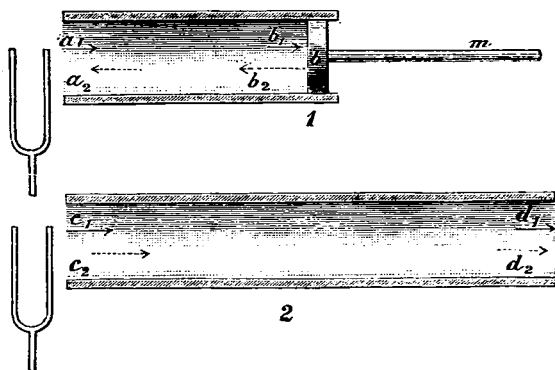
360. Особенно много сдѣлано Гельмгольцемъ въ области физики уха. При своихъ изслѣдованіяхъ онъ пользовался изобрѣтеннымъ имъ самымъ простымъ приборомъ, такъ называемымъ резонаторомъ. Чтобы понять его дѣйствіе, необходимо предварительно разсмотрѣть колебательныя движенія воздуха въ трубахъ.

Уже давно было извѣстно, что трубы опредѣленной длины усиливаютъ тоны извѣстной высоты, причемъ тоны эти различны въ зависимости отъ того, открыты ли оба конца трубы или же только одинъ изъ нихъ.

Если помѣстить ножку камертона передъ отверстіемъ трубы (рис. 338, 1), въ которой на разстояніи $\frac{1}{4}$ длины волны издаваемаго камертономъ тона (ср. § 343) находится дно или поршень, то при каждомъ своемъ колебаніи въ сторону отверстія камертонъ посылаетъ въ трубу волну сгущенія a . Дойдя до дна b , эта волна отражается и возвращается къ отверстию a_2 въ тотъ моментъ, когда ножка камертона удаляется отъ отверстія, и когда образуется, слѣдовательно, волна разрѣженія. Такимъ образомъ, движеніе a_2 усиливаетъ дѣйствіе камертона, вызывающаго въ этотъ моментъ разрѣженіе (долину волны). Это разрѣженіе въ свою очередь распространяется по направленію ко дну, возвращается къ отверстию и втягиваетъ воздухъ въ отверстіе (a_1) въ то время, когда ножка камертона движется по направленію къ отверстию и вызываетъ, слѣдовательно, движеніе въ томъ же направленіи (a_1). Отраженныя отъ b движенія, такимъ образомъ, совпадаютъ у отверстія трубки съ тѣми движеніями, которыя производитъ камертонъ, и потому тонъ усиливается. То же имѣетъ мѣсто, если длина трубки равна $\frac{3}{4}$ длины волны издаваемаго камертономъ тона. Въ этомъ случаѣ волна доходитъ до отверстія не черезъ $\frac{1}{2}$ времени колебанія, а черезъ $1\frac{1}{2}$ такихъ промежутка времени и находится, слѣдовательно, въ той же фазѣ. Вообще тонъ усиливается закрытой трубой, если длина его волны составляетъ $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{7}{4}$ и т. д. длины трубы.

Если держать звучащий камертонъ у отверстія трубы, которая открыта съ обоихъ концовъ и длина которой равна $\frac{1}{2}$ длины волны тона, то звукъ также усиливается. Въ самомъ дѣлѣ, когда волна сгущенія c_1 доходитъ до другого конца трубы d_1 , то сгущенный воздухъ получаетъ возможность свободно распространяться во всѣ стороны. Вслѣдствіе этого въ концѣ трубы получается разрѣженіе; оно распространяется по трубѣ къ другому ея концу и вызываетъ здѣсь движеніе (c_2), совпадающее съ тѣмъ, которое въ этотъ моментъ возбуждается камертономъ. Такимъ же образомъ открытая труба усиливаетъ звукъ, когда длина трубы превышаетъ длину волны въ

Рис. 338



Усиленіе звука трубами.

1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$ и т. д. разъ. Другими словами, открытая труба усиливаетъ звуки въ тѣхъ случаяхъ, когда ея длина содержитъ четное число четвертей волны, закрытая же, когда нечетное.

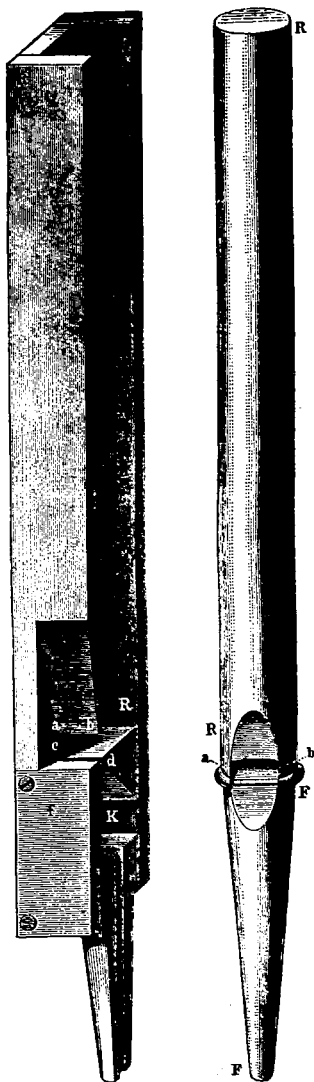
361. Этимъ путемъ объясняется также дѣйствіе обыкновеннаго свистка и органной трубы (рис. 339). Струя воздуха, вдуваемаго черезъ небольшое отверстіе, падаетъ на острый край и здѣсь должна измѣнить свое направленіе и либо пойти внутрь трубы, либо выйти наружу. Еслибы движеніе струи воздуха не было ограничено трубою, то воздухъ беспорядочно стремился бы къ острому краю и издавалъ бы свистающій звукъ, какъ это бываетъ въ томъ случаѣ, когда струя воздуха разбивается о лезвіе ножа. Но, попадая въ опредѣленный моментъ въ закрытую трубу, струя воздуха произведетъ сгущеніе и звукъ пробѣжитъ всю длину трубы отъ начала до конца и вернется обратно. Вслѣдствіе этого создается движеніе, направленное наружу, т. е. струя направится во внѣшній воздухъ. Это поведетъ къ образованію разрѣженія, которое въ свою очередь распространится до конца трубы, возвратится обратно и заставитъ струю воздуха снова войти внутрь. Такимъ образомъ, струя воздуха будетъ попеременно направляться то внутрь трубы, то въ наружный воздухъ,—возникнетъ тонъ, время колебанія котораго будетъ равно времени, необходимому для того, чтобы звукъ пробѣжалъ длину трубы четыре раза (два раза туда и два раза обратно).—Труба можетъ издавать и болѣе высокіе тоны, соответствующіе тонамъ, упомянутымъ въ § 360. Эти тоны возникаютъ въ томъ случаѣ, если труба не слишкомъ широка и если воздухъ вдувается въ нее съ силой.

И при открытой трубѣ струя воздуха также приходитъ въ правильное колебательное движеніе. Сгущеніе, возникающее въ тотъ моментъ, когда струя направляется внутрь трубы, достигаетъ ея открытаго конца, получаетъ здѣсь возможность свободно расширяться и потому производитъ разрѣженіе, которое высасываетъ воздухъ изъ трубы. Это высасываніе доходитъ черезъ трубу до струи, которая раньше была направлена наружу, и втягиваетъ теперь ее внутрь. Такъ возникаетъ звукъ, время колебанія котораго равно времени, необходимому, чтобы волна дважды пробѣжала длину трубы (разъ туда и разъ обратно). Число колебаній этого тона, слѣдовательно, должно быть вдвое больше, чѣмъ въ случаѣ закрытой трубы. — И здѣсь болѣе сильное вдунаніе воздуха также можетъ произвести болѣе высокіе тоны.

362. Гельмгольцъ подробно изслѣдовалъ, какіе именно высоніе тоны усиливаются трубами различной формы, и ему удалось найти форму, усиливающую лишь одинъ опредѣленный тонъ. Этими „резонаторами“ Гельмгольцъ широко воспользовался для того, чтобы установить присутствіе или отсутствіе какого-нибудь опредѣленнаго тона. Онъ слѣдовалъ при этомъ по пути, намѣченному опытомъ. Органная труба, ширина которой очень велика по сравненію съ ея длиной, лишь съ большимъ трудомъ даетъ какіе-нибудь тоны кромѣ основнаго. Такого рода трубы усиливаютъ только тотъ тонъ, длина волны котораго равна учетверенной длинѣ трубы.

Гельмгольцъ нашель, что свойствомъ усиливать только одинъ опредѣленный тонъ въ еще болѣе высокой степени обладаютъ шары, діаметръ которыхъ равенъ четверти длины волны соответствующаго тона. На сторонѣ, противоположной входному отверстию, шаръ переходитъ въ узкую открытую трубку, конецъ которой окружается полумягкимъ шеллакомъ и вставляется въ ухо, такъ что звуки могутъ достигать уха только пройдя черезъ шаръ. Въ другое ухо вставляется резонаторъ такой же величины или же оно закрывается размягченнымъ шеллакомъ. Тогда слушатель является какъ бы глухимъ ко всѣмъ звукамъ за исключеніемъ того, который усиливается резонаторомъ. Въ самомъ безпорядочномъ шумѣ или въ музыкальной пьесѣ слышится одинъ этотъ тонъ. При помощи этихъ

Рис. 339



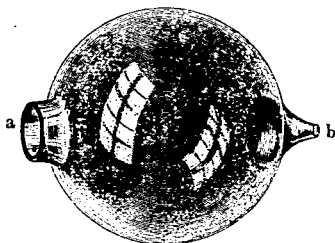
Органная труба и свистокъ.

резонаторовъ Гельмгольцъ произвелъ рядъ важныхъ изслѣдованій различныхъ источниковъ звука и особенно изслѣдованій человѣческаго голоса.

363. Закрытыя органныя трубы и камертоны, послѣдніе особенно тогда, когда они помѣщены передъ служащими резонаторомъ трубами (§ 360), даютъ очень прстой, не сильный, но пріятный, хотя и немного глухой тонъ.

Струны, напротивъ того, кромѣ основного тона легко издають цѣлый рядъ вышшихъ тоновъ или обертоновъ, вслѣдствіе чего тонъ пріобрѣтаетъ болшую звучность. Появленіе тѣхъ или другихъ тоновъ обуславливается выборомъ мѣста струны,

Рис. 340



Резонаторъ Гельмгольца.

въ которомъ ее заставляютъ колебаться. Если дѣлать это посрединѣ, то исчезаютъ „четные“ обертоны, т. е. такіе, число колебаній которыхъ вдвое, вчетверо и т. д. больше числа колебаній основного тона; отъ этого звукъ становится глухимъ. Съ другой стороны, присутствіе довольно высокыхъ „нечетныхъ“ обертоновъ дѣлаетъ его скрипучимъ. Поэтому въ музыкѣ стараются, чтобы получалось много первыхъ обертоновъ (съ числомъ колебаній въ два—шесть разъ больше числа колебаній основного тона) и избѣгаютъ обертоновъ, число колебаній которыхъ въ семь разъ больше

числа колебаній основного тона. Струны піанино ударяются поэтому вообще въ точкѣ, отстоящей отъ конца на $\frac{1}{7}$ длины.

Характеръ струннаго звука или его тембръ, обусловленный числомъ обертоновъ, зависитъ также отъ способа, какимъ струна приводится въ колебаніе,—будутъ ли ее дергать мягкіе пальцы, или будетъ по ней ударять металлическій штифтъ или молотокъ. Устройство молотка и продолжительность удара также должны приниматься во вниманіе фабрикантомъ инструментовъ и музыкантомъ.

Присутствіе очень высокыхъ обертоновъ дѣлаетъ тоны хрипылыми и дребезжащими. Несмотря на это въ большихъ оркестрахъ съ ихъ помощью (треугольникъ, литавры) достигаютъ хорошихъ результатовъ въ надлежащихъ мѣстахъ. Высокіе обертоны даютъ также металлическія трубы, гармоника и другіе инструменты, состояще въ большей или меньшей степени изъ металла.

364. Еще задолго до того, какъ стало извѣстно что-либо о числѣ колебаній тоновъ (§ 335), опытъ научилъ человѣка, какіе тоны производятъ, звуча одновременно или одинъ за другимъ, пріятное впечатлѣніе. Когда стали извѣстны числа колебаній, оказалось, что благозвучность двухъ тоновъ обуславливается тѣмъ, что числа ихъ колебаній находятся въ простомъ отношеніи другъ къ другу. Чѣмъ проще это отношеніе, тѣмъ созвучіе совершеннѣе. Если исключить „унисонъ“, то пріятнее для слуха „интервалы“, въ порядкѣ ихъ благозвучности, представляются слѣдующей таблицей. Числа показываютъ отношеніе числа колебаній основного тона и указаннаго:

Октава	1 : 2
Дуодецима	1 : 3
Квинта	2 : 3
Кварта	3 : 4

Большая секста	3 : 5
Большая терція	4 : 5
Малая терція	5 : 6

Каждая пара этих тоновъ имѣеть одинъ или нѣсколько общихъ обертоновъ, которые тѣмъ выше, чѣмъ меньше интервалъ между обоими тонами. Если число колебаній основного тона обозначить через T_1 , число колебаній его обертоновъ через T_2, T_3, \dots , число колебаній другого тона взятаго интервала и его обертоновъ соответственно через t_1, t_2, t_3, \dots , то для основного тона T_1 съ 300 колебаній получается слѣдующая таблица.

	300	600	900	1200	1500	1800
Основной тонъ (300)	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
Октава (600)	—	t_1	—	—	—	—
Дуодешима (900)	—	—	t_1	—	—	—
Квинта (450)	—	—	t_2	—	—	—
Кварта (400)	—	—	—	t_3	—	—
Большая секста (500)	—	—	—	—	t_5	—
Большая терція (375)	—	—	—	—	t_4	—
Малая терція (360)	—	—	—	—	—	t_5

Чѣмъ благозвучнѣе интервалъ, тѣмъ ближе, какъ видно изъ приведенной таблицы, лежатъ тоны или обертоны, совпадающие съ обертонами основного тона.

Если указанные тоны производятся струной или подобными ей источниками звука, дающими обертоны до t_6 , до для упомянутыхъ благозвучныхъ интерваловъ всегда существуетъ пара первыхъ или слѣдующихъ за ними обертоновъ, которые совпадаютъ другъ съ другомъ. Этимъ усиливается гармонія взятыхъ двухъ тоновъ и облегчается переходъ отъ одного къ другому, такъ какъ всегда существуетъ пара тоновъ, звучащихъ совершенно одинаково.

365. На существованіи общихъ обертоновъ въ двухъ тонахъ, дающихъ благозвучный аккордъ, въ XVIII вѣкѣ строилось ученіе о гармоніи. Главнымъ представителемъ ея былъ знаменитый французскій музыкантъ и композиторъ Ж. Ф. Рамо (1683—1764). Но это объясненіе предполагаетъ, что оба тона сопровождаются всѣми своими ближайшими обертонами. Оно поэтому было недостаточно для тоновъ, обладающихъ небольшимъ числомъ обертоновъ или неимѣющихъ ихъ вовсе. Источники звука, издающіе лишь подобные тоны, значительно менѣе пригодны для музыкальных цѣлей, потому что въ нихъ отсутствуютъ обертоны, служащіе связующимъ звеномъ между двумя слѣдующими другъ за другомъ тонами. Именно поэтому и могутъ возникать дисгармоніи, какъ при совпаденіи двухъ тоновъ, такъ и при слѣдованіи ихъ одного за другимъ.

Гельмгольцъ далъ этому другое объясненіе. Чѣмъ дальше два тона другъ отъ друга, тѣмъ быстрѣе слѣдуютъ толчки или бѣсія одинъ за другимъ (§ 338). Это придаетъ тонамъ непріятный звукъ и непріятное ощущеніе бываетъ сильнѣе всего, когда число бѣній для тоновъ средней высоты доходитъ приблизительно до 33 въ секунду. Для болѣе низкихъ тоновъ число это нѣсколько меньше, для болѣе высокихъ нѣсколько больше. Если увеличить число бѣній, то непріятное ощущеніе

уменьшается и при 132 біеніяхъ для тоновъ средней высоты оно совершенно исчезаетъ. Такимъ образомъ, Гельмгольцъ нашелъ нѣкоторое мѣрило для диссонанса двухъ тоновъ и приложилъ его къ различнымъ благозвучнымъ интерваламъ, которые раньше считались болѣе или менѣе дисгармоничными.

При помощи своихъ резонаторовъ Гельмгольцъ нашелъ, что біенія могутъ давать не только два основныхъ тона, когда они настроены не вполнѣ въ унисонъ, но и какая-нибудь пара обертоновъ, которые онъ при помощи резонаторовъ умѣетъ теперь отдѣлать отъ основныхъ тоновъ и остальныхъ обертоновъ. Эти біенія тѣмъ быстрѣе слѣдуютъ одинъ за другимъ, конечно, чѣмъ обертоны дальше другъ отъ друга. Далѣе, тонъ Тартини, производимый обоими тонами, можетъ давать съ однимъ изъ нихъ біенія. Если между двумя основными тонами, ихъ обертонами и тонами Тартини попадутся два такихъ тона, которые даютъ 33 біенія въ секунду, то звукъ станетъ въ высшей степени непріятнымъ. Меньшее или большее число біеній, если оно не превосходитъ 132, даютъ диссонансъ. Изъ сопоставленія благозвучныхъ интерваловъ (стр. 349) видно, что октава, дуодецима и всѣ ихъ обертоны лежатъ къ основному тону и его обертонамъ не ближе, чѣмъ на 300 колебаній. Для тоновъ Тартини числа будутъ 300 и 600. Квинта съ ея обертонами и тонами Тартини также не даетъ интервала меньше 150; такимъ образомъ, и эти интервалы не даютъ никакого диссонанса. Поэтому они уже давно получили названіе „абсолютно благозвучныхъ“ (абсолютный консонансъ). Кварта и ея обертоны и тоны Тартини (100) не даютъ съ основнымъ тономъ и его обертонами меньше 100 біеній, напримѣръ, 300 и 400 или 900 (T_2) и 800 (t_2). Но это почти не ощущается, такъ что кварта еще считается „абсолютнымъ консонансомъ“. Въ менѣе благопріятныхъ условіяхъ находятся низкіе тоны. Если, напримѣръ, число колебаній тона составляетъ 150, а слѣдовательно, число колебаній его кварты 200, то число біеній въ секунду будетъ ровно 50. Для этихъ тоновъ уже кварта кажется слегка непріятной. Ее поэтому часто называютъ не „абсолютнымъ“, а только „совершеннымъ консонансомъ“.

Большая секста также обуславливаетъ тоны со 100 біеніями. Но при высотѣ тона въ 500—600 колебаній такой тонъ даетъ замѣтный диссонансъ. Поэтому большую сексту, а также большую терцію, дающую 75 біеній, называютъ „среднимъ консонансомъ“.

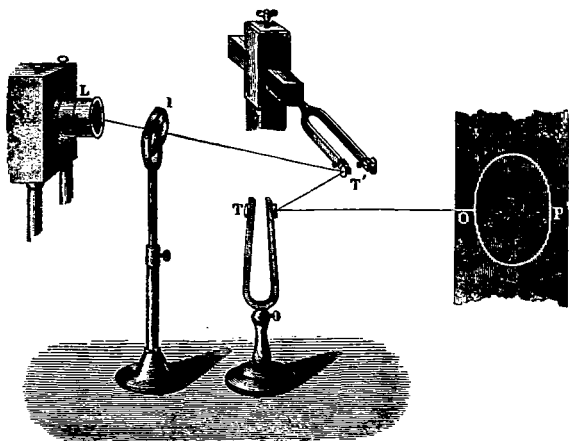
Малая терція даетъ съ основнымъ тономъ и съ нѣсколькими обертонами 60 біеній и поэтому называется „несовершеннымъ консонансомъ“.

Для того чтобы три тона давали пріятное сочетаніе, каждая пара ихъ должна представлять благозвучный интервалъ. Такимъ образомъ, числа колебаній 300, 400 и 500 образуютъ благозвучный аккордъ, потому что 300 и 400 колебаній даютъ кварту, 400 и 500—большую терцію, а 300 и 500 большую сексту. Септима теперь уже не употребляются въ музыкѣ, такъ какъ не удовлетворяютъ этому условію. Сами по себѣ два тона, числа колебаній которыхъ относятся какъ 4:7, даютъ консонансъ, но ни одинъ изъ нихъ не даетъ консонанса съ благозвучными интервалами другого. Октава болѣе низкаго изъ нихъ, напримѣръ, даетъ диссонансъ съ высокимъ тономъ пары.—Менѣе благозвучной, чѣмъ септима, является малая секста; числа колебаній тоновъ этого интервала относятся между собою, какъ 5:8. Ею тѣмъ не менѣе пользуются, такъ какъ каждый изъ ея тоновъ даетъ консонансъ съ обертонами другого.

366. Французскому физику Лиссажу удалось въ 1863 году получить очень красивыя свѣтотыя явленія при помощи камертоновъ, дающихъ благозвучные интервалы.

Ножки двухъ камертоновъ на внѣшней сторонѣ имѣютъ по маленькому зеркальцу. Одинъ изъ камертоновъ T' (рис. 341) колеблется въ горизонтальной плоскости, другой, T —въ вертикальной. Яркій лучъ свѣта изъ фонаря L проходитъ черезъ линзу J , падаетъ на зеркальце камертона T' , отражается имъ, падаетъ на зеркальце

Рис. 341



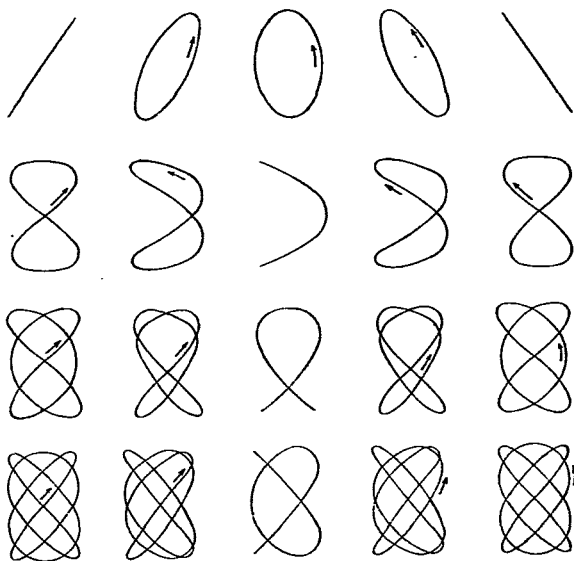
Колѣблющіеся камертоны Лиссажу.

камертона T и послѣ вторичнаго отраженія попадаетъ на экранъ OP . Зеркала отшлифованы такъ, что свѣтовой лучъ даетъ на экранѣ рѣзко очерченное свѣтлое пятно. Если привести въ движеніе только T' , то лучъ TT' , а за нимъ и лучъ TO , колеблется взадъ и впередъ, такъ что и свѣтлое пятно на экранѣ перемѣщается по горизонтальной линіи между O и P . При колебаніи одного только втораго камертона, свѣтлое пятно движется вверхъ и внизъ по вертикальной лиши. При колебаніи обоихъ камертоновъ пятно совершаетъ оба движенія одновременно. Форма кривой, описываемой свѣтлымъ пятномъ на экранѣ, зависитъ отъ отношенія чиселъ колебаній взятыхъ камертоновъ.

Если оба тона звучатъ въ унисонъ, то наблюдается одна изъ верхнихъ пяти фигуръ (рис. 342). Когда ножки обоихъ камертоновъ наиболѣе отклонены отъ своихъ положеній равновѣсія, свѣтовое пятно занимаетъ одновременно самое низшее и самое лѣвое положеніе. Затѣмъ свѣтовое пятно движется одновременно вправо и вверхъ и описываетъ прямую линію, изображенную на первой изъ пяти фигуръ. Достигнувъ верхней точки справа, пятно движется по той же прямой налѣво внизъ. Если же камертонъ T' опережаетъ камертонъ T на четверть времени колебанія, то свѣтовое пятно занимаетъ самое низкое мѣсто по срединѣ между крайними лѣвымъ и правымъ положеніями и описываетъ среднюю изъ упомянутыхъ выше пяти фигуръ. Изъ этого положенія „посрединѣ внизъ“ пятно переходитъ направо вверхъ и дости-

гаетъ крайняго положенія справа на срединѣ своего пути вверхъ. Продолжая затѣмъ подыматься, оно поворачиваетъ налѣво и доходитъ до средины наверху; далѣе, продолжая двигаться влѣво, оно опускается и на половинѣ своего пути внизъ достигаетъ крайняго лѣваго положенія; наконецъ, продолжая опускаться, оно направляется вправо и возвращается къ исходному пункту и т. д. — Если одинъ камертонъ опережаетъ другой на половину времени колебанія, т. е. если ножки камертона T' бываютъ ближе всего другъ къ другу, когда ножки камертона T больше всего удалены одна отъ другой, то, какъ легко убѣдиться, получается послѣдняя изъ пяти верхнихъ фигуръ.

Рис. 342



Фигуры Лиссажу.

Наконецъ, если указанная разница составляетъ $\frac{1}{8}$ или $\frac{3}{8}$ времени колебанія, то получается вторая или четвертая фигура, являющаяся промежуточной между первой и третьей или третьей и пятой фигурами.

Если камертоны издають не вполнѣ одинаковый тонъ и сначала даютъ первую фигуру, то затѣмъ одинъ камертонъ все болѣе и болѣе опережаетъ другой и одна фигура постепенно переходитъ въ слѣдующую. Такимъ путемъ можно открывать самыя незначительныя разницы въ продолжительности колебаній камертоновъ.

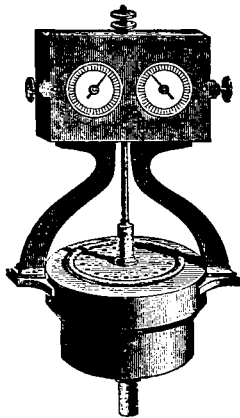
Если камертонъ T' колеблется вдвое быстрѣе T , т. е. издаетъ тонъ октавой выше, то получается одна изъ пяти фигуръ второй группы. И въ этомъ случаѣ фигуры переходятъ одна въ другую, если камертоны издають не вполнѣ одинаковыя тоны. Третья и четвертая группы рисунка возникаютъ тогда, когда камертоны даютъ основной тонъ и квинту и основной тонъ и кварту. Если пройти, напримѣръ, по первой фигурѣ кварты слѣва внизъ по направленію, указанному стрѣлкой, до возвращенія къ исходной точкѣ, то легко замѣтить, что движеніе идетъ четыре раза направо и четыре раза налѣво, но только три раза вверхъ и три раза внизъ, такъ

как камертонъ T' дѣлаетъ четыре колебанія въ то время, какъ камертонъ T дѣлаетъ ихъ только три. Нѣчто подобное имѣетъ мѣсто и для всѣхъ другихъ фигуръ.

367. Числа колебаній тоновъ опредѣляются различнымъ образомъ. Важнѣйшій методъ заключается въ слѣдующемъ: механическимъ путемъ движеніе струи воздуха прерывается черезъ опредѣленные промежутки времени такъ, что въ секунду воздухъ получаетъ опредѣленное число толчковъ. Англійскій физикъ Робисонъ достигъ этой цѣли при помощи особаго крана, а Зеебекъ тѣмъ, что вдуваемый черезъ трубу воздухъ попадалъ на быстро вращающійся картонный кружокъ съ отверстиями, расположенными по окружности. Струя воздуха проходила черезъ каждое изъ этихъ отверстій, когда оно приходилось противъ трубы.

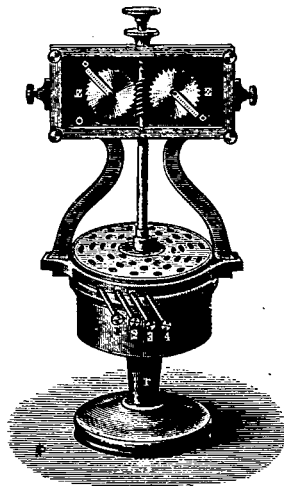
Эти опыты удаются лучше всего при помощи сирены (рис. 343), впервые построенной Каньяръ Делатуромъ и усовершенствованной впослѣдствіи Дове, Гельмгольцемъ и др. Горизонтальная круглая пластинка, укрѣпленная на вертикальной оси, снабжена отверстиями, расположенными по окружности на равныхъ разстояніяхъ

Рис. 343



Сирена.

Рис. 344



Сложная аккордная сирена.

другъ отъ друга. Эти отверстия при вращеніи пластинки проходятъ надъ соотвѣтствующимъ рядомъ отверстій въ крышкѣ цилиндрической коробки, въ которую при помощи мѣховъ вдувается воздухъ. Когда отверстия въ пластинкѣ приходятся какъ разъ противъ отверстій въ крышкѣ, воздухъ устремляется черезъ нихъ. Если же отверстия пластинки приходятся надъ промежутками между отверстиями въ крышкѣ, то движеніе воздуха прерывается.

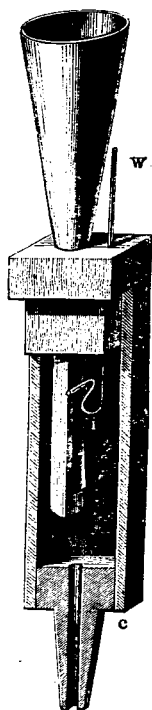
Отверстія въ пластинкѣ и въ крышкѣ пробуравлены наискось въ противоположныхъ другъ другу направлеціяхъ. Вслѣдствіе этого выходящій воздухъ давить на стѣнки отверстій подвижной пластинки и тѣмъ приводитъ ее во вращеніе. Нѣтъ необходимости, поэтому, въ особомъ механизмѣ для вращенія пластинки. Она приво-

дится въ движеніе воздушной струей, и если послѣдняя идетъ равномернѣю, то быстрота вращенія, а вслѣдствіе этого и высота тона почти не мѣняются. На верхней части оси находится „бесконечный винтъ“, соединенный съ счетчикомъ. Число колебаній получаемого тона равно произведенію числа отверстій на число оборотовъ.

368. Высота тона, производимаго свисткомъ, зависитъ отъ длины его трубки. Основной тонъ закрытой трубки составляетъ октаву съ основнымъ тономъ открытой одинаковой съ нею длины.

Въ язычковыхъ трубахъ находится упругій язычекъ, колебанія котораго попеременно то открываютъ, то закрываютъ отверстіе для воздуха. Этому язычку можно придать такую форму, что онъ или часть его могутъ колебаться съ различной быстротой. Для этого онъ долженъ быть мягкимъ. Въ такомъ случаѣ онъ легко при-

Рис. 345



Язычковая труба.

Рис. 346



Дудка (съ язычкомъ) изъ соломинки.

способляется самъ соотвѣтственно длинѣ трубы, съ которой соединяется и въ которой воздухъ можетъ колебаться только согласно указанному въ § 360. Однако, язычокъ подбираютъ обыкновенно такимъ образомъ, что его нормальное время колебанія приблизительно совпадаетъ съ временемъ колебанія, обусловленнымъ длиной трубы. Тогда получаемый тонъ бываетъ и наиболѣе сильный и наиболѣе чистый. Иногда устраиваютъ изъ проволоки особую задержку (рис. 345), передвиженіемъ которой можно отдѣлать опредѣленную часть языка. На рис. 345 видно внутреннее устройство язычковой трубы. Воздухъ вдвухается въ нижнюю часть трубы и выходитъ изъ нея толчками черезъ прорѣзь, въ которомъ колеблется язычокъ; отсюда воздухъ направляется въ трубу, которая опредѣляетъ высоту тона и заканчивается воронкообразнымъ придаткомъ. Прежде были въ ходу такъ называемые „захлопывающіе“ язычки, которые при каждомъ колебаніи ложились на края отверстія и совершенно закрывали его, между тѣмъ какъ въ настоящее время болѣе употребительны язычки, свободно колеблющіеся въ прорѣзѣ, не закрывая его всецѣло.

Въ инструментахъ безъ трубы, какъ, напримѣръ, въ гармоникѣ, высота тона зависитъ исключительно отъ язычка, вслѣдствіе чего онъ долженъ быть подобранъ такъ, чтобы издавать соотвѣтствующій тонъ.

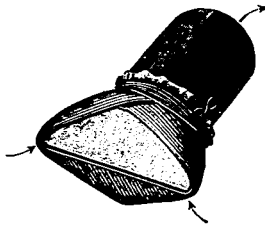
Въ полѣ можно приготовить язычковыя трубы изъ различныхъ растений, напримѣръ, изъ стебля злаковъ; для этого нужно отрѣзать кусокъ соломинки приблизительно въ 20 сантиметровъ длиной, закрытый съ одного конца узломъ стебля; возлѣ узла, по направленію къ нему, дѣлаютъ надрѣзь и такимъ образомъ получаютъ отверстіе въ 2—3 см съ соотвѣтствующимъ язычкомъ. При вдвуханіи въ трубку получается тонъ, опредѣляемый длиной трубки.

Если срѣзать часть трубки у открытаго конца, то тонъ повышается—доказательство того, что высота тона опредѣляется длиной трубки. Если трубку изъ ивовой коры или изъ свѣжаго стебелька злака защемить на одномъ концѣ, взять ущемленный конецъ въ ротъ и дуть въ эту трубку, то получится тонъ, высота котораго обусловливается главнымъ образомъ длиною трубки.

Въ трубахъ послѣдняго рода язычокъ замѣняется двумя пластинками или перепонками, но ихъ также причисляютъ къ язычковымъ трубамъ. Сюда принадлежатъ также свистки съ щелью, устройство которыхъ представлено на рис. 347. Трубка на концѣ срѣзывается наискось съ двухъ сторонъ, такъ что поверхности срѣза образуютъ приблизительно прямой уголъ. Сверху натягиваютъ двѣ резиновыя полоски такъ, чтобы онѣ образовали узкую щель. Концы ихъ обматываютъ вокругъ трубы и завязываютъ ниткой.

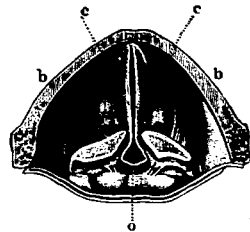
369. Только что описанный приборъ имѣетъ нѣкоторое сходство съ голосовыми органами человѣческаго горла (рис. 348). Существенную часть этихъ органовъ составляютъ двѣ эластичесія связки, называемыя голосовыми, которыя натягиваются

Рис. 347



Свистокъ съ щелью Гельмгольца.

Рис. 348



Поперечный разрѣзъ глотки.

особыми мускулами; отверстіе горла закрывается ими такъ, что остается лишь небольшой просвѣтъ, носящій названіе голосовой щели. Связки натягиваются лишь въ томъ случаѣ, когда мы издаемъ звуки или дѣлаемъ глубокое вдыханіе. Въ остальныхъ случаяхъ онѣ остаются ненапрянутыми и спокойное дыханіе происходитъ безъ замѣтнаго шума.

Но при пѣніи какого-нибудь тона голосовыя связки напрягаются и воздухъ выгоняется черезъ голосовую щель. Голосовыя связки колеблются тогда съ опредѣленной скоростью, зависящей отъ степени ихъ натяженія. Отъ удлиненія трубки, образуемой глоткой и полостью рта, она зависитъ очень мало. Стѣнки глотки слишкомъ мягки для того, чтобы заставить голосовыя связки приспособиться ко времени колебанія, опредѣляемому ими. Съ другой стороны, напряженіе голосовыхъ связокъ, а слѣдовательно, и высота тона въ извѣстныхъ границахъ остаются въ нашей власти. Границы эти для разныхъ лицъ различны. У человѣка, обладающаго басомъ, число колебашій въ секунду можетъ падать до 81, въ исключительныхъ случаяхъ—даже до 44. Женское сопрано можетъ достигнуть высоты въ 1381 колебашіе въ секунду. Извѣстенъ даже случай, когда число колебаній достигало 2069. При крикѣ возможны, конечно, еще болѣе высокіе тоны.

Чтобы издавать опредѣленные тоны, требуется не только знаніе этихъ тоновъ,

но и извѣстное умѣнье управлять голосовыми связками. Въ этомъ отношеніи большую роль играетъ, конечно, упражненіе. Красота звука въ значительной мѣрѣ зависитъ также отъ устройства голосовыхъ связокъ и отъ того, какъ онѣ колеблются. Это можно наблюдать при помощи особаго горлового зеркала. Найдено, напримѣръ, что мягкій звучный тонъ получается при гладкихъ по краямъ, хорошо закрывающихся голосовыхъ связкахъ, а рѣзкій звукъ вызывается негладкими связками, соприкасающимися въ нѣсколькихъ мѣстахъ другъ съ другомъ, и что частичка слизи въ состояніи лишить голосъ его звучности; переполненная кровью и раздраженная голосовыя связки даютъ болѣе низкій тонъ.

Изобрѣтателемъ вышеупомянутаго зеркала является извѣстный Мануэль Гарсія (род. въ 1805 г. въ Мадридѣ), бывший учителемъ пѣнія въ Парижѣ и въ Лондонѣ; онъ построилъ свой методъ преподаванія на фізіологическихъ данныхъ.

Напряженіе голосовыхъ связокъ обыкновенно зависитъ отъ нашей воли, но иногда оно можетъ опредѣляться непосредственно нашими настроеніями. Радость и печаль выражаются въ тонѣ голоса, точно такъ же, какъ мужество и боязнь, восхищеніе или презрѣніе. Эта связь настроенія съ звуками голоса играетъ важную роль въ музыкальномъ творествѣ и во вліяніи музыки, какъ это въ новѣйшее время было выяснено Спенсеромъ.

370. Въ то время какъ голосовыя связки даютъ тонъ, образованіе звуковъ, соотвѣствующихъ различнымъ буквамъ, слогамъ и словъ принадлежитъ, очевидно, рту.

Законы образованія этихъ звуковъ были изслѣдованы въ новѣйшее время частью опытнымъ путемъ, частью теоретически многими учеными, какъ, напримѣръ, Кратценштейномъ, который въ 1796 году получилъ отъ Петербургской Академіи премію за устройство говорящей машины. Этимъ вопросомъ занимался также знаменитый голландскій фізіологъ и глазной врачъ Франсъ Корнелисъ Дондерсъ (1818—1889), который извѣстенъ своей теоріей очковъ и ея приложеніемъ къ астигматическимъ глазамъ. Изъ другихъ изслѣдователей въ этой области слѣдуетъ упомянуть англичанъ Виллиса и Витстона и австрійца ф. Кемпелена, который также построилъ говорящую машину. Когда Гельмгольцъ занялся этимъ вопросомъ, существовалъ уже нѣкій рядъ цѣнныхъ работъ о природѣ буквъ и даже попытокъ искусственно воспроизвести соотвѣствующіе имъ звуки. Работы Гельмгольца даютъ прекрасное и полное объясненіе физической природы человѣческаго голоса, основанное частью на прежнихъ, частью на его собственныхъ изслѣдованіяхъ. Гельмгольцъ имѣлъ для своихъ работъ прекрасное пособіе въ изобрѣтенныхъ имъ резонаторахъ; а гдѣ послѣдніе оказывались недостаточными, онъ умѣлъ помочь себѣ различными остроумными приемами.

371. Какъ показали изслѣдованія природы гласныхъ звуковъ, ихъ звукъ обуславливается тѣмъ, что издаваемый голосовыми связками тонъ сопровождается тѣми или другими обертонами. Еслибы представить гласные звуки графически, то получилась бы большая волнообразная линія съ мелкими завитками на ней. Гельмгольцъ нашелъ, что оттѣнки звука различныхъ гласныхъ опредѣляются слѣдующими обертонами. Онъ различалъ глухое краткое *й* и открытое *и* (русское *у*¹⁾.

¹⁾ Приведенныя въ этомъ и въ слѣдующихъ параграфахъ изслѣдованія Гельмгольца относились, конечно, къ гласнымъ звукамъ нѣмецкаго языка. *Прим. пер.*

Глухое <i>й</i> обусловливается обертономъ <i>f</i> съ	176	колебаніями,
открытое <i>и</i> (<i>y</i>)	"	"
<i>о</i>	"	"
<i>а</i>	"	"
<i>ä</i> (<i>э</i>)	"	"
<i>е</i>	"	"
<i>і</i>	"	"
<i>ö</i>	"	"
<i>ï</i>	"	"

<i>f</i> ₁	"	352	"
<i>b</i> ₁	"	475	"
<i>b</i> ₂	"	950	"
<i>a</i> ₂	"	594	"
<i>g</i> ₃	"	1584	"
<i>f</i> ₁	"	352	"
<i>b</i> ₃	"	1900	"
<i>f</i> ₁	"	176	"
<i>a</i> ₄	"	2374	"
<i>f</i> ₁	"	352	"
<i>cis</i> ₃	"	1100	"
<i>f</i> ₁	"	352	"
<i>g</i> ₃	"	1584	"

Такимъ образомъ, *и*, *о* и *а* обусловливаются однимъ обертономъ, остальные же — двумя, иногда очень высокими тонами.

372. Гельмгольцъ объясняетъ даже, какимъ образомъ получаютъ эти болѣе высокіе тоны.

Стѣнки полости рта слишкомъ мягки, чтобы заставить голосовыя связки издавать тонъ, соотвѣтствующій размѣрамъ и формѣ полости рта. Высота тона въ гораздо болѣе степени опредѣляется напряженіемъ связокъ, но части связокъ могутъ колебаться съ быстротой, зависящей отъ длины трубки (полости рта). При произнесении звуковъ *и*, *о* и *а* ротъ образуетъ одну полость, такъ какъ языкъ вообще прижимается книзу. При *а* ротъ спереди плотно закрытъ, при *о* нѣсколько открытъ на подобіе трубки, при *и* онъ открывається еще болѣе, принимая форму воронки. Закрытая трубка даетъ самый низкій тонъ для *и* (ср. § 361), болѣе открытая обусловливаетъ болѣе высокіе тоны *о* и *а*.

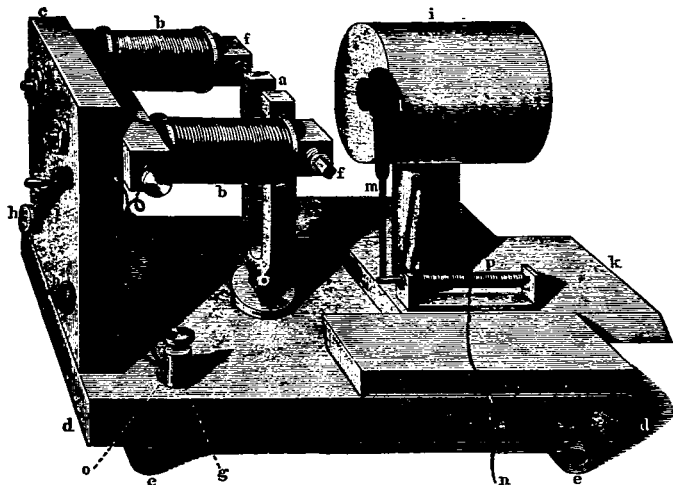
При остальныхъ гласныхъ *ä*, *е*, *і*, *ö* и *ï* языкъ нѣсколько прижимается къ нёбу. Вслѣдствіе этого получается трубка въ задней части рта, а также болѣе или менѣе закрытая полость между языкомъ и губами. Участіе языка въ произнесении этихъ звуковъ нетрудно обнаружить: легко, напримѣръ, убѣдиться въ томъ, что при произнесении *ä* и *ï* языкъ сохраняетъ одно и то же положеніе (1584 колебанія), тогда какъ губы для *ö* открываются болѣе (594 колебанія), чѣмъ для *ï* (352 колебанія). Наиболѣе высокій тонъ мы издаемъ при произнесении *і*. Если попробовать произнести этотъ звукъ шопотомъ, то получается ясное впечатлѣніе звука свистка (2374 колебанія), который образуется въ маленькой трубкѣ между языкомъ и нёбомъ. Если произнести шопотомъ *ï*, то получается другой, болѣе низкій тонъ свистка (1584 колебанія).

373. Наконецъ Гельмгольцу удалось при помощи чисто физическихъ средствъ получить вполне ясные гласные звуки. Нѣсколько камертоновъ съ числами колебаній, соотвѣтствующими указаннымъ въ § 371 тонамъ, приводились въ колебаніе электрическимъ токомъ подобно электрическому звонку. Передъ каждымъ камерто-

номъ находился резонаторъ съ клапаномъ передъ отверстиемъ, которое можно было по желанію увеличивать или уменьшать, такъ что тонъ, неслышный безъ резонатора, усиливался въ болъшей или меньшей степени.

При помощи этого прибора Гельмгольцу удалось, правильнымъ употребленіемъ клапановъ, получить всѣ гласныя за исключеніемъ *e* и *i*, содержащихъ болѣе высокіе тоны, чѣмъ тѣ, которые могли быть получены камертонами этого прибора. Дѣло въ томъ, что въ этомъ приборѣ нельзя брать камертоны какого угодно высокаго тона, такъ какъ иначе замыканія тока не будутъ происходить достаточно хорошо.

Рис. 349



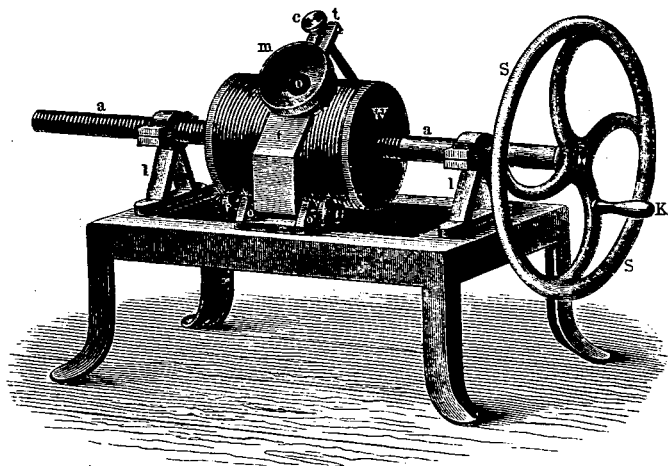
Приборъ съ камертонами для полученія гласныхъ (Гельмгольцъ).

374. Въ то время какъ гласные звуки можно представлять въ формѣ волны, производимой голосовыми связками, съ завитками на ней, обусловленными формою полости рта,—согласныя представляются, вообще говоря, одной или нѣсколькими неправильными волнами, предшествующими или заканчивающими волнообразную линію гласныхъ. Гласный звукъ можно тянуть въ теченіе продолжительнаго времени, согласный, напротивъ того, длится, вообще говоря, лишь одно мгновение. Чаше всего онъ обуславливается тѣмъ, какъ открывается ротъ передъ гласной или какъ онъ закрывается послѣ нея. Открыватъ полость рта можно различнымъ образомъ, напримѣръ, тубами (*б, п, м*) или нижней губой и верхними передними зубами (*ф, в*), или коншомъ языка и тѣми же зубами (*м, д*) или языкомъ и передней или задней частью нѣба (*н, л, з*). Иногда при этомъ имѣютъ значеніе и другія обстоятельства. Такъ, *м* и *н* требуютъ также резонанса въ носовой полости, сообщающейся сзади съ полостью рта. Этотъ резонансъ можно тянуть болѣе продолжительное время, какъ гласную. То же относится и къ нѣкоторымъ другимъ звукамъ, которые у насъ обыкновенно называются согласными, но въ другихъ языкахъ, какъ, напримѣръ, въ санскритскомъ, считаются свистящими гласными (*с*). Совершенно особое мѣсто занимаетъ звукъ *р*. Онъ не на-

чинаеть и не заканчиваетъ собой волны гласнаго звука, а служитъ какъ бы для разрыва гласной. Языкъ вибрируетъ у нѣба и каждый разъ, когда онъ удаляется отъ нѣба, становится возможнымъ образование части гласной.

375. Подражать человѣческому голосу можно также при помощи органныхъ трубокъ. Прежнія говорящія машины состояли главнымъ образомъ изъ извѣстнаго числа такихъ трубокъ, подобранныхъ такимъ же образомъ, какъ камертоны въ приборѣ Гельмгольца. Воздухъ вдвухался въ эти трубки, какъ въ органъ, при помощи мѣховъ, причемъ онъ направлялся въ ту или другую трубку при посредствѣ особой клавиатуры. Струя воздуха выходила черезъ отверстія, снабженныя кожаными клапанами и другими приспособленіями. Звукъ *p* воспроизводился при помощи колесика, которое жужжало въ искусственной ротовой полости и раздѣляло на части рядъ волнъ, образуемыхъ гласной. Этотъ способъ подражанія человѣческому голосу представлялъ интересъ въ томъ отношеніи, что онъ давалъ наглядное доказательство правильности пониманія природы рѣчи. Получаемые при помощи указанныхъ приѣмовъ звуки рѣчи были, однако, очень несовершенны, а именно, чрезвычайно монотонны.

Рис. 350



Фонографъ Эдисона.

Въ нихъ совершенно отсутствовали варіація основного тона, всегда присущія человѣческой рѣчи и проявляющіяся тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше душевное настроеніе вліяетъ на рѣчь.

376. Совершенно другого рода говорящую машину представляетъ собой фонографъ, изобрѣтенный Эдисономъ въ 1877 г. Онъ воспринимаетъ человѣскій голосъ, музыку и другіе звуки и затѣмъ снова воспроизводитъ ихъ, когда угодно.

Рис. 350 изображаетъ фонографъ въ его первоначальной формѣ. Звуки даются въ него черезъ отверстіе *o* въ короткую трубу, закрытую на другомъ концѣ тонкой упругой пластинкой. Въ срединѣ ея находится маленькій металлическій штифтъ, направленный остриемъ къ стальному валуку *W* съ спиральнымъ желобкомъ. Валцкъ покрывается

листомъ оловянной фольги. Приёмникъ *m* долженъ быть установленъ такъ, чтобы штифтъ надъ желобкомъ слабо давилъ на оловянный листъ. Вращаясь, валикъ подвигается вмѣстѣ съ тѣмъ по направленію оси такъ, что металлическій штифтъ все время остается надъ желобкомъ. Если во время вращенія говорить въ отверстіе *m*, то упругая пластинка приходитъ въ колебательное движеніе и металлическій штифтъ производитъ на оловѣ соотвѣтствующія углубленія. Затѣмъ приёмникъ *m* удаляютъ и валикъ приводятъ въ первоначальное положеніе. Если помѣстить приёмникъ *m* на прежнее мѣсто и привести во вращеніе валикъ, то штифтъ снова попадаетъ въ углубленія оловяннаго листа, вслѣдствіе чего упругая пластинка повторяетъ прежнія колебанія, которыя во время перваго движенія были вызваны звуковыми волнами. Поэтому въ воздухѣ возникаютъ тѣ же волны, т. е. колеблющаяся пластинка воспроизводитъ звуки, послужившіе причиной ея первоначальныхъ колебаній.

Эдисонъ въ послѣдствіи значительно усовершенствовалъ свой фонографъ. Листъ оловянной фольги воспринимаетъ и воспроизводитъ лишь самыя грубыя составныя части звука. Звуковыя движенія гораздо лучше воспринимаются и повторяются валикомъ изъ твердаго воска. Вращеніе, которое должно быть, разумѣется, чрезвычайно равномернымъ и которое должно происходить одинаково быстро при полученіи и при воспроизведеніи звука, производится маленькимъ электромоторомъ. Съ увеличеніемъ скорости вращенія отдѣльные тоны, какъ, напримѣръ, произносимыя слова, не только слѣдуютъ быстрѣе другъ за другомъ, но и становятся вмѣстѣ съ тѣмъ выше.

377. Человѣческое ухо въ существенныхъ чертахъ есть чисто механической аппаратуры, снабженный, разумѣется, нервами для воспріятія движеній, которыя при помощи механическихъ частей передаются отъ воздушныхъ волнъ на слуховой нервъ. Но изъ всѣхъ существующихъ механическихъ аппаратовъ ухо организовано, безъ сомнѣнія, наиболѣе тонко. Небольшого количества энергіи, которое мы называемъ фунтофутомъ (приблизительно $\frac{1}{8}$ килограмметра), было бы достаточно, чтобы производить ощущаемые для уха звуки въ теченіе свыше 3000 лѣтъ.

При помощи уха мы не только узнаемъ о существованіи звуковыхъ волнъ, но и получаемъ свѣдѣнія о строеніи этихъ волнъ, т. е. мы получаемъ различныя впечатлѣнія отъ волнъ различнаго рода. Что касается собственно музыкальныхъ тоновъ, то ухо воспринимаетъ тоны отъ 16 до 40000 колебаній въ секунду приблизительно. Нижній предѣлъ, впрочемъ, зависитъ до нѣкоторой степени отъ силы тона и отъ способа, которымъ онъ получается. Верхняя граница у различныхъ людей различна. Всѣ тоны въ этихъ предѣлахъ различаются легко и только вблизи верхняго предѣла тоны различаются не съ такой увѣренностью. Въ музыкѣ пользуются вообще только тонами съ колебаніями отъ 40 до 4000, т. е. приблизительно семью октавами.

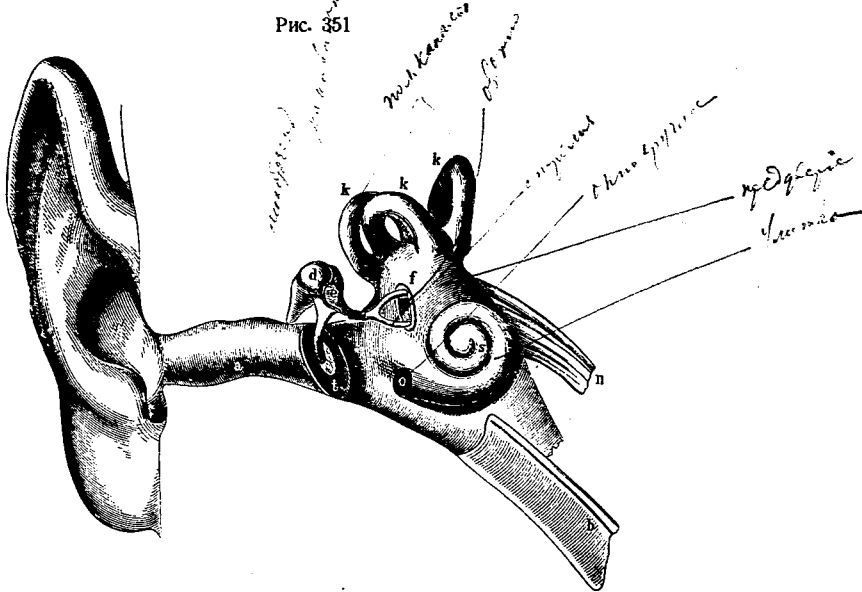
Ухо въ состояши также различать форму отдѣльныхъ волнъ, т. е. тембръ или оттѣнокъ различныхъ тоновъ. Больше того—ухо способно воспринимать одновременно цѣлый рядъ волнъ и разлагать комплексъ этихъ волнъ на отдѣльныя составныя части.

Этотъ удивительный механической инструментъ послужилъ, разумѣется, предметомъ тщательнаго изслѣдованія анатомовъ и физиковъ. Изъ результатовъ этого изученія отмѣтимъ важнѣйшіе. Ушная раковина собираетъ звуковыя волны, которыя черезъ слуховой проходъ *a* доходятъ до барабанной перепонки (рис. 351, *л*). Барабанная перепонка отдѣляетъ наружное ухо отъ барабанной полости, также наполненной воздухомъ; въ ней находятся три маленькія косточки: молоточекъ, наковальня и

стремя. При помощи Евстахіевой трубы барабанная полость сообщается съ глоткой. Эти трубы впервые были описаны итальянскимъ врачомъ и анатомомъ Бартоломео Евстахіемъ (ум. въ 1574 г.). Евстахіева труба при глотаніи или зѣваніи открывается и способствуетъ тому, что воздухъ барабанной полости всегда находится подъ тѣмъ же давленіемъ, что и внѣшній воздухъ. Это необходимо, потому что иначе каждое измѣненіе внѣшняго давленія влекло бы за собой напряженіе барабанной перепонки. Внезапное измѣненіе давленія воздуха вызываетъ шумъ въ унахъ, который, однако, исчезаетъ, если проглотить немного слюны.

Три упомянутыя косточки представляютъ соединеніе между барабанной перепонкой и кожей, закрывающей „овальное окно“, по отношенію къ которому стремя играетъ роль поршня. Такъ какъ внутреннее ухо, въ которое ведетъ овальное окно,

Рис. 351



Органъ слуха.

наполнено жидкостью, то давленіе въ этомъ мѣстѣ должно быть велико. Упомянутыя механическія соединительныя части устроены поэтому такимъ образомъ, что движеніе на протяженіи отъ барабанной перепонки до окна уменьшается до $\frac{1}{20}$ приблизительно, и сила, согласно началу возможныхъ перемѣщѣній (§ 134), увеличивается въ соответственной степени. Кожица, закрывающая овальное окно, представляетъ по величинѣ $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{20}$ барабанной перепонки. Своеобразная форма барабанной перепонки также играетъ существенную роль при этомъ преобразованіи движенія и давленія. Поверхность ея не совершенно плоская, но образуетъ по направленію внутрь воронкообразное углубленіе, ручка молоточка касается ея посрединѣ. Боковыя линіи этой воронки нѣсколько выгнуты наружу. Гельмгольцъ указываетъ, что звуковая волна можетъ значительно измѣнять кривизну этихъ боковыхъ линій, не смѣщая замѣтно

концовъ, подобно тому, какъ концы лука сближаются сравнительно лишь очень мало, если оттягивать тетиву отъ лука. Вслѣдствіе этого значительное движеніе звуковой волны переходитъ въ болѣе слабое въ мѣстѣ прикрѣпленія молоточка, а давленіе и натяженіе усливаются въ той же степени.

Внутреннее ухо, которое должно воспринимать и различать эти слабыя движенія, конечно, должно быть хорошо защищено отъ вліянія постороннихъ сотрясеній. Поэтому оно окружено очень крѣпкими костями. Наполненное жидкостью пространство, лабиринтъ, состоитъ изъ трехъ отдѣленій: преддверія, дуговыхъ ходовъ или полукружныхъ каналовъ и улитки. Послѣдняя начинается затянутымъ кожей отверстіемъ, называемымъ круглымъ окномъ (о). Еслибы этого окна не существовало, то стремя не могло бы привести въ колебаніе кожу овалнаго окна, такъ какъ стѣнки лабиринта, за исключеніемъ обоихъ оконъ, состоятъ изъ костей. Звуковыя волны распространяются по жидкости отъ овалнаго окна къ круглому и дѣйствуютъ на расположенные здѣсь органы.

Къ послѣднимъ относятся тонкія развѣтвленія слухового нерва въ преддверіи, маленькія известковыя частички (отолиты, слуховой песокъ) и тонкіе волоски, расположенные въ полукружныхъ каналахъ, которые, безъ сомнѣнія, при извѣстныхъ колебаніяхъ приходятъ въ движеніе, такъ какъ они находятся въ связи съ нервными волокнами. Предполагаютъ, что роль отолитовъ состоитъ въ слѣдующемъ: они обладаютъ болѣею массой, чѣмъ слуховые волоски, и поэтому не могутъ быть приведены столь же быстро въ движеніе, но зато сохраняютъ его болѣе продолжительное время, тогда какъ слуховыя волокна, обладая меньшей массой, легче приходятъ въ колебаніе, но и быстрѣе останавливаются, вслѣдствіе чего они всегда готовы къ воспріятію новаго движенія.

Наиболѣе замѣчательнымъ органомъ является, безспорно, улитка. Перегородкой она дѣлится по всей длинѣ на два хода, называющіеся лѣстницей преддверія (*scala vestibuli*) и барабанной лѣстницей (*scala tympani*). Первый свободно сообщается съ преддверіемъ, второй оканчивается у кожицы круглаго окна. На верхушкѣ улитки оба хода сообщаются благодаря отверстію въ перегородкѣ и барабанная лѣстница отдѣляется отъ преддверія только тонкой кожей. Сама перегородка частью состоитъ изъ кости, частью изъ кожицы. Эта кожа двойная и содержитъ такъ называемый Кортіевъ органъ, открытый въ 1851 году итальянцемъ графомъ Корти. Этотъ органъ въ высшей степени напоминаетъ собою сложный струнный инструментъ. Состоитъ онъ изъ множества палочекъ, образующихъ попарно дугу; онѣ находятся въ связи съ волокнами и волосками, между которыми расположены нервныя развѣтвленія.

Предполагали, что Кортіевъ органъ представляетъ собою инструментъ, въ которомъ каждый отдѣльный тонъ, колебанія коего распространяются отъ овалнаго до круглаго окна черезъ улитку, приводитъ въ колебаніе звучащую одинаково съ нимъ струну такъ называемымъ симпатическимъ образомъ (§ 355). Это колебаніе достигаетъ сознанія при посредствѣ соотвѣтствующаго нерва. Если это предположеніе правильно, то легко понять, что каждый тонъ долженъ производить особое ощущеніе. Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ каждый тонъ дѣйствуетъ на соотвѣтствующую струну и проводится особымъ нервомъ, то образуется привычка относить ощущеніе къ тому нервному волокну, которое его принесло. Слуховой нервъ, какъ и нервы концовъ пальцевъ, несомнѣнно такъ же мало въ состояніи различать, раздражается ли онъ 300 или 400

колебаніями въ секунду. Но сознаніе легко отличаетъ, имѣетъ ли оно дѣло съ нервомъ для передачи 300 колебаній или съ нервомъ для 400, подобно тому, какъ оно отличаетъ раздраженіе указательнаго пальца отъ средняго.

Впрочемъ, строеніе и дѣйствіе Кортіева органа, несмотря на самыя тщательныя изслѣдованія, еще не вполне выяснены и приведенная гипотеза является скорѣе предположеніемъ, чѣмъ дѣйствительнымъ объясненіемъ.

Но фактъ тотъ, что механизмъ уха способенъ исполнять свою удивительную задачу, и нѣтъ никакого сомнѣнія, что мы имѣемъ здѣсь дѣло съ инструментомъ, по тонкости строенія не имѣющимъ себѣ равнаго во всемъ мірѣ. Но для механизма нѣтъ и болѣе высокой задачи, какъ служить орудіемъ воспріятія явленій духовнаго міра.

Природа свѣта

Ц в ѣ т а

378. Уже Аристотелю было извѣстно (ср. § 108), что нельзя видѣть предметъ, помѣстивъ его очень близко передъ самымъ глазомъ. Онъ замѣтилъ также, что одинъ и тотъ же предметъ кажется окрашеннымъ различнымъ образомъ въ зависимости отъ среды, черезъ которую свѣтъ проходитъ на пути отъ предмета къ глазу. Такъ, солнце сквозь туманъ кажется краснымъ, между тѣмъ какъ въ ясную погоду оно свѣтитъ бѣлымъ свѣтомъ. Эта разница въ окраскѣ солнца происходитъ, по мнѣнію Аристотеля, отъ того, что въ туманѣ свѣтъ солнца смѣшивается съ „темнотой“, а красный цвѣтъ не что иное, какъ смѣсь извѣстнаго количества свѣта съ определеннымъ количествомъ „темноты“. Если свѣтъ смѣшивается съ темнотой въ другомъ отношеніи, то возникаютъ другіе цвѣта, которые, по Аристотелю, можно наблюдать въ радугѣ, представляющей отраженіе солнца въ темныхъ облакахъ. Итакъ, цвѣта, согласно этому взгляду, представляютъ смѣсь свѣта съ большимъ или меньшимъ количествомъ темноты.—Эти разсужденія Аристотеля служатъ прекраснымъ примѣромъ того, какъ опасно строить теоріи на единичныхъ наблюденіяхъ. Красный цвѣтъ солнца несомнѣнно обусловливается туманомъ, но онъ вовсе не происходитъ отъ примѣси темноты,—скорѣе, наоборотъ, причиной его является поглощеніе свѣта туманомъ. Аристотелевская теорія цвѣтовъ, какъ и многіе другіе его взгляды, считалась, однако, справедливой въ продолженіе всѣхъ среднихъ вѣковъ.

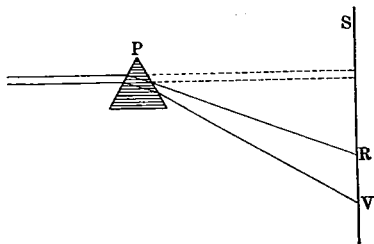
379. Такъ какъ грекамъ было извѣстно (§ 94) зажигательное стекло, то можно съ увѣренностью утверждать, что они также знали, что радужные цвѣта получаются при преломленіи свѣта въ зажигательномъ стеклѣ. Сенека (2—66 по Р. Х.) въ своемъ большомъ сочиненіи по естествознанію (*Quaestiones naturales*) упоминаетъ о томъ, что предметы, разсматриваемые черезъ граненое стекло, имѣютъ окрашенные края, въ которыхъ цвѣта радуги (красный, желтый, зеленый, сиій, фіолетовый) слѣдуютъ другъ за другомъ въ обычной послѣдовательности. Сенека называлъ эти цвѣта „не настоящими“ въ противоположность дѣйствительнымъ цвѣтамъ радуги. Впослѣдствіи ихъ назвали „*apparente*“, т. е. кажущимися цвѣтами, теперь ихъ называютъ также призматическими цвѣтами, такъ какъ они получаются обыкновенно при помощи стеклянной призмы.

Лишь въ серединѣ XVII вѣка эти призматическіе цвѣта были подробнѣе изслѣдованы Маркомъ Марци (1595—1667), профессоромъ медицины въ Прагѣ. На рис. 352 изображенъ выполненный имъ опытъ. Онъ пропустилъ на стеклянную призму *p* пучокъ солнечныхъ лучей, которые преломились въ призмѣ и по выходѣ изъ нея были приняты на бѣлый экранъ *S*; на послѣднемъ они дали цвѣтное изображение, значительно большее того, которое ожидалъ увидѣть Марци. А именно, параллельные

лучи свѣта не только были отклонены призмой, но и разсѣивались, образуя такимъ образомъ на экранѣ цвѣтную полосу *RV*.

Въ этомъ изображеніи на экранѣ цвѣта были расположены въ обычномъ порядкѣ радуги. Вверху, т. е. ближе всего къ первоначальному направленно пучка лучей, изображеніе было краснаго цвѣта, ниже желтаго, зеленаго, синяго, а на нижнемъ концѣ, наиболѣе удаленномъ отъ первоначальнаго направленія лучей, — фіолетоваго. Въ своемъ сочиненіи, относящемся къ 1648 г., Марци очень опредѣленно высказывается по поводу этого факта, утверждая, что лучи свѣта, неодинаково сильно преломляющіеся, даютъ различные цвѣта. На-

Рис. 352



Опытъ М. Марци.

менѣе преломляющіеся лучи кажутся красными, наиболѣе преломляющіеся — фіолетовыми. Тому же изслѣдователю мы обязаны еще однимъ важнымъ наблюдениемъ. Онъ отмѣчаетъ, что свѣтъ, однажды преломившійся, при вторичномъ преломленіи сохраняетъ свою окраску. Происхожденіе цвѣтовъ Марци объяснялъ неправильнымъ допущениемъ, будто различная степень преломленія вызываетъ различное гущеніе (конденсацію) свѣта.

380. Много вниманія удѣляли „кажущимся“ цвѣтамъ въ XVII вѣкѣ. Поводомъ къ

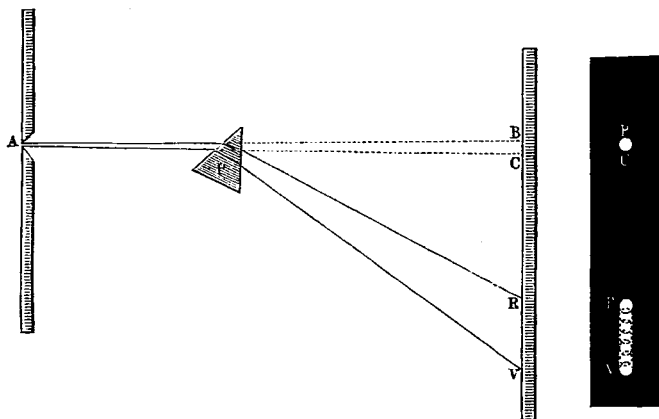
этому служило то неприятое обстоятельство, что предметы, разсматриваемые черезъ недавно изобрѣтенную тогда зрительную трубу, казались окруженными цвѣтной каймой. Различные ученые, какъ, напримѣръ, Декартъ и Робертъ Гукъ, пытались объяснить происхожденіе этихъ цвѣтовъ, но безуспѣшно. Лишь Ньютону удалось сдѣлать это. Въ 1666 г. онъ началъ рядъ изслѣдованій, которыя привели къ простому объясненію природы цвѣтовъ.

Онъ производилъ свои опыты въ темной комнатѣ. Черезъ отверстіе *A* въ ставнѣ (рис. 353) въ $\frac{1}{4}$ дюйма въ поперечникѣ онъ пропускалъ пучокъ солнечныхъ лучей въ темную комнату. На противоположной стѣнѣ, на разстояніи 22 дюймовъ получалось бѣлое солнечное изображеніе *BC*. Затѣмъ онъ ставилъ на пути лучей призму *P*. Если преломляющее ребро призмы было направлено вверхъ, то лучи отклонялись внизъ и получалась цвѣтная полоса такой же ширины, какъ и солнечное пятно, но въ пять разъ длиннѣе. Въ этомъ удлиненномъ изображеніи, которое Ньютонъ назвалъ спектромъ, онъ, подобно Марци, нашелъ главные цвѣта радуги: красный, желтый, зеленый, синий и фіолетовый со всѣми промежуточными оттѣнками. — Прежде всего онъ убѣдился, что нельзя искать объясненія происхожденія цвѣтовъ въ неодинаковой длинѣ пути, проходимаго въ призмѣ различными лучами, — предположеніе, высказанное ранѣе Кеплеромъ. Ньютонъ придавалъ призмѣ различныя положенія и давалъ отверстію *A* различныя формы, но въ цвѣтахъ спектра не наблюдалось никакого измѣненія.

Далѣе Ньютонъ старался рѣшить, не служитъ ли причиной окрашиванія неоднородность стекла призмы, и пробовалъ помѣшать образованію спектра, заставляя лучи, разсѣянные призмой, проходить черезъ вторую призму, расположенную обратно первой (рис. 354). Къ своему удивленію онъ замѣтилъ, что теперь на стѣнѣ появи-

лось бѣлое круглое изображение солнца. Этотъ опытъ показалъ, что призма несколько не мѣшала ходу лучей, но опредѣленнымъ образомъ вліяла на него: вторичное преломленіе (въ противоположномъ направленіи) вновь приводитъ къ первоначальному положенію, т. е. снова даетъ бѣлый свѣтъ. Изъ того обстоятельства, что свѣтъ, послѣ одного преломленія окрашенный, послѣ вторичнаго преломленія

Рис. 353



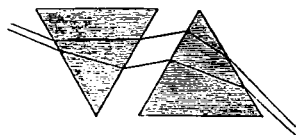
Спектръ Ньютона

снова становится бѣлымъ, Ньютонъ сдѣлалъ важный выводъ, что первоначальный бѣлый свѣтъ уже до вступленія въ первую призму представляетъ смѣшеніе цвѣтныхъ лучей, которые разсѣиваются потому, что отклоняются призмой въ различной степени. Если затѣмъ во второй призмѣ (рис. 354) они въ такой же мѣрѣ преломляются въ обратномъ направленіи, то различные цвѣта вновь сливаются и снова даютъ бѣлый свѣтъ.

Съ цѣлю подробнѣе изслѣдовать этотъ вопросъ Ньютонъ произвелъ рядъ опытовъ. Онъ заставилъ, напримѣръ, свѣтъ, разсѣянный призмой, падать на собирающее стекло (рис. 355). Цвѣтные лучи, собранные чечевицей, дали на экранѣ бѣлое (неокрашенное) пятно свѣта.

Такимъ образомъ Ньютонъ нашелъ, что бѣлый солнечный свѣтъ содержитъ лучи различныхъ цвѣтовъ и что каждый изъ этихъ лучей имѣетъ свой опредѣленный показатель преломленія. Красные лучи преломляются слабѣе, а фіолетовые—сильнѣе остальныхъ. Но если бѣлый солнечный лучъ проходить черезъ призму, то цвѣта отдѣляются другъ отъ друга и эти разсѣянные лучи даютъ на экранѣ спектръ. Бѣлый цвѣтъ есть, слѣдовательно, смѣсь всевозможныхъ цвѣтовъ.— Это можно хорошо показать слѣдующимъ образомъ. Черезъ А (рис. 353) свѣтовой лучъ падаетъ на призму P, которая разсѣиваетъ лучъ такъ, что образуется спектръ RV. При вращеніи призмы вокругъ оси, параллельной преломляющему ребру, спектръ движется по стѣнѣ вверхъ и внизъ; если вращать

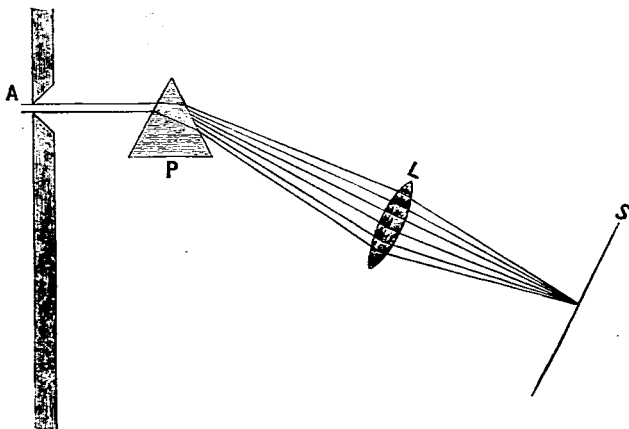
Рис. 354



Противоположное дѣйствіе двухъ призмъ.

призму очень быстро, то одно и то же мѣсто экрана будет окрашиваться различными цвѣтами, очень быстро слѣдующими одинъ за другимъ. Если смотрѣть на это мѣсто, то изъ него въ глазъ будутъ попадать лучи различныхъ цвѣтовъ; эти цвѣтовые впечатлѣнія будутъ слѣдовать одно за другимъ такъ быстро, что одно не успѣетъ исчезнуть, какъ появится новое. И такъ какъ свѣтовое впечатлѣнiе зритель-

Рис. 355

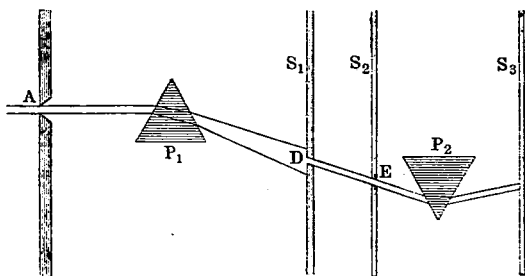


Соединенiе цвѣтныхъ лучей въ бѣлый свѣтъ.

наго нерва сохраняется въ теченiе нѣкотораго промежутка времени (ср. § 111), то всѣ эти различные цвѣтовые ощущенiя сольются въ одно, а именно, въ ощущенiе бѣлага свѣта.

381. Очень важно было убѣдиться въ томъ, что лучи различныхъ цвѣтовъ преломляются неодинаково сильно. Ньютонъ доказалъ это слѣдующимъ опытомъ. Призмой P_1 (рис. 356) бѣлый солнечный свѣтъ разсѣивается, такъ что на экранѣ S_1 ,

Рис. 356



Экспериментум crucis (рѣшающiй опытъ).

получается спектръ. Черезъ узкое отверстiе D въ этомъ экранѣ можетъ пройти дальше только одинъ цвѣтной лучъ, который попадаетъ на экранъ S_2 , снабженный, подобно

первому, отверстию E . Пройдя сквозь это отверстие, лучъ попадаетъ на призму P_2 и послѣ прохождения сквозь нее падаетъ на третій экранъ S_3 . Свѣтовой лучъ, падающій на призму P_2 , сохраняетъ направленіе DE при всевозможныхъ условіяхъ.— Вращая первую призму P_1 , Ньютонъ могъ заставить пройти черезъ отверстие D и попасть на призму P_2 любой изъ цвѣтныхъ лучей; при этомъ онъ замѣтилъ, что пятно свѣта на послѣднемъ экранѣ занимало наивысшее положеніе, если оно было фіолетовымъ, и самое нижнее, если было краснымъ. Это доказываетъ, что при прохожденіи черезъ призму P_2 красные лучи преломляются меньше, а фіолетовые больше всего.

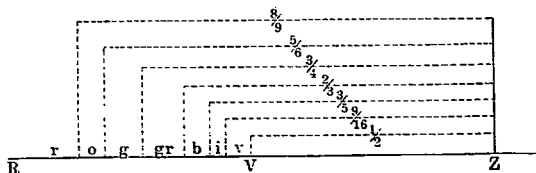
Изъ этого опыта непосредственно слѣдовало также, что простой (монокроматической) свѣтъ послѣ преломленія уже не разлагается на новые цвѣта. Узкій пучокъ лучей DE не разсѣивался призмой и лучи по выходѣ изъ нея были параллельными.

Ньютонъ придавалъ этому опыту и двумъ указаннымъ его слѣдствіямъ большое значеніе и назвалъ его *experimentum crucis*. Слово крестъ (*crux*) напоминаетъ крестъ на перекресткѣ, указывающій дорогу. Ньютонъ хотѣлъ этимъ выразить мысль, что этотъ опытъ указываетъ правильный путь къ пониманію происхожденія призматическихъ цвѣтовъ.

382. Каждый цвѣтной лучъ даетъ свое особое изображеніе солнца и два цвѣтныхъ луча, лежащихъ рядомъ, даютъ два изображенія солнца, расположенныя въ спектрѣ почти на одномъ и томъ же мѣстѣ и поэтому отчасти налагающіяся другъ на друга. Въ такомъ спектрѣ цвѣта, слѣдовательно, не чисты.

Какъ разобраться въ спектрѣ? Нанѣ глазъ не въ состояніи замѣтить слабыя отбѣнки въ цвѣтахъ. Ньютонъ предложилъ различать въ спектрѣ семь главныхъ цвѣтовъ: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синій, фіолетовый. Границы между отдѣльными цвѣтами онъ опредѣлилъ слѣдующимъ образомъ. Пусть RV будетъ длина всего спектра (рис. 357); на той же прямой отложимъ отрѣзокъ VZ , равный RV , и примемъ длину RZ за 1. Тогда разстояніе отъ Z до фіолетоваго цвѣта равно половинѣ. Разстояніе отъ Z до синяго цвѣта Ньютонъ положилъ равнымъ $\frac{9}{16}$, до

Рис. 357



Ньютонovo раздѣленіе спектра.

голубого $\frac{3}{5}$, до зеленого, желтаго, оранжеваго и краснаго соответственно $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ и $\frac{8}{9}$ и до конца краснаго, слѣдовательно, равнымъ 1. Какъ легко видѣть, эти числа представляютъ длины струнъ, тоны которыхъ образуютъ минорную гамму:

$$1/2 : 9/16 : 3/5 : 2/3 : 3/4 : 5/6 : 8/9 : 1.$$

Это дало поводъ говорить о семи „оптическихъ“ тонахъ, и нѣкій П. Кастелли разработалъ даже планъ оптическаго музыкальнаго инструмента, оптическаго органа, который при помощи цвѣтовъ долженъ былъ производить на глазъ такое же пріятное

впечатлѣніе, какое аккордъ производитъ на ухо. Но этотъ планъ былъ основанъ на недоразумѣніи, такъ какъ раздѣленіе спектра было сдѣлано Ньютономъ совершенно произвольно. Это раздѣленіе должно было дать способъ фиксировать опредѣленныя точки въ спектрѣ. Въ настоящее время мы достигаемъ этого при помощи показателей преломленія различныхъ цвѣтовъ (ср. § 391).

Ньютонъ пользовался этимъ раздѣленіемъ также для того, чтобы опредѣлить, въ какомъ отношеніи необходимо смѣшать цвѣта для полученія бѣлаго цвѣта. Такого рода опытъ можно произвести слѣдующимъ образомъ. Круглая пластинка дѣлится на семь секторовъ, площади которыхъ пропорціональны ширинѣ семи главныхъ цвѣтовъ спектра; эти секторы раскраиваются въ соответствующіе цвѣта. Если затѣмъ привести пластинку въ быстрое вращеніе, то глазъ получитъ впечатлѣнія всѣхъ цвѣтовъ въ одномъ мѣстѣ, и такъ какъ впечатлѣнія отдѣльныхъ секторовъ дѣйствуютъ на зрительный нервъ почти одновременно, то пластинка покажется намъ бѣлой. Такъ какъ, однако, наши краски не могутъ вполне передать призматическіе цвѣта красками, то у насъ получится, конечно, не вполне чистый бѣлый цвѣтъ.

Рис. 358



Цвѣтной кружокъ.

383. Легко объяснить, почему предметы сквозь призму кажутся намъ окаймленными цвѣтными краями. Ньютонъ пропускаетъ свѣтъ черезъ щель на призму и полученный затѣмъ спектръ принимаетъ на экранѣ. Ширина щели приблизительно равняется ширинѣ призмы. Полученное изображеніе было по срединѣ бѣлымъ, но край его на одномъ концѣ былъ краснаго цвѣта, на другомъ фіолетоваго.

Ньютонъ далъ правильное объясненіе также этому явленію. Именно, призма даетъ цѣлый рядъ цвѣтныхъ изображеній щели, которыя по срединѣ сливаются и даютъ бѣлый цвѣтъ. Каждая изъ полосокъ свѣта, на которыя можно мысленно раздѣлить щель по длинѣ, даетъ на экранѣ свой спектръ, причемъ каждый послѣдующій лежитъ немного выше (или ниже, смотря по положенію призмы) предыдущаго. Вслѣдствіе этого въ срединѣ изображенія всѣ цвѣта сливаются и даютъ бѣлый свѣтъ, между тѣмъ какъ на одномъ концѣ остается красное, а на другомъ фіолетовое изображеніе щели, цвѣта которыхъ не могутъ слиться съ другими въ бѣлый.

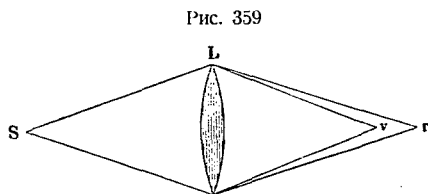
Ньютонъ установилъ далѣе, что при прохожденіи черезъ линзы свѣтъ испытываетъ также не только преломленіе, но и разсѣяніе, вслѣдствіе чего изображенія въ зрительной трубѣ становятся неясными. Еще раньше при помощи вычисленій было найдено, что линза должна ограничиваться не шаровыми поверхностями, если желательнo имѣть отчетливыя изображенія. Но и тѣ линзы, которыя шлифовались согласно этимъ указаніямъ, давали неясныя изображенія съ мутноватою окраскою. Дѣло въ томъ, что эти вычисленія были правильны только для лучей съ однимъ опредѣленнымъ показателемъ преломленія. Такимъ образомъ, эти линзы дали бы ясное и единственное изображеніе лишь въ томъ случаѣ, еслибы свѣтящееся тѣло испускало лишь одинъ родъ цвѣтныхъ лучей. Если же оно испускаетъ бѣлый свѣтъ, то линза даетъ нѣсколько изображеній. Если, напримѣръ, изъ точки S на линзу L падаетъ бѣлый свѣтъ (рис. 359), то изображеніе этой точки будетъ различное для лучей

различныхъ цвѣтовъ. Фиолетовые лучи, преломляющіеся наиболѣе сильно, собираются въ точкѣ *v*, красные, преломляющіеся наиболѣе слабо, — въ точкѣ *r*. Изображеніе точки *S* будетъ, слѣдовательно, линіей *vr*. Такимъ образомъ, линза не можетъ дать отчетливаго изображенія точки *S*, потому что лучи, исходящіе изъ одной точки, не собираются снова въ одной точкѣ.

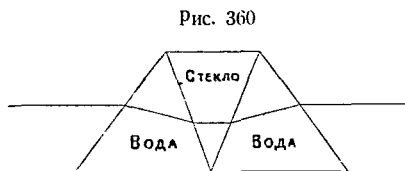
Ньютонъ былъ того мнѣнія, что преломленіе и свѣторазсѣяніе неразрывно связаны другъ съ другомъ и что отношеніе между величиной преломленія и величиной разсѣянія всегда одно и то же независимо отъ преломляющей среды. Отсюда онъ вывелъ заключеніе, что устранить свѣторазсѣяніе нельзя, не устранивъ вмѣстѣ съ тѣмъ и преломленія, и что, слѣдовательно, при помощи линзы невозможно получать ясныя изображенія. Поэтому онъ рекомендовалъ зеркальные телескопы (ср. § 291).—Этотъ взглядъ Ньютона впослѣдствіи оказался ошибочнымъ. Вопросъ снова былъ поднятъ лишь въ 1747 г. Эйлеромъ (II, § 230), который написалъ статью объ усовершенствованіи объективовъ зрительныхъ трубъ.

Конечно, Эйлеръ не могъ оспаривать правильности опытовъ Ньютона, изъ которыхъ вытекало, что призма, уничтожая разсѣяніе другой призмы, уничтожаетъ и ея преломленіе (ср. § 380).

Но онъ указалъ на то, что глазъ даетъ неокрашенныя изображенія и что поэтому должно быть возможно получить системы стеколъ, не дающихъ окраиванія (ахроматическія), путемъ сочетанія различныхъ линзъ. Семь лѣтъ спустя ниведскому математику Самуилу Клингеншерне (1698—1765) также удалось доказать теоретически, что утвержденіе Ньютона, будто свѣторазсѣяніе можетъ быть устранено только вмѣстѣ съ преломленіемъ, ошибочно. Клингеншерне, наоборотъ, пришелъ къ выводу, что послѣ устраненія преломленія свѣторазсѣяніе часто сохраняется. Онъ послалъ свою статью въ Лондонъ оптику Джону Доллонду, который занимался опытами полученія ахроматическихъ стеколъ, на что его направила работа Эйлера. Доллондъ пропускалъ лучъ свѣта черезъ стеклянный сосудъ, наполненный водой, въ которомъ находилась стеклянная призма. Свѣтъ проходилъ, слѣдовательно, черезъ двѣ водяныя призмы и одну стеклянную (рис. 360). Доллондъ расположилъ опытъ такъ, что свѣтовой лучъ выходилъ изъ стекляннаго сосуда по тому же направленію, но которому онъ входилъ туда, и замѣтилъ, что въ этомъ случаѣ выходящій лучъ былъ окрашенъ. Здѣсь, слѣдовательно, преломленіе было устранено, а свѣторазсѣяніе не было. Тогда Доллондъ сталъ пытаться устранить



Дѣйствіе простаго собирательнаго стекла.

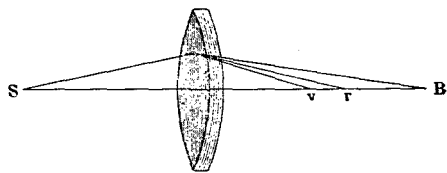


Опытъ Доллонда.

свѣторазсѣяніе, сохраняя преломленіе; это ему удалось при помощи комбинаціи двухъ линзъ — одной изъ кронгласа, другой изъ флинтгласа. Флинтгласъ разсѣиваетъ свѣтъ сильнее, чѣмъ кронгласъ. Эта сложная линза Доллонда состояла изъ собирательной линзы изъ кронгласа и разсѣивающей линзы изъ флинтгласа. Собирательная

линза одна дала бы изображеніе свѣтящейся точки въ видѣ цвѣтной линіи rv (рис. 361), гдѣ r обозначаетъ точку, въ которой сходятся красные лучи, а v —фіолетовые. Но непосредственно за собирающей линзой изъ кронгласа находится разсѣивающая линза изъ флинтгласа. Она преломляетъ фіолетовые лучи сильнѣе, чѣмъ красные,

Рис. 361



Ахроматическая линза.

такъ что два такихъ луча сходятся въ точкѣ B . Двойная линза дѣйствуетъ, слѣдовательно, подобно собирающему стеклу, но свѣторазвѣше, производимое одной линзой, уничтожается другой.

Эти двойныя линзы все же не абсолютно свободны отъ окрашивания. На практикѣ онѣ, вообще говоря, устраниваются такъ, что соединяются не красный

цвѣтъ съ фіолетовымъ, а желтокрасный съ зеленоголубымъ.

384. Открытіемъ этихъ такъ называемыхъ ахроматическихъ стеколъ Доллондъ далъ толчокъ дѣлу усовершенствованія телескопа, изображенія въ которомъ благодаря этимъ линзамъ значительно улучшились. Онѣ находятъ теперь широкое примѣненіе въ телескопахъ и микроскопахъ.

Доллондъ былъ по происхожденію французъ и родился въ 1706 г. Родители его вслѣдствіе отмѣны Нантскаго Эдикта эмигрировали въ Англію. Молодой Доллондъ рано лишился родителей и изучилъ тканье шелковыхъ матерій, но въ свободное время занимался различными науками, особенно оптикой и астрономіей. Своего сына Петра онъ отдалъ въ ученье къ оптику и въ 1752 г. основалъ вмѣстѣ съ нимъ мастерскую оптическихъ инструментовъ. Въ то же время онъ вступилъ въ сношенія съ Royal Society и самъ сталъ его членомъ, а также королевскимъ оптикомъ. Онъ умеръ въ 1761 г.

385. Ньютонова теорія происхожденія цвѣтовъ позволила дать болѣе правильное объясненіе явленію радуги. Аристотель (§ 378) объяснялъ радугу, какъ смѣшанное съ „темнотой“ изображеніе солнца въ облакахъ. Онъ зналъ также, каково должно быть положеніе радуги по отношенію къ солнцу. Радуга всегда находится напротивъ солнца, а центръ ея дуги лежитъ на продолженіи линіи, проведенной отъ солнца къ глазу наблюдателя. И такъ какъ радіусъ радуги всегда одинъ и тотъ же, то вообще радуга невозможна, когда солнце стоитъ на небѣ очень высоко. Чѣмъ ниже солнце, тѣмъ выше надъ горизонтомъ радуга.

Аристотелю было также извѣстно, что, кромѣ главной радуги, бываетъ иногда вторая радуга, параллельная первой, въ которой цвѣта расположены въ обратномъ порядкѣ. Въ главной радугѣ внѣшній край краснаго цвѣта, а внутренній фіолетоваго. во вторичной радугѣ наоборотъ: внѣшній край фіолетоваго, а внутренній краснаго цвѣта. Сенека, который часто соглашался съ взглядами Аристотеля, тоже считалъ радугу отраженіемъ солнца. Причину же того, что это изображеніе во много разъ больше самого солнца, онъ находилъ въ томъ, что въ водѣ все увеличивается.

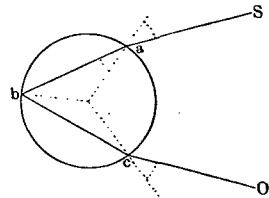
386. Эти разсужденія, однако, не даютъ дѣйствительнаго объясненія радугѣ. Радуга образуется не только потому, что свѣтъ отражается въ дождевыхъ капляхъ, но и потому, что онъ преломляется въ этихъ прозрачныхъ капляхъ. Это мнѣніе впервые было высказано Вителло, современникомъ Р. Бэкона, и затѣмъ развито

дальше въ сочиненіи саксонскаго монаха Теодориха (Theodoricus de Saxonia), написанномъ въ 1311 г., но изданномъ Вентури лишь въ 1814 г. (Commentari sopra la storia e la teoria dell'ottica). Идеи Теодориха, такимъ образомъ, не оказали никакого вліянія на дальнѣйшее развитіе теоріи радуги, но заслуживаютъ, конечно, быть отмѣченными здѣсь.

Теодорихъ правильно и точно описываетъ путь свѣтового луча въ каплю воды. Лучъ свѣта, идя по направленію Sa (рис. 362), вступаетъ въ каплю по направленію ab , отражается въ точкѣ b (полное внутреннее отраженіе, § 107) и выходитъ по направленію cO . Глазъ, находящійся на прямой cO , получаетъ, слѣдовательно, свѣтъ, два раза преломленный и одинъ разъ отраженный.

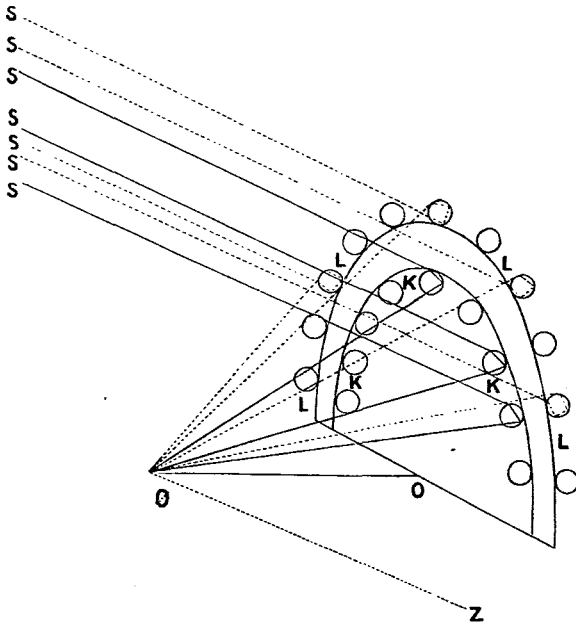
Лучи такого свѣта, подвергшагося двойному преломленію и одному отраженію, могутъ попасть въ глазъ въ O (рис. 363) отъ всѣхъ капель, расположенныхъ на окружности KK , центръ которой лежитъ на прямой, проведенной отъ солнца къ O . Въ самомъ дѣлѣ, всѣ эти капли по отношенію къ падающимъ лучамъ SSS и глазу O находятся въ одинаковомъ положеніи. Разъ въ глазъ O попадаетъ свѣтъ отъ одной изъ этихъ капель, то въ него

Рис. 362



Путь свѣтового луча въ каплѣ воды.

Рис. 363



Главная и вторичная радуга.

попадетъ и свѣтъ отъ всѣхъ остальныхъ, — дуга, образованная этими каплями, покажется поэтому свѣтящейся. Это и есть, говоритъ Теодорихъ, главная радуга.

Но глазъ воспринимаетъ свѣтъ и отъ цѣлаго ряда водяныхъ капель (LL), лежащихъ на окружности внѣ главной радуги. Солнечный лучъ встрѣчаетъ каждую изъ этихъ капель въ A (рис. 364), преломляется по направленію къ B , отражается отсюда въ C , а отъ C въ D , откуда выходитъ по направленію DO .

Свѣтъ отъ капель LL (рис. 363) нѣсколько слабѣе, чѣмъ свѣтъ отъ капель KK , такъ какъ онъ отражается два раза, а при каждомъ отраженіи часть свѣта пропадаетъ, т. е. разсѣивается въ воздухъ. Вслѣдствіе этого дуга LL не такъ ярка, какъ дуга KK . Поэтому ее и называютъ вторичной радугой.

Эти разсужденія Теодориха даютъ въ существенномъ правильное объясненіе радуги. Но величину радуги и происхожденіе цвѣтовъ Теодорихъ объяснить не могъ, такъ какъ ему не былъ извѣстенъ законъ преломленія (ср. § 106).

387. Происхожденіе цвѣтовъ радуги объяснилъ при помощи красиваго опыта Антоній де Доминисъ (1566—1624). Онъ наполнилъ стеклянный шаръ водою и выставилъ его на солнечный свѣтъ. Часть свѣта проходила черезъ шаръ, другая часть отражалась (рис. 365) и оказалось, что какъ прошедшіе лучи, такъ и отраженные были окрашены. Доминисъ объяснилъ происхожденіе цвѣтовъ предположеніемъ, что

Рис. 364

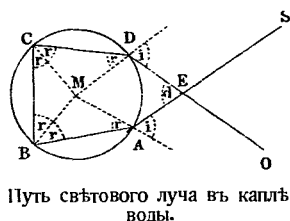
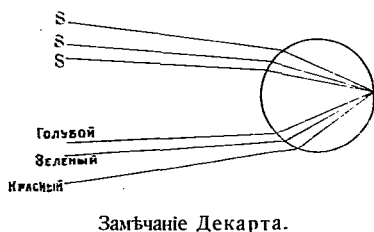


Рис. 365



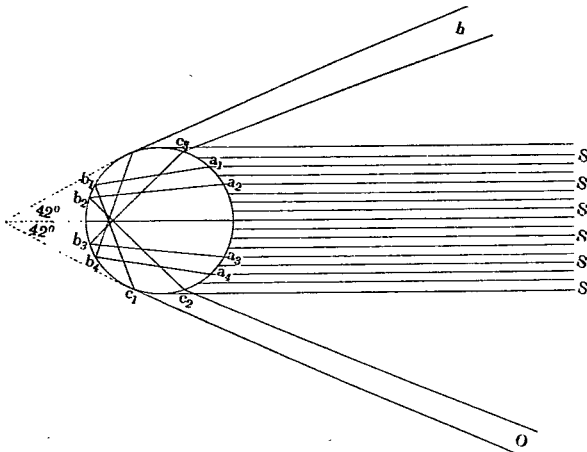
Замѣчаніе Декарта.

самый нижній лучъ смѣшанъ съ меньшимъ количествомъ „темноты“, чѣмъ остальные, такъ какъ онъ проходитъ въ капль болѣе короткій путь. На этомъ основаніи нижній лучъ долженъ быть краснымъ, верхній фіолетовымъ, а промежуточные лучи должны дать остальные цвѣта. Этотъ опытъ впоследствии былъ повторенъ Декартомъ, которому уже былъ извѣстенъ законъ преломленія свѣта. Декартъ замѣтилъ, что цвѣта радуги, которые при извѣстномъ положеніи шара располагаются въ порядкѣ: фіолетовый, синий, зеленый, желтый и красный, исчезаютъ и затѣмъ располагаются въ обратномъ порядкѣ, если поднять шаръ выше. Это, очевидно, соответствуетъ внутренней и внѣшней радугѣ. Декартъ замѣтилъ, что наполненный водою шаръ несетъ свѣтъ глазу лишь при вполне опредѣленныхъ положеніяхъ, именно, когда прямая, идущая отъ шара къ глазу, образуетъ опредѣленный уголъ съ прямой, соединяющей глазъ наблюдателя и солнце. Тогда онъ вычислилъ, въ какомъ направленіи должны идти солнечные лучи, которые, падая параллельно на каплю воды, преломляются при паденіи, подвергаются отраженію внутри капли и вновь преломляются при выходѣ изъ нея. Пусть S, S', S'' (рис. 366) будутъ параллельные солнечные лучи. Они отчасти отражаются отъ поверхности капли, отчасти вступаютъ въ каплю и идутъ по пути, указанному на рис. 362 или 364. Изъ вычисленій Декартъ нашелъ, что лучи, отразившіеся одинъ разъ внутри капли (рис. 362), выходятъ, разу-

мѣтся, по различнымъ направлѣнiямъ, но главнымъ образомъ по одному опредѣленному направлѣнiю $сО$ (рис. 366), образуемому съ направлѣнiемъ падающихъ солнечныхъ лучей уголъ въ 42° . Только по этому направлѣнiю глазъ получаетъ отъ капли сильное свѣтовое ощущенiе. Поэтому глазу въ точкѣ O кажутся сильно свѣтящимися тѣ капли, которыя расположены на окружности съ центромъ въ точкѣ пересѣченiя прямой „солнце—глазъ наблюдателя“ съ небеснымъ сводомъ и которыя отстоятъ отъ этой точки на 42° .

Однако, лучъ можетъ пройти каплю также путемъ, указаннымъ на рис. 364, отразившись внутри нея два раза. Декартъ и въ этомъ случаѣ нашелъ аналогiю съ тѣмъ, что происходитъ съ лучами при однократномъ отраженiи. Лучи выходятъ главнымъ образомъ по направлѣнiю, образуемому съ направлѣнiемъ къ солнцу уголъ

Рис. 366



Декартово вычисленiе относительно радуги.

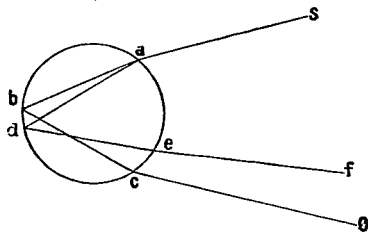
въ 52° . Глазъ въ точкѣ O получаетъ, слѣдовательно, сильный свѣтъ какъ отъ капель, расположенныхъ на окружности KK (рис. 363), точки которой удалены на 42° отъ точки пересѣченiя линiи „солнце—глазъ наблюдателя“ съ небеснымъ сводомъ, такъ и отъ капель на окружности LL , точки которой удалены отъ упомянутого мѣста на 52° . Отъ KK (главной радуги) получается болѣе сильный свѣтъ, такъ какъ здѣсь имѣетъ мѣсто только одно отраженiе. Свѣтъ, идущiй отъ LL , значительно слабѣе, и цвѣта расположены, въ согласiи съ опытомъ Декарта, въ обратномъ порядкѣ.

388. Итакъ, Декартъ при помощи своихъ вычисленiй далъ объясненiе тому, что радиусъ радуги (выраженный въ дуговыхъ мѣрахъ) всегда одинъ и тотъ же, а также тому, что разстонiе вторичной радуги отъ главной равно приблизительно 10° . Но объяснить происхожденiе ея цвѣтовъ ему не удалось, такъ какъ это было невозможно безъ Ньютоновой теорiи цвѣтовъ. Разсматривая путь луча въ капляхъ, дающихъ главную радугу, мы найдемъ, что при входѣ въ каплю (въ a , рис. 367) лучъ разсѣивается; пусть ab означаетъ крайнiй красный лучъ, а ad крайнiй фиолетовый. Послѣ отраженiя въ b и d , первый лучъ выходитъ нзъ капли по направлѣнiю $сО$, а

второй по направлению *ef*. Глаз, находящийся в *O*, видит только красный луч— одинаково как из разсматриваемой капли, так и из всѣхъ остальныхъ, находящихся въ такомъ же положеніи. Далѣе, тотъ же глазъ получаетъ желтый свѣтъ отъ капель, непосредственно слѣдующихъ за тѣми, изъ которыхъ идетъ красный, именно отъ расположенныхъ внутри круга первыхъ капель. Далѣе за ними слѣдуютъ круги капель, отъ которыхъ глазъ получаетъ зеленый, голубой и фіолетовый свѣтъ.

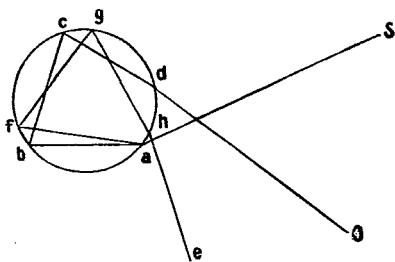
Во вторичной радугѣ цвѣта вслѣдствіе двойного отраженія слѣдуютъ въ обратномъ порядкѣ. Путь такого свѣтового луча показанъ на рис. 368. Лучъ вступаетъ въ каплю въ точкѣ *a* и при этомъ разсѣивается. Красный лучъ идетъ по направленію *abcdO*, а фіолетовый по направленію *afghe*. Здѣсь, слѣдовательно, фіолетовый

Рис. 367



Цвѣта въ главной радугѣ.

Рис. 368



Цвѣта во вторичной радугѣ.

лучъ образуетъ большій уголъ съ направлениемъ солнечныхъ лучей, чѣмъ красный. Поэтому во вторичной радугѣ внѣшній край фіолетовый, а внутренний красный.

Промежутокъ между главной радугой и вторичной кажется немного болѣе темнымъ, чѣмъ пространство внутри главной радуги и внѣ вторичной, такъ какъ эти двѣ дуги представляютъ границы отраженныхъ свѣтовыхъ лучей.

Кромѣ главной радуги и отстоящей отъ нея на 10° вторичной могутъ получаться еще и другія радуги, если солнечные лучи будутъ отражаться въ каплѣ болѣе двухъ разъ. Но эти радуги очень блѣдны и поэтому рѣдко бываютъ видны. Удобнѣе всего можно наблюдать ихъ, направивъ при помощи зеркала сильный солнечный свѣтъ на падающія капли фонтана. Этимъ путемъ французскому физику Билле удалось наблюдать не менѣе 19 различныхъ радугъ.

Нужно также замѣтить, что съ радугой связаны и другія оптическія явленія, напримѣръ, образованіе цвѣтныхъ полосъ внутри главной радуги и внѣ первой изъ вторичныхъ радугъ. Объясненіе этихъ явленій требуетъ обширныхъ вычисленій, которыхъ мы не можемъ привести здѣсь. Для пониманія ихъ необходимо такое знаніе другихъ оптическихъ явленій, которыя будутъ разсмотрѣны нами лишь впоследствии.

389. Бѣлый солнечный свѣтъ содержитъ, какъ мы видимъ, лучи различнаго рода, а именно, лучи различной преломляемости. Наименѣе преломляющіеся лучи мы назвали „красными“, наиболѣе преломляющіеся— „фіолетовыми“. Между красными и фіолетовыми лежатъ желтые, зеленые и синіе лучи. Это не значитъ, что лучи эти сами по себѣ имѣютъ цвѣтъ. Всѣ свѣтовые лучи сами по себѣ невидимы. Мы не видимъ свѣтового луча, когда онъ проходитъ передъ нами. Можно, конечно, видѣть полосу свѣта, которая, напримѣръ, проникаетъ черезъ замочную скважину въ темноту¹⁰

комнату, но это лишь потому, что мы видимъ свѣтъ, отражающійся отъ пылинокъ, разсѣянныхъ въ воздухѣ. Такое свѣтовое ощущеніе можетъ быть сильнѣе или слабѣе и глазъ въ состояніи, хотя бы въ слабой степени, различать болѣе сильный свѣтъ отъ болѣе слабого. Но родъ свѣтового ощущенія зависитъ отъ степени преломляемости свѣта. Если мы воспринимаемъ впечатлѣніе отъ смѣси лучей всѣхъ возможныхъ степеней преломляемости и если отдѣльныя составныя части этой смѣси находятся между собой въ томъ же отношеніи, что и въ солнечномъ свѣтѣ, то глазъ получаетъ впечатлѣніе свѣта, которое нервы передаютъ сознанію однимъ опредѣленнымъ образомъ. Если же свѣтовое впечатлѣніе вызывается лучами только одной преломляемости, то мы воспринимаемъ его инымъ образомъ. Эти различныя по роду свѣтотыя впечатлѣнія мы различаемъ, какъ ощущенія различныхъ цвѣтовъ. Наименѣе преломляющіеся лучи даютъ ощущеніе краснаго цвѣта, немного болѣе преломляющіеся — желтаго и т. д.

Если свѣтъ, идущій отъ какого-нибудь предмета, вызываетъ то же свѣтовое ощущеніе, что и солнечный свѣтъ, то мы называемъ предметъ бѣлымъ. Предметъ, посылающій „красные“ лучи, мы называемъ краснымъ и т. д. Цвѣта предметовъ зависятъ, такимъ образомъ, отъ степени преломляемости посылаемыхъ ими лучей свѣта. Говоря, что листья деревьевъ зелены, мы указываемъ, что листья отражаютъ зеленые лучи солнечнаго свѣта, поглощая въ болѣе или меньшей мѣрѣ остальные лучи.

Есть много веществъ, какъ, напримѣръ, безцвѣтное стекло, которыя пропускаютъ различныя свѣтовые лучи въ одинаковой степени. Бѣлый свѣтъ при прохожденіи черезъ подобную среду не испытываетъ поэтому никакихъ измѣненій. Другіе (окрашенные) сорта стекла, напротивъ того, пропускаютъ лишь лучи свѣта опредѣленной преломляемости: „красное стекло“ только красные лучи, „зеленое стекло“ лишь зеленые лучи и т. д. Это, однако, не слѣдуетъ понимать въ томъ смыслѣ, что пропускаемый свѣтъ въ буквальномъ смыслѣ слова одноцвѣтный (монокроматическій), т. е. что всѣ лучи его преломляются совершенно одинаково. Черезъ красное стекло проходитъ цѣлый рядъ близкихъ другъ къ другу красныхъ лучей, дающихъ смѣшанный красный цвѣтъ. Дальше мы увидимъ, что способность жидкостей поглощать извѣстные лучи солнечнаго свѣта получила практическое примѣненіе.

Въ большинствѣ случаевъ предметъ имѣетъ одинъ и тотъ же цвѣтъ безразлично, получаетъ ли глазъ отраженный отъ предмета свѣтъ или прошедшій сквозь него. Кусокъ краснаго стекла кажется краснымъ и въ отраженномъ и въ проходящемъ свѣтѣ. Причину этого явленія слѣдуетъ искать въ томъ, что свѣтъ отражается не геометрической поверхностью стекла: лучи нѣсколько проникаютъ въ самое стекло и отражаются отъ внутреннихъ его частей. Если стекло обладаетъ свойствомъ поглощать всѣ лучи кромѣ красныхъ, то отраженный свѣтъ такъ же, какъ и проходящій, будетъ краснымъ. Еслибы отраженіе свѣта происходило дѣйствительно только отъ поверхности стекла, то, разумѣется, бѣлый свѣтъ, отражаясь, долженъ былъ бы дать бѣлый свѣтъ. Нѣкоторыя же вещества въ этомъ отношеніи обладаютъ замѣчательными свойствами. Если капль раствора фуксина дать высохнуть на стеклянной пластинкѣ, то полученное пятно въ проходящемъ свѣтѣ будетъ казаться краснымъ, а въ отраженномъ — зеленымъ. Это происходитъ потому, что зеленые лучи отъ поверхности отражаются, а при прохожденіи свѣта сквозь вещество поглощаются. То же самое обнаруживаютъ и цвѣтные металлы: золото отражаетъ преимущественно

красные и желтые лучи, но тонкая просвѣчивающая золотая пластинка пропускаетъ, зеленый свѣтъ.

390. Говоря вообще, предметъ имѣетъ одинъ изъ тѣхъ цвѣтовъ, которые содержатся въ падающемъ на него свѣтѣ. Если, напримѣръ, предметъ освѣщается краснымъ свѣтомъ, то онъ кажется окрашеннымъ въ болѣе или менѣе яркій красный цвѣтъ. Зеленый листъ въ красныхъ лучахъ виденъ крайне слабо, но все же кажется краснымъ. Зеленый листъ сквозь красное стекло кажется краснымъ, именно потому, что зеленый листъ отражаетъ отъ своей поверхности красные лучи. Существуютъ, однако, вещества, испускающія свѣтъ другой преломляемости, чѣмъ тотъ, который па нихъ падаетъ. Уже въ XVI вѣкѣ одинъ испанскій ученый сдѣлалъ наблюденіе, впоследствии болѣе точно описанное Аванасіемъ Кирхеромъ и Робертомъ Бойлемъ. Позднѣе это интересное явленіе было забыто и впервые вновь имъ занялся Гёте.

Аванасій Кирхеръ получилъ въ подарокъ кубокъ изъ одного американскаго дерева (*Apocarpium*). Кирхеръ замѣтилъ, что вода, находившаяся нѣсколько времени въ этомъ кубкѣ, оставаясь совершенно чистой, пріобрѣтала своеобразный голубой цвѣтъ. Лучи свѣта, проходившіе сквозь воду, не были цвѣтными, но вода пріобрѣтала свойство испускать голубой свѣтъ. Бойль также изслѣдовалъ это явленіе и нашель, что вода, бывшая въ соприкосновеніи съ этимъ деревомъ, въ проходящемъ свѣтѣ казалась золотистожелтой, а въ отраженномъ голубой.

Это замѣчательное оптическое свойство вода пріобрѣтаетъ, разумѣется, потому, что растворяетъ какую-то составную часть упомянутаго дерева. Гёте нашель, что кора конскаго каштана дѣйствуетъ на воду подобнымъ же образомъ. Если свѣтъ падаетъ на этотъ растворъ, то онъ отражаетъ чистый голубой свѣтъ. Если же смотрѣть сквозь растворъ, то предметы кажутся желтыми. Въ 1833 году Брустеръ нашель, что растворъ зеленаго красящаго вещества листьевъ (хлорофилла) въ спиртѣ кажется на солнцѣ темнокраснымъ. Брустеръ наблюдалъ также, что плавиковый шпатель свѣтитъ на солнцѣ голубымъ цвѣтомъ. Съ тѣхъ поръ найдено было много веществъ, свѣтящихся на солнцѣ собственнымъ свѣтомъ. Однимъ изъ наиболѣе извѣстныхъ веществъ такого рода является керосинъ.

Англійскій физикъ Стоксъ произвелъ цѣлый рядъ тщательныхъ изслѣдованій для объясненія природы флуоресценціи (это названіе произошло отъ плавиковога шпата, содержащаго элементъ фторъ = *Fluor*). Онъ направлялъ солнечный спектръ на стеклянный сосудъ съ прозрачнымъ флуоресцирующимъ растворомъ сѣрниокислаго хинина. Красные, желтые, зеленые и голубые лучи пропускались жидкостью, фіолетовые же лучи дѣйствовали такъ, что жидкость становилась свѣтящейся и испускала голубоватый свѣтъ. Невидимые лучи, лежащіе за фіолетовымъ концомъ спектра, такъ называемые ультрафіолетовые, также дѣлаютъ жидкость свѣтящейся. По Стоксу этотъ процессъ заключается въ томъ, что жидкость поглощаетъ фіолетовые и ультрафіолетовые лучи и испускаетъ синіе. А такъ какъ фіолетовые и ультрафіолетовые лучи преломляются сильнѣе, чѣмъ синіе, то объясненіе это можно формулировать и такъ: флуоресцирующее вещество поглощаетъ нѣкоторые лучи и взаменъ ихъ испускаетъ другіе, меньшей преломляемости.

Найдено было, что свѣтъ вольтовой дуги содержитъ гораздо больше ультрафіолетовыхъ лучей, чѣмъ солнечный свѣтъ. Стоксъ получалъ спектръ электрическаго

свѣта при помощи призмы изъ горнаго хрустала, которая, въ противоположность стеклянной призмѣ, пропускаетъ ультрафіолетовые лучи. Принимая этотъ спектръ на флуоресцирующее вещество, напримѣръ, на бумагу, покрытую солью урана, Стоксъ замѣчалъ, что получался спектръ въ шесть—семь разъ длиннѣе обыкновеннаго видимаго спектра. При помощи явленій флуоресценціи можно, такимъ образомъ, обнаружить существованіе невидимыхъ ультрафіолетовыхъ лучей.

391. Разсматривая солнечный спектръ, мы видимъ безчисленное множество цвѣтовъ и цвѣтныхъ оттѣнковъ отъ темнокраснаго цвѣта до темнофіолетоваго. Глазъ не въ состояніи опредѣлить съ точностью границы отдѣльныхъ цвѣтовъ, но каждый отдѣльный цвѣтной лучъ мы можемъ опредѣлить физически—при помощи его показателя преломленія, если этотъ послѣдній можетъ быть вполнѣ точно измѣренъ. Мы имѣемъ, такимъ образомъ, точный признакъ цвѣта въ величинѣ преломленія. Что же касается ощущенія цвѣта, то желтый цвѣтъ, напримѣръ, можетъ быть обусловленъ не только желтыми лучами спектра, но также и извѣстной смѣсью другихъ цвѣтовъ спектра. Смѣшивая красные и зеленые лучи, можно получить всѣ промежуточные цвѣта. Зеленые и фіолетовые лучи вмѣстѣ могутъ дать голубой цвѣтъ. Существуютъ, однако, три цвѣта—красный, зеленый и фіолетовый,—которыхъ нельзя получить смѣшеніемъ другихъ цвѣтовъ и которые поэтому называются основными цвѣтами. Изъ нихъ, путемъ смѣшенія, могутъ быть получены всѣ остальные цвѣта, и такъ какъ всѣ цвѣта вмѣстѣ даютъ бѣлый цвѣтъ, то и три основные цвѣта должны дать при смѣшеніи бѣлый цвѣтъ. Опыты надъ смѣшеніемъ цвѣтовъ производятся при помощи кружка, изображеннаго на рис. 358 (ср. § 382).

Если раскрасить этотъ кружокъ тремя основными цвѣтами, краснымъ, зеленымъ и фіолетовымъ, и привести его во вращеніе, то получится впечатлѣніе бѣлаго цвѣта, если, конечно, раскрашенные секторы находятся другъ къ другу въ надлежащемъ отношеніи. Когда секторы раскрашены только въ зеленый и фіолетовый цвѣтъ попеременно, то вращающійся кружокъ кажется зеленоголубымъ. Если поэтому вращать кружокъ съ нанесенными на немъ красными и зеленоголубыми секторами попеременно, то онъ покажется бѣлымъ. Два цвѣта, вмѣстѣ дающіе бѣлый, называются дополнительными цвѣтами, и всякому цвѣту соответствуетъ другой, дополняющій его до бѣлаго. Если написать названія цвѣтовъ въ 10 секторовъ круга, какъ указано на рис. 369, то каждая пара діаметрально противоположныхъ названій указываетъ дополнительные цвѣта.

Чистые дополнительные цвѣта можно получить при помощи спектра. Если пропустить пучокъ лучей сквозь призму и задержать экраномъ *S* (рис. 370) изъ всѣхъ цвѣтныхъ лучей только красные, а остальные пропустить черезъ собирательное стекло, то па экранѣ *B* они, соединившись, дадутъ зеленоголубое пятно. Если изъ солнечнаго свѣта исключить красные лучи, то остальные, конечно, образуютъ вмѣстѣ дополнительный цвѣтъ для краснаго.

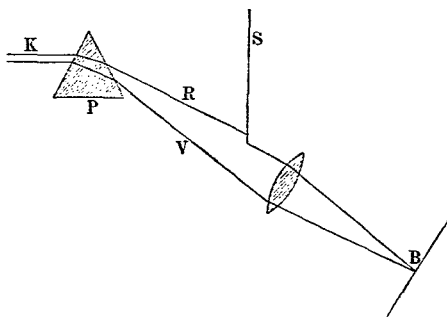
392. Довѣрять способности глаза различать цвѣта нельзя. Бѣлый цвѣтъ не всегда ощущается, какъ бѣлый. Если долго и пристально смотрѣть на красный кружокъ, укрѣпленный на бѣлой стѣнѣ, а затѣмъ перевести взглядъ на стѣну, то въ теченіе нѣкотораго времени глазъ еще продолжаетъ видѣть изображеніе кружка,—первыя нѣсколько мгновеній въ его настоящемъ цвѣтѣ, а затѣмъ въ дополнительномъ. Происхожденіе этихъ такъ называемыхъ субъективныхъ цвѣтовъ объясняется прежде всего тѣмъ, что свѣтовое впечатлѣніе сохраняется въ теченіе нѣкто-

раго промежутка времени, а затѣмъ также и тѣмъ, что зрительный нервъ утомляется лучами одного цвѣта и потому становится сравнительно болѣе чувствительнымъ къ дополнительнымъ лучамъ. Когда мы перестаемъ смотрѣть на красный кружокъ, глазъ еще сохраняетъ въ теченіе нѣсколькихъ мгновеній впечатлѣніе краснаго цвѣта, но вскорѣ затѣмъ оно исчезаетъ и дополнительные къ красному цвѣту зеленые лучи, изъ испускаемыхъ бѣлой стѣной, даютъ субъективное зеленое изображеніе.

Рис. 369



Рис. 370



Дополнительные цвѣта.

Разсматривая различныя краски, наложенныя одна возлѣ другой, мы замѣчаемъ, что онѣ своеобразно вліяютъ другъ на друга: возникаютъ такъ называемые контрастные цвѣта. Ихъ можно видѣть, напримѣръ, разсматривая сѣрый кружокъ на цвѣтномъ фонѣ. Если положить, напримѣръ, сѣрую облатку на зеленую бумагу, то она будетъ казаться красноватой, а на красной бумагѣ—зеленоватой. Для того чтобы цвѣта гармонировали другъ съ другомъ, каждому цвѣту долженъ отвѣчать лежащій возлѣ него контрастный, по крайней мѣрѣ въ томъ случаѣ, когда есть только два цвѣта. Если же число цвѣтовъ больше двухъ, то соотношенія не такъ просты и никакихъ обязательныхъ правилъ въ этихъ случаяхъ указать нельзя.

393. Ньютонъ представилъ свою работу о цвѣтахъ въ Royal Society въ 1672 г. Семью годами раньше появилось замѣчательное сочиненіе о свѣтѣ, авторъ котораго, умершій еще въ 1663 г. іезуитскій патеръ Франческо Гримальди, былъ учителемъ въ іезуитской коллегіи въ Болоньѣ. Весьма вѣроятно, что сочиненіе это появилось только послѣ смерти автора вслѣдствіе его боязни вызвать столкновенія, такъ какъ содержащее это сочиненія находилось въ противорѣчій съ общепринятыми въ то время взглядами.

Гримальди пропускалъ свѣтъ въ темную комнату черезъ узкое отверстіе и вводилъ въ полосу свѣта палку, тѣнь отъ которой падала на бѣлую стѣну. Къ своему удивленію Гримальди замѣтилъ, что самая темная часть тѣни была шире, чѣмъ слѣдовало бы по закону прямолинейнаго распространенія свѣта. Кромѣ того по обѣимъ сторонамъ тѣни онъ замѣтилъ цвѣтныя полосы, а при ближайшемъ разсмотрѣніи наніель такого же рода свѣтлыя цвѣтныя полосы въ самой тѣни.—Для объясненія происхожденія этихъ полосъ Гримальди пришлось допустить, что свѣтъ распространяется не только по прямой линіи, какъ это принималось до тѣхъ поръ, но что при

соприкосновеніи съ предметомъ, бросающимъ тѣнь, онъ идетъ криволинейно и отчасти попадаетъ внутрь тѣни, отчасти наружу.

Чтобы убѣдиться въ томъ, что измѣненіе направленія свѣта не зависѣло ни отъ какихъ преломленій или отраженій отъ палки, Гримальди вмѣсто палки взялъ непрозрачную пластинку съ маленькимъ круглымъ отверстіемъ для прохожденія свѣта. Тогда оказалось, что круглое пятно свѣта на экранѣ было больше, чѣмъ оно должно было бы быть, еслибы солнечные лучи распространялись прямолинейно.

Гримальди измѣнилъ затѣмъ опытъ въ томъ смыслѣ, что пустилъ свѣтъ черезъ два маленькихъ отверстія такимъ образомъ, что два свѣтовыхъ пятна отчасти налагались другъ на друга. То мѣсто на экранѣ, куда падалъ свѣтъ отъ обоихъ отверстій, было свѣтлѣе того, которое получало свѣтъ только черезъ одно изъ отверстій, но въ болѣе освѣщенной части свѣтового пятна можно было замѣтить темныя (цвѣтныя) кольца. Какъ только одно изъ отверстій закрывалось, темныя кольца исчезали; стоило открыть его—и они снова появлялись. Итакъ, свѣтъ одного изъ отверстій, падая на свѣтовое пятно, образованное свѣтомъ другого, вызывалъ его затемненіе. Этимъ опытомъ Гримальди доказалъ такимъ образомъ, что свѣтъ, присоединяясь къ свѣту, можетъ дать темноту.

394. Свойства свѣта, замѣченныя Гримальди, до тѣхъ поръ были совершенно неизвѣстны. Никто въ то время не зналъ, что свѣтъ можетъ заходить за углы, что свѣтовой лучъ, смотря по обстоятельствамъ, можетъ усиливать или ослаблять свѣтъ другого луча. Гримальди не удалось, правда, вполне объяснить замѣченныя имъ явленія. Онъ сравнивалъ свѣтлыя и темныя круги пятна свѣта на экранѣ съ круговыми волнами, которыя образуетъ камень, брошенный въ воду. Возвышенія волны соотвѣтствуютъ свѣтлымъ, а долины ея—темнымъ кругамъ. Въ заключеніе онъ говоритъ: „И подобно тому, какъ волны вокругъ камня представляютъ не что иное, какъ скопленіе воды съ выемкой вокругъ, такъ и свѣтящаяся полоса суть не что иное, какъ свѣтъ, неравномѣрно распредѣленный вслѣдствіе особаго разсѣянія и прорѣзанный промежутками, наполненными тѣнью (бѣдными свѣтомъ)“.

Представленія Гримальди были правда, очень неясны, но онъ во всякомъ случаѣ догадывался, что свѣтъ есть нѣчто сравнимое съ водяными волнами. Въ томъ же 1665 году, въ которомъ было напечатано это сочиненіе, появилось и знаменитое сочиненіе Роберта Гука „Микрографія“, въ которомъ онъ разсматриваетъ свѣтъ, какъ извѣстный видъ волнообразнаго движенія. Согласно его взгляду свѣтъ состоитъ изъ небольшихъ быстрыхъ колебаній свѣтящагося тѣла. Въ однородномъ тѣлѣ эти колебанія (волны) распространяются во всѣ стороны съ одинаковой скоростью. Волна образуетъ поэтому все увеличивающуюся паровую поверхность, подобно тому какъ волны на водѣ образуютъ увеличивающіеся расходящіеся круги; но свѣтовая волна распространяется несравненно быстрѣ водяной.

395. Въ томъ же году, въ которомъ стали извѣстны опыты Гримальди и волнообразная теорія Гука, Эразмъ Бартолинъ (1625—1698) сдѣлалъ важное открытіе въ области оптики. Бартолинъ принадлежалъ къ вліятельной семьѣ, которая стояла во главѣ Копенгагенскаго университета XVII вѣка. Онъ былъ врачомъ и математикомъ, но занимался также астрономическими и физическими изслѣдованіями. Въ 1664 году онъ писалъ о кометахъ, а въ 1665—о воздухѣ въ Копенгагенѣ. Его открытіе въ оптикѣ касалось явленій преломленія свѣта въ прозрачномъ известковомъ

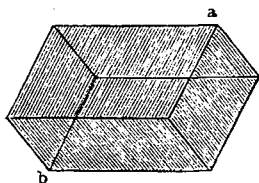
шпатъ, такъ называемомъ исландскомъ. Минераль этотъ прозраченъ, какъ вода, и кристаллизуется въ видъ ромбоздровъ (рис. 372). Бартолинъ нашелъ, что предметы при разсматриваніи черезъ пластинку известковаго шпата кажутся двойными.

Рис. 371



Эразмъ Бартолинъ.

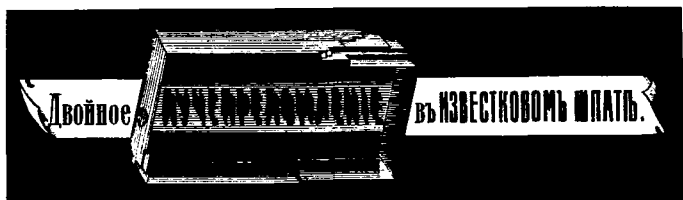
Рис. 372



Ромбоздръ известковаго шпата.

Если отшлифовать поверхность перпендикулярно къ этому направленію въ кристаллѣ и пустить лучъ перпендикулярно къ этой плоскости, то лучъ не раздѣлится и пройдетъ черезъ кристаллѣ безъ преломленія. По направленію оптической оси двойного преломленія не происходитъ.

Рис. 373



Двойное лучепреломленіе.

Свѣтъ изъ одной и той же точки попадаетъ въ глазъ, такимъ образомъ, по двумъ направленіямъ. Известковый шпатъ какъ бы расщепляетъ лучъ свѣта на два луна, изъ которыхъ каждый идетъ своимъ особымъ путемъ. Это видно очень ясно, если положить пластинку известковаго шпата на печатный листъ. Всѣ буквы кажутся тогда двойными (рис. 373).

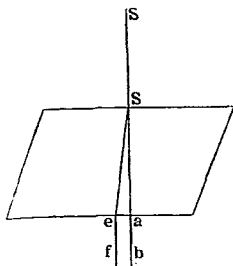
Если лучъ свѣта падаетъ перпендикулярно къ одной изъ боковыхъ поверхностей этого кристалла, то онъ раздѣляется на два луча, изъ которыхъ одинъ входитъ въ кристаллѣ, не преломляясь, другой же преломляется. Выйдя изъ кристалла, оба луча идутъ параллельно (рис. 374).

Если лучъ свѣта падаетъ наклонно къ поверхности кристалла, то онъ дѣлится на два луча, изъ которыхъ одинъ слѣдуетъ обычному закону преломленія, другой же, говоря вообще, удаляется отъ плоскости паденія. Первый обыкновенно называютъ обыкновеннымъ, а второй необыкновеннымъ лучомъ (рис. 374).

Отшлифовавъ природный кристаллѣ известковаго шпата по другимъ направленіямъ, можно замѣтить, что свѣтъ, смотря по направленію луча въ кристаллѣ, преломляется весьма различнымъ образомъ. Въ вершинахъ *a* и *b* (рис. 372) имѣютъ общую вершину три тупыхъ угла. Прямая, образующая въ кристаллѣ такіе же углы съ тремя боковыми поверхностями, называется оптической осью кристалла.

Всякая плоскость, проходящая через оптическую ось кристалла известкового шпата, называется его главнымъ сѣченіемъ. Если лучъ вступаетъ въ плоскости главнаго сѣченія, то оба луча, обыкновенный и необыкновенный, остаются въ плоскости паденія, т. е. въ плоскости главнаго сѣченія, но преломляются неодинаково сильно. Если же плоскость паденія луча не совпадаетъ съ главнымъ сѣченіемъ, то необыкновенный лучъ выходитъ изъ плоскости паденія и его преломленіе для различныхъ угловъ паденія различно, но всегда меньше преломленія обыкновеннаго луча.

Рис. 374



Двойное преломленіе.

Гюйгенсъ (§ 161), а за нимъ многіе другіе изслѣдователи показали, что во всѣхъ кристаллахъ, обладающихъ такъ называемою кристаллографическою главною осью (въ квадратныхъ и гексагональныхъ кристаллахъ), свѣтъ преломляется такимъ же образомъ, какъ и въ известковомъ шпатѣ, т. е. только одинъ изъ лучей подчиняется обыкновенному закону преломленія свѣта. Подобнаго рода кристаллы называются оптически-одноосными. Оптическая ось, т. е. направленіе, для котораго двойнаго преломленія не получается, совпадаетъ съ кристаллографическою главною осью. Въ такъ называемыхъ оптически-двуосныхъ кристаллахъ также существуетъ двойное преломленіе, но ни одинъ изъ двухъ лучей не слѣдуетъ обыкновенному закону преломленія свѣта. Эти кристаллы, такъ называемые ромбическіе, моноклиническіе и триклиническіе, имѣютъ двѣ оптическія оси, т. е. два направленія, для которыхъ не получается двойнаго преломленія. Въ такъ называемыхъ правильныхъ кристаллахъ двойнаго преломленія вообще нѣтъ.

396. Необходимымъ слѣдствіемъ всѣхъ этихъ новыхъ открытій явилась потребность выработать опредѣленный взглядъ на природу свѣта. Можно считать общимъ правиломъ, что накопленіе значительной массы опытнаго матеріала въ наукѣ всегда влечетъ за собой созданіе гипотезы, охватывающей всю эту массу отдѣльныхъ явленій съ одной общей точки зрѣнія. Такая гипотеза (допущеніе, предположеніе) не является, конечно, заключеніемъ изслѣдованія; напротивъ— въ изслѣдованіи природы наиболѣе плодотворной является такая гипотеза, которая вызываетъ новый рядъ важныхъ открытій, затѣмъ становится недостаточной и уступаетъ мѣсто болѣе широкой. Но полезно, даже, можно сказать, необходимо, чтобы изслѣдованіе постоянно охватывало всѣ добытые результаты съ какой-нибудь общей точки зрѣнія, которая могла бы лечь въ основу дальнѣйшей планомѣрной работы. Не слѣдуетъ только забывать при этомъ, что гипотеза вовсе не есть послѣднее слово науки. Гипотеза не даетъ познанія абсолютной истины и не должна поэтому становиться догматомъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ она послужитъ только препятствіемъ для свободнаго изслѣдованія.

По господствовавшему въ древности воззрѣнію свѣтъ состоитъ изъ маленькихъ частицъ, испускаемыхъ свѣтящимся тѣломъ. Этотъ взглядъ высказывался уже Демокритомъ изъ Абдеръ и оставался общепринятымъ въ продолженіе всѣхъ среднихъ вѣковъ.

Гримальди и Гукъ разсматривали свѣтъ, какъ волнообразное движеніе, безъ всякаго опредѣленнаго представленія о родѣ этого движенія.

Ньютонъ сознвалъ всю трудность вопроса о природѣ свѣта и предпочиталъ

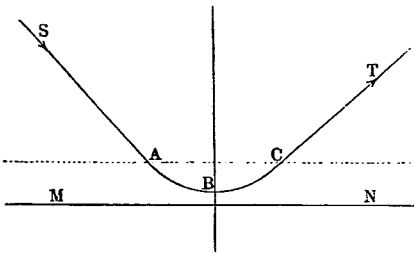
вовсе не высказываться по этому поводу. Сообщая свои открытія относительно происхожденія цвѣтовъ, онъ не касался этого вопроса, а добытые имъ результаты были совершенно независимы отъ представлений о сущности свѣта. Лишь по настоянію своихъ друзей онъ опубликовалъ также и свою теорію свѣта, которая, однако, не вполнѣ удовлетворяла его самого.

397. Ньютонъ принималъ, что всякое свѣтящееся тѣло испускаетъ маленькія частички, которыя при встрѣчѣ съ сѣтчаткой глаза вызываютъ въ насъ ощущеніе свѣта. Различнымъ цвѣтамъ соотвѣтствуютъ различной величины частички, фіолетовымъ лучамъ—самыя маленькія, краснымъ—самыя большія.

Въ этой теоріи отраженіе свѣта объясняется легко. Частички свѣта можно считать упругими тѣлами. Ударяясь о гладкую поверхность, онѣ отражаются такъ, что уголъ отраженія равенъ углу паденія. Трудность при этомъ заключается въ томъ, что если частицы свѣта достаточно малы, то никакая поверхность по отношенію къ нимъ не можетъ быть разсматриваема, какъ плоскость. Ньютонъ поэтому принималъ, что отражающія поверхности отталкиваютъ частички свѣта и что это отталкиваніе направляетъ ихъ по пути, указанному на рис. 375. По этому допущенію частичка свѣта вблизи отражающей поверхности движется по кривой линіи.

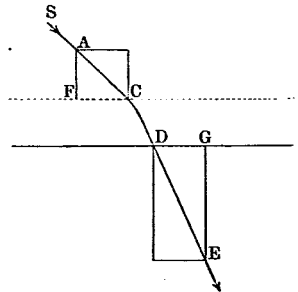
Преломленіе свѣта Ньютонъ объяснялъ допущеніемъ, что между частичками свѣта и преломляющимъ тѣломъ существуетъ извѣстное притяженіе. Частичка свѣта,

Рис. 375



Ньютоново объясненіе отраженія.

Рис. 376



Ньютоново объясненіе преломленія.

приближаясь по пути AC къ такому тѣлу, въ силу этого притяженія идетъ по измѣненному направленію CD (ср. съ движеніемъ брошеннаго тѣла, § 168), а затѣмъ внутри тѣла по направленію DE (рис. 376). Притяженіе вліяетъ только на ту составляющую скорости, которая перпендикулярна къ преломляющей поверхности. Если взять $FC = DG$, то AC и DE будутъ разстоянія, проходимыя въ равные промежутки времени. Еслибы это объясненіе было правильно, то скорость свѣта въ болѣе плотной средѣ должна была бы быть больше. Но Фуко показалъ, что скорость свѣта въ водѣ меньше, чѣмъ въ воздухѣ (§ 288).

398. Главная трудность въ теоріи Ньютона заключается въ томъ, что отраженіе объясняется отталкиваніемъ, а преломленіе—притяженіемъ. Такимъ образомъ, тѣло, одновременно отражающее и преломляющее свѣтъ, по этой теоріи должно было бы нѣкоторыя частички отталкивать, а другія притягивать.

Ньютонъ старался устранить это затрудненіе предположеніемъ, что свѣтовой лучъ содержитъ частички двухъ различныхъ видовъ, изъ которыхъ однѣ легче отражаются, а другія легче преломляются. При помощи этого допущенія Ньютонъ объяснялъ также происхожденіе такъ называемыхъ цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ. Цвѣта эти, которые можно прекрасно наблюдать на мыльныхъ пузыряхъ, были извѣстны уже Бойлю и Гуку. Сталь послѣ нагрѣванія, т. е. покрытая тонкимъ слоемъ окиси, тоже даетъ эти цвѣта. Затѣмъ ихъ можно также наблюдать, когда лучъ свѣта падаетъ на воду, поверхность которой покрыта тонкимъ слоемъ масла.

Для полученія этихъ цвѣтовъ Ньютонъ пользовался слѣдующимъ приборомъ. На стеклянную пластинку накладывалась плосковыпуклая чечевица малой кривизны. Промежутокъ между линзой и пластинкой представлялъ въ такомъ случаѣ узкое пространство въ видѣ клина, занятое воздухомъ. Посрединѣ чечевица касалась стеклянной пластинки, начиная же съ этого мѣста, во всѣ стороны толщина воздушнаго слоя постепенно увеличивалась (рис. 377).

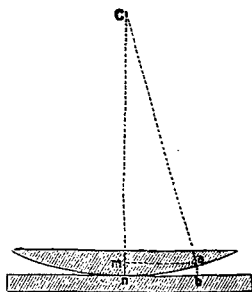
Направляя на эти стекла монохроматическій свѣтъ, напримѣръ, красный, такъ, чтобы, отразившись, онъ попадалъ въ глазъ, Ньютонъ наблюдалъ по срединѣ темное пятно, окруженное свѣтлыми и темными кольцами попеременно. Если на стекла направлялся бѣлый свѣтъ, то середина оставалась темной, но кольца вокругъ нея были цвѣтныя.

Въ проходящемъ свѣтѣ середина казалась свѣтлой и окруженной темными и свѣтлыми кольцами, при чемъ свѣтлыя кольца находились тамъ, гдѣ раньше были темныя, и наоборотъ. При употребленіи монохроматическаго свѣта красное кольцо появлялось въ томъ мѣстѣ, гдѣ раньше было зеленоголубое, т. е. цвѣта въ томъ и другомъ случаѣ дополняли другъ друга.

Ньютону съ самаго начала было ясно, что явленія этихъ цвѣтовъ обуславливаются слоемъ воздуха. Онъ наполнялъ пространство между линзой и стеклянной пластинкой водою и кольца получались такія же, какъ и въ воздухѣ, только значительно меньшихъ размѣровъ.

399. Ньютонъ объяснялъ образованіе этихъ колецъ допусшемъ, что свѣтовая частичка въ лучѣ находится въ различныхъ состояніяхъ, такъ что однѣ изъ нихъ отражаются, другія же преломляются. Если вообразить себѣ свѣтовую частичку въ лучѣ въ видѣ нитки жемчуга, то можно представить, что отдѣльныя жемчужины—то въ одномъ, то въ другомъ состояніи—чередуются другъ съ другомъ попеременно. Нужно также принять, что одна и та же свѣтовая частичка находится то въ одномъ, то въ другомъ состояніи. Происхожденіе Ньютонovýchъ цвѣтныхъ колецъ объясняется въ такомъ случаѣ слѣдующимъ образомъ. Монохроматическій свѣтъ, падая на линзу въ точкѣ соприкосновенія, не отражается, а проходитъ дальше. Свѣтъ же, не проходящій черезъ эту точку, либо отражается отъ пластинки, пройдя слой воздуха, либо вступаетъ въ нее. Будетъ ли имѣть мѣсто то или другое, зависитъ отъ состоянія, въ которомъ свѣтовая частичка достигаетъ пластинки. Если она доходитъ до нея въ „состояніи отраженія“, то она отражается, если же, наоборотъ, въ „состояніи преломленія“, то

Рис. 377



Ньютонovy цвѣтныя кольца.

она преломляется. Если свѣтовая частичка, встрѣчающая пластинку на извѣстномъ разстояніи отъ точки соприкасанія, отражается, то и слѣдующая свѣтовая частичка въ томъ же лучѣ тоже отражается, такъ какъ достигаетъ пластинки тоже въ состояніи „отраженія“. Перемѣна состоянія происходитъ именно въ моментъ встрѣчи съ пластинкой. То же самое происходитъ со слѣдующей свѣтовой частичкой въ лучѣ. Такимъ образомъ, въ соответственномъ мѣстѣ пластинки свѣтъ непрерывно отражается и то же происходитъ во всѣхъ точкахъ, находящихся на одинаковомъ разстояніи отъ средней точки. Свѣтъ, отраженный отъ всѣхъ этихъ точекъ, образуетъ свѣтлое кольцо.

Состояніе, въ которомъ свѣтовая частичка достигаетъ пластинки, зависитъ, очевидно, отъ толщины воздушнаго слоя.—Свѣтовая частичка, встрѣчающая пластинку на болѣе далекомъ разстояніи отъ средней точки, должна пройти черезъ болѣе толстый слой воздуха. Свѣтовые частички достигаютъ пластинки въ „состояніи преломленія“ и поэтому вступаютъ въ нее. За свѣтлымъ кольцомъ слѣдуетъ поэтому темное, за нимъ снова свѣтлое и т. д. То же объясненіе имѣетъ мѣсто и для колецъ въ проходящемъ свѣтѣ. Темному кольцу въ отраженномъ свѣтѣ соответствуетъ свѣтлое кольцо въ проходящемъ свѣтѣ и наоборотъ.

400. Если на линзу падаетъ не монохроматическій свѣтъ, а бѣлый, то свѣтовые частички различныхъ цвѣтовъ мѣняютъ свое „состояніе“ не въ одно и то же время. Мы видимъ поэтому не свѣтлыя и темныя кольца, послѣдовательно идущія одно за другимъ, а кольца различныхъ цвѣтовъ, такъ какъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ частички одного опредѣленнаго цвѣта отражаются, частички дополнительнаго цвѣта вступаютъ въ пластинку.

401. Еслибы тонкая пленка (воздушный слой) была повсюду одинаковой толщины, то отражался бы только свѣтъ опредѣленнаго цвѣта. Ньютонъ былъ того мнѣнія, что всѣ одноцвѣтныя тѣла сами по себѣ прозрачны. Если же они иногда бываютъ непрозрачны, то причина этого заключается въ томъ, что внутри тѣла существуютъ промежутки, наполненные воздухомъ (поры). Но самая поверхность такого непрозрачнаго тѣла состоитъ изъ тонкихъ листочковъ, которые, смотря по своей толщинѣ, отражаютъ тотъ или другой цвѣтъ, и цвѣтъ тѣла есть не что иное, какъ „отражательный цвѣтъ“ этихъ тонкихъ листочковъ.

402. Въ этихъ запутанныхъ соотношеніяхъ Ньютонъ видѣлъ подтвержденіе своего допущенія о періодическомъ измѣненіи состоянія свѣтовыхъ частичекъ. Невольно возникаетъ вопросъ, удовлетворяла ли вполнѣ эта гипотеза самого ея основателя, на что съ увѣренностью можно отвѣтить отрицательно. Тѣмъ не менѣе для объясненія опыта Гримальди Ньютонъ приписывалъ свѣтовому лучу еще другія весьма удивительныя свойства. Мы ограничимся тѣмъ, что было сказано относительно Ньютоновой теоріи свѣта, и не станемъ говорить подробнѣе о его взглядахъ относительно искривленія лучей (диффракціи) и взаимнаго вліянія двухъ свѣтовыхъ лучей. Ньютонова теорія свѣта называется теоріей истечения (теорія эманациі, теорія свѣтовыхъ тѣлецъ), такъ какъ она предполагаетъ, что свѣтящееся тѣло испускаетъ маленькія матеріальныя тѣльца (соприсциа).

Въ настоящее время мы достовѣрно знаемъ, что допущеніе Ньютона было невѣрно. Свѣтъ не состоитъ изъ матеріальныхъ частицъ, испускаемыхъ источникомъ свѣта,—онъ представляетъ собою волнообразное движеніе, какъ объ этомъ догадывались Гримальди и Гукъ.

403. Впервые эта такъ называемая волнообразная теорія свѣта была ясно и исчерпывающимъ образомъ изложена Хр. Гюйгенсомъ. Его трудъ объ этомъ предметѣ появился въ печати въ 1690 году и еще въ 1678 году былъ сообщенъ Парижской Академіи. Ньютонъ былъ знакомъ съ нимъ, но не могъ рѣшиться отказаться отъ теоріи истеченія и перейти къ волнообразной теоріи. Это обстоятельство очень неблагоприятно повліяло на дальнѣйшее развитіе теоріи свѣта, такъ какъ ученики Ньютона упорно держались теоріи своего великаго учителя. Такимъ образомъ, Ньютонъ, говорившій: „я не создаю гипотезъ“, благодаря своему отрицательному отношенію къ Гюйгенсовой волнообразной теоріи сталъ причиной того, что теорія истеченія была возведена въ догматъ.

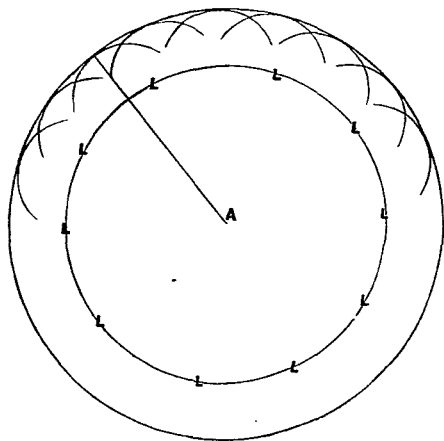
404. Теорія свѣта Гюйгенса въ краткихъ чертахъ состоитъ въ слѣдующемъ. Вся вселенная заполнена чрезвычайно тонкимъ и подвижнымъ веществомъ, такъ называемымъ эфиромъ. Онъ проникаетъ всѣ тѣла и находится всюду. Мировое пространство представляетъ собой какъ бы огромное море эфира. Если въ какомъ-либо мѣстѣ этого моря происходитъ нарушеніе равновѣсія, то отъ этого мѣста расходятся сферическія волны эфира, подобныя кругамъ отъ брошеннаго въ воду камня (ср. § 349). Волнообразное движеніе эфира обусловливается колебаніями его частичекъ такъ же, какъ воздушныя волны—колебаніями частицъ воздуха (§ 343).

То, что мы называемъ свѣтомъ, есть, согласно Гюйгенсу, волнообразное движеніе эфира и свѣтящееся тѣло приводитъ частички эфира въ колебанія, распространяющіяся по всей вселенной въ формѣ волнъ. Когда такая волна эфира попадаетъ въ глазъ, частички эфира поражаютъ зрительный нервъ и вызываютъ ощущеніе свѣта.

405. Если свѣтящаяся точка испускаетъ свѣтъ по всѣмъ направленіямъ, то это означаетъ, что нарушеніе равновѣсія эфира, вызванное свѣтящейся точкой, распространяется по всѣмъ направленіямъ.

Пусть *A* на рис. 378 будетъ свѣтящаяся точка. Если свѣтовая волна, исходящая изъ *A*, въ опредѣленный моментъ доходить до точекъ *LL*, то частички эфира въ этихъ точкахъ произведутъ всѣ одновременно точно такія же движенія, каюя совершала первоначально частичка въ точкѣ *A*. Можно поэтому разсматривать частички эфира въ *LL*, какъ исходныя точки новыхъ волнъ, которыя спустя короткое время образуютъ маленькіе круги съ центрами въ точкахъ *LL*. Всѣ эти малыя волны вмѣстѣ образуютъ одну большую, объемлющую волну, поверхность которой будетъ концентрична съ поверхностью волны *LL*. Всякая прямая, исходящая изъ *A*, т. е.

Рис. 378



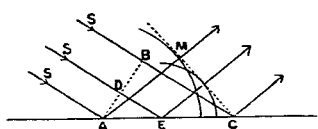
Начало Гюйгенса.

всякій радіусъ сферической волны, называется лучомъ. Когда волна отходитъ далеко

отъ точки A , малую часть ея можно разсматривать, какъ плоскость. Этой малой части поверхности волны соотвѣтствуютъ извѣстное количество лучей, которые можно считать параллельными. Поверхность волны параллельныхъ лучей есть плоскость, перпендикулярная къ направлению лучей.

406. Законъ отраженія Гюйгенсъ выводилъ изъ своей волнообразной теоріи слѣдующимъ образомъ. Пусть SS (Рис. 379) будетъ пучокъ свѣтовыхъ лучей, падающихъ на отражающую стеклянную поверхность. Поверхность волны перпендикулярна къ направлению лучей, которые поэтому достигаютъ отражающей поверхности не одновременно. Лучъ SA доходитъ первымъ, лучъ SB послѣднимъ. Въ тотъ моментъ, когда SA достигаетъ отражающей поверхности, A становится исходнымъ пунктомъ новой волны, распространяющейся отчасти въ воздухѣ, а отчасти въ стеклѣ (въ видѣ полусферы). Пока лучъ SB проходитъ разстояніе отъ B до C , волна, исходящая изъ A , распространяется на такое же разстояніе, т. е. когда движеніе изъ B дошло до C , она образуетъ сферическую поверхность, радіусъ которой AM равенъ BC . Другой лучъ SDE дастъ волну вѣдующихъ волнъ, дающихъ вмѣстѣ въ тотъ моментъ, когда SB доходитъ до C , плоскую волну CM , распространяющуюся дальне такимъ же образомъ, какъ и падающая плоская волна AB . А такъ какъ направленіе лучей перпендикулярно къ поверхности волны, то отъ отражающей поверхности идетъ пучокъ лучей, образующихъ съ нею такой же уголъ, какой образуетъ падающій пучокъ лучей (треугольники ABC и AMC при наложеніи совпадаютъ). Уголъ отраженія, слѣдовательно, равенъ углу паденія (ср. § 350).

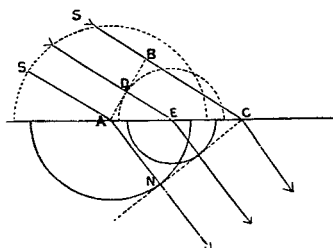
Рис. 379



Отраженіе.

Изъ точки A (рис. 380) идетъ также сферическая волна въ стекло. Но скорость этой волны иная, чѣмъ въ воздухѣ. Гюйгенсъ принимаетъ, что плотность эѳира въ стеклѣ больше, чѣмъ въ воздухѣ, и поэтому скорость распространенія волны въ стеклѣ меньше. Отсюда, очевидно, вытекаетъ, что радіусы волнъ, исходящихъ отъ точекъ отражающей поверхности, меньше радіусовъ соотвѣтствующихъ волнъ, идущихъ въ такое же время отъ этихъ точекъ въ воздухѣ. Вслѣдствіе этого волны въ стеклѣ даютъ плоскую волну CN (рис. 380), которая распространяется далѣ такъ, что направленіе лучей есть AN .

Рис. 380



Преломленіе.

Измѣненіе направленія лучей при переходѣ свѣта изъ воздуха въ стекло можетъ быть наглядно пояснено слѣдующимъ сравненіемъ. Представимъ себѣ отрядъ солдатъ, марширующихъ перпендикулярно къ линіи фронта. Въ этомъ случаѣ преломляющей поверхности, т. е. границѣ

между воздухомъ и стекломъ, будетъ соотвѣтствовать граница между ровнымъ, твердымъ грунтомъ и болѣе рыхлымъ, на примѣръ, свѣжевспаханнымъ полемъ. На твердомъ грунтѣ солдаты будутъ двигаться, конечно, быстрее.

Если граница грунтовъ образуетъ уголъ съ линіей фронта, то солдаты передняго ряда вступятъ на вспаханное поле не одновременно. Вслѣдствіе этого и линія фронта и направленіе марша измѣнятся. Величина угла, образуемаго новымъ направлениемъ со старымъ, будетъ зависѣть отъ отношенія скоростей на твердомъ и на рыхломъ грунтѣ. Точно такъ же величина преломленія зависитъ отъ разницы въ плотности эѳира въ воздухѣ и въ другомъ веществѣ. Чѣмъ больше эта разница, тѣмъ сильнѣе преломленіе.

407. Слабое мѣсто труда Гюйгенса заключалось въ отсутствіи въ немъ объясненія происхожденія цвѣтовъ. Это, безъ сомнѣнія, и было однимъ изъ основаній, по которымъ Ньютонъ отнесся къ волнообразной теоріи отрицательно. Кромѣ того, онъ былъ противникомъ теоріи Гюйгенса потому, что считалъ, будто эѳиръ, какимъ бы подвижнымъ онъ ни былъ, долженъ былъ бы замѣтно замедлять движенія небесныхъ тѣлъ.

Эти затрудненія были разъяснены Леонардомъ Эйлеромъ (II, § 230) въ 1768 году, 41 годъ спустя послѣ смерти Ньютона. Эйлеръ возставалъ вообще противъ всей теоріи истеченія. По его мнѣнію, еслибы солнце дѣйствительно испускало матеріальное свѣтовое вещество, то масса его должна была бы постепенно уменьшаться. Загѣмъ, онъ не могъ представить себѣ, какъ свѣтотыя частички пробѣгаютъ пространство между солнцемъ и звѣздами, не сталкиваясь и не измѣняя своего направленія. Но труднѣе всего, по его мнѣнію, было согласовать теорію истеченія съ тѣмъ фактомъ, что существуютъ совершенно прозрачныя тѣла. Если свѣтъ есть нѣчто матеріальное, то свѣтовое вещество должно проходить сквозь прозрачныя тѣла, а такъ какъ эти тѣла пропускаютъ свѣтъ по всѣмъ направленіямъ, то въ нихъ должны существовать поры по всѣмъ направленіямъ, а между тѣмъ есть и плотныя прозрачныя тѣла. Эйлеръ писалъ свои статьи въ формѣ писемъ къ одной нѣмецкой принцессѣ и закончилъ свою бесѣду о теоріи истеченія слѣдующими словами: „я думаю, что приведенные доводы могутъ убѣдить Ваше Высочество въ томъ, что теорія истеченія не встрѣчаетъ никакого подтвержденія въ природѣ, и Ваше Высочество навѣрное будетъ удивляться тому, что подобное ученіе могло быть создано такимъ великимъ гениемъ (какъ Ньютонъ) и принято столь многими мыслителями съ яснымъ умомъ. Однако, уже Цицеронъ сказалъ, что ничего нельзя представить себѣ столь страннаго, чего бы не взялся утверждать какой-нибудь философъ. Но я, съ своей стороны слишкомъ мало философъ, чтобы раздѣлять это воззрѣніе на природу свѣта“.

Возраженіе Ньютона, что эѳиръ долженъ былъ бы мѣшать движенію небесныхъ тѣлъ, можно было бы привести, указывая Эйлеръ, съ такимъ же успѣхомъ и противъ свѣтового вещества, такъ какъ пространство, въ которомъ движутся планеты, вовсе не остается пустымъ и по Ньютоновой теоріи истеченія. Напротивъ того, оно наполнено частицами свѣта, которыя летятъ во всѣ стороны съ невѣроятной скоростью 40000 миль въ секунду и могутъ мѣшать бѣгу планетъ по меньшей мѣрѣ въ такой же степени, какъ и эѳиръ.

Эйлеръ считалъ огромную скорость свѣта болѣе понятной при допущеніи, что свѣтъ есть волнообразное движеніе въ легко подвижномъ эѳирѣ, чѣмъ въ предположеніи, что пространство наполнено матеріальными частичками, обладающими такой скоростью. Изъ ученія о звукѣ (ср. § 346) ему было извѣстно, что въ упругомъ тѣлѣ колебанія распространяются очень быстро. Если эѳиръ значительно тоньше

и подвижныѣ воздуха, то волны эѳира могутъ распространяться значительно быстрее, чѣмъ звуковыя волны. „Мы вѣдь знаемъ, что скорость звука тѣмъ больше, чѣмъ меньше плотность воздуха... Если мы вообразимъ себѣ воздухъ достаточно легкимъ и упругимъ, то можно представить себѣ, что скорость звука достигнетъ скорости свѣта“. Трудно было бы такое понятие, какимъ образомъ глазъ могъ бы переносить удары этихъ стремительно несущихся свѣтовыхъ частицъ.

Большое значеніе имѣло то обстоятельство, что Эйлеръ въ томъ же письмѣ къ нѣмецкой принцессѣ далъ объясненіе происхожденію цвѣтовъ на основаніи волнообразной теоріи. Онъ сравниваетъ цвѣта съ тонами. Относительно послѣднихъ ему было извѣстно, что высота тона находится въ зависимости отъ числа его колебаній (§ 336). Высокіе тоны соотвѣтствуютъ большому числу колебаній, низкіе—меньшему. Эйлеръ предположилъ, что различные цвѣта находятся между собой въ такомъ же отношеніи, какъ и различные звуки. Какъ звукъ, свѣтъ состоитъ изъ колебаній, одинъ—изъ колебаній воздуха, другой—эѳира, и всякому цвѣту, такъ же, какъ и всякому звуку, отвѣчаетъ опредѣленное число колебаній.

Какъ можно измѣрять число колебаній свѣтовыхъ лучей, будетъ объяснено ниже (§ 410). Здѣсь же мы прослѣдимъ дальнѣйшія разсужденія Эйлера относительно цвѣтовъ.

Если на тѣло падаетъ лучъ свѣта и оно становится свѣтящимся, то это, по мнѣнію Эйлера, происходитъ не потому, что тѣло отражаетъ свѣтъ. Вліяніе лучей выражается въ томъ, что поверхность тѣла начинаетъ колебаться. Движеніе частичекъ эѳира сообщается частицамъ тѣла, расположеннымъ на поверхности. Эйлеръ разсматриваетъ поверхность тѣла, какъ струнный инструментъ, струны котораго приводятся въ движеніе волнами эѳира (ср. § 355). Если подобная „струна поверхности“ натянута такъ, что колеблется въ тактъ съ краснымъ цвѣтомъ, то поверхность тѣла мы называемъ красной. Чтобы сдѣлать красное тѣло свѣтящимся, необходимъ красный свѣтъ, такъ какъ только онъ можетъ привести въ движеніе поверхность краснаго тѣла. Свѣтъ другого цвѣта, т. е. съ другимъ числомъ колебаній, не можетъ привести въ колебаніе эту поверхность. Въ солнечномъ свѣтѣ, говоритъ Эйлеръ, должны содержаться всѣ цвѣта, такъ какъ онъ освѣщаетъ всѣ тѣла, какаго бы то ни было цвѣта. Скорости колебаній Эйлеръ не могъ указать. То, что онъ высказывалъ, было, слѣдовательно, только гипотезой. Въ настоящее время нетрудно доказать справедливость этой гипотезы.

408. Но авторитетъ Ньютона былъ такъ великъ, что теорія истеченія сохранила свое господство до начала XIX столѣтія. Этотъ спорный вопросъ былъ снова поднятъ Томасомъ Йонгомъ въ 1800 г. въ *Philosophical Transactions*, органѣ Королевскаго Общества. Йонгъ родился въ 1773 г. въ Мильвертонѣ. Родители его жили бѣдно и принадлежали къ сектѣ квакеровъ. Благодаря поддержкѣ своего дѣда онъ посѣщалъ университеты въ Лондонѣ, Эдинбургѣ и Гёттингенѣ. Онъ изучалъ преимущественно медицину, но занимался также физическими и филологическими вопросами. Отъ 1801 до 1804 г. онъ былъ профессоромъ въ *Royal Institution* (Королевскомъ Институтѣ). Онъ оставилъ это мѣсто, чтобъ посвятить себя всецѣло врачебной дѣятельности. Но болѣе склонный къ чисто научнымъ работамъ, онъ снова увлекся филологіей и физическими науками, къ которымъ питалъ и раньше большій интересъ. Какъ филологъ, онъ составилъ ключъ къ чтенію іероглифовъ, въ качествѣ

же физика онъ дебютировалъ статьей о звукѣ. Здѣсь ему пригодились его медицинскія познанія и его тонкое пониманіе музыки. Съ 1818 г. онъ завѣдывалъ изданіемъ „Морского альманаха“ (Nautical Almanac). Онъ умеръ въ 1829 г. Изслѣдованія Йонга относятся ко всѣмъ областямъ физики. Одинъ его соотечественникъ написалъ о немъ слѣдующее: „Его талантъ былъ великъ, его работоспособность неумолима, его образъ жизни безупреченъ, къ своей религіи онъ былъ строгъ, но терпимъ“.

409. Статья Йонга, относящаяся къ 1800 г., трактовала о звукѣ и свѣтѣ. Онъ обратилъ вниманіе на два слабыхъ пункта въ Ньютоновой теоріи свѣта. Трудно понять, говоритъ онъ, какое объясненіе можетъ дать теорія истеченія тому факту, что свѣтъ изъ различныхъ источниковъ распространяется съ одинаковой скоростью. Какъ возможно допустить, что всѣ источники свѣта, какъ бы они ни были различны, испускаютъ частички свѣта одной и той же скорости. Такъ же мало соглашался Йонгъ и съ Ньютоновой теоріей періодическихъ превращеній свѣтовыхъ частичекъ въ лучъ (§ 399), а безъ этихъ превращеній теорія истеченія не могла объяснить того явленія, что одинъ и тотъ же лучъ частью отражается, частью преломляется. Волнообразная теорія, напротивъ того, объясняла эти явленія удовлетворительно.

Наиболѣе важнымъ въ этой статьѣ было объясненіе происхожденія Ньютоновыхъ цвѣтныхъ колець интерференціей волнъ. Двѣ волны могутъ усиливать и ослаблять одна другую. Если онѣ имѣютъ одну и ту же длину, то больше всего усиливаютъ другъ друга тогда, когда разность хода волнъ равна четному числу полувольтъ, и больше всего ослабляются, когда эта разность равна нечетному числу полувольтъ (ср. § 354).

Въ своей статьѣ, относящейся къ 1800 г., Йонгъ объяснялъ происхожденіе Ньютоновыхъ цвѣтныхъ колець слѣдующимъ образомъ. Если монохроматическіе лучи ss (рис. 382) падаютъ на тонкую пластинку, то лучъ sa отклоняется къ b , отражается затѣмъ къ c и при выходѣ изъ пластинки преломляется еще разъ, такъ что выходитъ по направленію cd . Часть луча sc отражается отъ поверхности пластинки въ направленіи cd . Такимъ образомъ, лучъ cd является какъ бы двойнымъ лучомъ, т. е. по направленію cd идутъ двѣ волны, изъ которыхъ каждая прошла свой особый путь, одна—путь $sadcd$, другая— scd . Если разность этихъ путей равна четному числу полувольтъ, то эти два луча взаимно усиливаются; если же разность составляетъ нечетное число полувольтъ, то лучи взаимно ослабляются. Если же обѣ волны одинаково сильны, то въ послѣднемъ случаѣ онѣ уничтожаютъ другъ друга совершенно и по направленію cd движенія не происходитъ вовсе, а потому нѣтъ и никакого распространенія свѣта.

Рис. 381



Томасъ Йонгъ.

Эти соображенія, очевидно, легко приложимы къ опыту Ньютона (§ 398, рис. 377). Здѣсь тонкой пластинкой является слой воздуха между линзой и стеклянной пластинкой. Свѣтовые лучи идутъ по пути, указанному на рис. 382. Разность хода ихъ равна двойной толщинѣ слоя воздуха. Но такъ какъ послѣдняя возрастаетъ отъ середины къ краямъ, то отраженный свѣтъ будетъ состоять то изъ такихъ волнъ, которыя усиливаютъ другъ друга, то изъ волнъ, которыя ослабляютъ другъ друга. Такимъ образомъ, вокругъ темнаго пятна въ срединѣ линзы будутъ видны попеременно свѣтлыя и темныя кольца.

Что такое же явленіе долженъ давать также свѣтъ, проходящій сквозь линзу, слой воздуха и стеклянную пластинку, ясно изъ рис. 383. Лучи *Sabcde* и *Sede* оба выходятъ въ направленіи *de* и должны, смотря по обстоятельствамъ, усиливать или ослаблять другъ друга.—Сравнивъ два рисунка 382 и 383 легко увидѣтъ, что раз-

Рис. 382

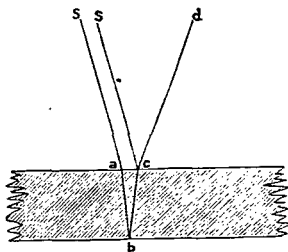
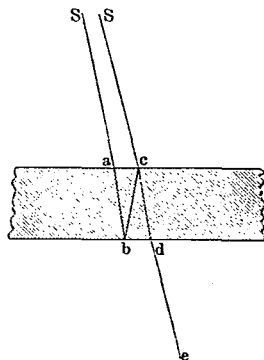


Рис. 383



Объясненіе Ньютоновыхъ цвѣтныхъ колецъ по Йонгу.

ность хода этихъ лучей одна и та же въ обоихъ случаяхъ. Такимъ образомъ, можно думать, что интерференція (усиленіе или ослабленіе) будетъ одна и та же въ обоихъ случаяхъ. На самомъ дѣлѣ, однако, отраженные лучи взаимно усиливаются тамъ, гдѣ проходящія лучи ослабляютъ другъ друга, и наоборотъ. Йонгъ нашелъ причину и этого явленія. Именно, если волна эйра отражается болѣе плотнымъ оптически веществомъ, т. е. если волна эйра переходитъ изъ вещества, въ которомъ эйръ имѣетъ меньшую плотность, въ такое вещество, въ которомъ эйръ плотнѣе, то частица эйра теряетъ половину.

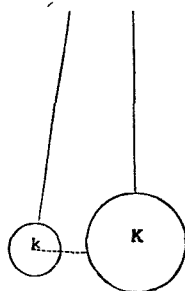
Это согласуется съ явленіями удара упругихъ шаровъ. Когда частица эйра въ своемъ колебательномъ движеніи ударяется о другую частицу эйра въ какомъ-нибудь тѣлѣ, въ которомъ плотность эйра больше, то здѣсь происходитъ то же, что имѣетъ мѣсто при ударѣ меньшаго шара о болѣебольшій: меньшій шаръ не оканчиваетъ своего колебанія, а отбрасывается, другими словами—онъ теряетъ половину (ср. рис. 338, I).

При образованіи Ньютоновыхъ колецъ и происходитъ такое отбрасываніе — на рис. 382 въ точкѣ *b*, а на рис. 383 въ точкахъ *b* и *c*. Такимъ образомъ, въ отраженномъ свѣтѣ лучъ теряетъ одну половину, а въ проходящемъ двѣ половины.

Значитъ, тамъ, гдѣ отраженные лучи взаимно уничтожаются, проходящіе лучи должны усиливать другъ друга.

410. Эти соображенія справедливы для монохроматическаго свѣта.—Ньютоновы кольца даютъ также средство измѣрить длину волны свѣта. Предположимъ, что нашъ опытъ производится съ красными лучами и что мы, согласно указанію Йонга, рассматриваемъ два послѣдовательныхъ кольца. Слой воздуха на мѣстѣ внѣшняго изъ этихъ двухъ колецъ долженъ быть на половину длины волны краснаго цвѣта толще, чѣмъ слой воздуха на мѣстѣ внутренняго кольца. Именно, въ этомъ случаѣ лучи, образующіе внѣшнее кольцо, должны быть въ томъ же состояніи интерференціи, какъ и тѣ, которые образуютъ внутреннее кольцо. Такъ какъ свѣтъ долженъ пробѣжать слой воздуха взадъ и впередъ, то пройденный имъ путь станетъ больше на цѣлую длину волны, когда толщина слоя воздуха увеличится только на одну полуволну. Но если волна смѣщается въ направленіи своего движенія на длину одной волны, то гребни и долины волнъ послѣ смѣщенія будутъ находиться на тѣхъ же мѣстахъ, на которыхъ они находились до смѣщенія.

Рис. 384



Потеря полуволны.

Но Ньютонъ точно измѣрилъ толщину воздушнаго слоя въ свѣтлыхъ и темныхъ мѣстахъ и Йонгъ сейчасъ же могъ опредѣлить и длину волны.—Разумѣется, что такимъ же образомъ, какимъ опредѣляется длина волны краснаго цвѣта, можно опредѣлить длину волны и всякаго другого цвѣта.

Если извѣстна величина длины волны и если извѣстно, съ какою скоростью распространяется волнообразное движеніе (въ данномъ случаѣ это—скорость свѣта), то можно вычислить число колебаній частицы эѳира, принимающей участіе въ этомъ движеніи. Именно, скорость равна произведенію длины волны на число колебаній (§ 341); такимъ образомъ можно получить число колебаній, раздѣливъ скорость на длину волны.

Но лучи различныхъ цвѣтовъ распространяются всѣ съ одною и тою же скоростью, около 300 000 км (ср. § 287). Для среднихъ лучей различныхъ цвѣтовъ длины волнъ (въ доляхъ миллиметра) и числа колебаній даны въ слѣдующей таблицѣ:

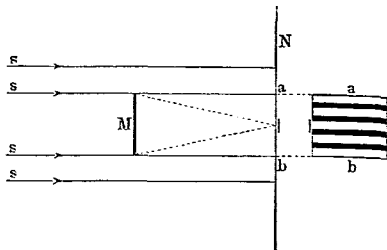
	Длина волны		Число колебаній
Красный	0-000 620	Красный	500 билліоновъ
Оранжевый	0-000 583	Оранжевый	532 „
Желтый	0-000 551	Желтый	562 „
Зеленый	0-000 521	Зеленый	595 „
Синій	0 000 475	Синій	653 „
Фиолетовый	0-000 423	Фиолетовый	733 „

Красные лучи имѣютъ наибольшую длину волны и наименьшее число колебаній, фиолетовые—наименьшую длину волны и наибольшее число колебаній. Цвѣта видимаго солнечнаго спектра лежатъ въ предѣлахъ приблизительно одной октавы,

т. е. число колебаній крайнихъ фіолетовыхъ лучей превышаетъ число колебаній крайнихъ красныхъ лучей приблизительно вдвое.

411. Эмиль Йонгъ доказалъ справедливость гипотезы Эйлера, что каждый цвѣтъ имѣеть опредѣленное число колебаній, подобно тонамъ. Но, какъ легко себѣ представить, онъ очень желалъ найти подтвержденіе своей теоріи какимъ-нибудь другимъ путемъ. Это и удалось ему при помощи явленія диффракціи. Йонгъ отбрасывалъ тѣнь узкаго экрана M (рис. 385) на большій экранъ N . Еслибы свѣтъ распространялся прямолинейно, то экранъ M отбрасывалъ бы тѣнь ab . Но, какъ

Рис. 385



Опытъ Йонга съ интерференціей.

показалъ Гримальди, свѣтъ отклоняется отъ прямолинейнаго пути (§ 393) и при монохроматическомъ свѣтѣ въ тѣни замѣчаются свѣтлыя и темныя полосы. Йонгъ объяснялъ эти полосы интерференціей свѣтовыхъ волнъ. Посрединѣ тѣни видна свѣтлая полоса. Свѣтовые волны отъ краевъ экрана до этого мѣста проходятъ одинаковыя разстоянія. Поэтому онѣ приходятъ въ него въ одинаковой фазѣ и усиливаютъ другъ друга. По обѣ стороны этой свѣтлой полосы лежитъ по темной полосѣ, такъ какъ изъ этихъ мѣстъ разстояніе до одного края экрана на одну полуволну больше разстоянія до другого края. Поэтому лучи приходятъ сюда въ противоположныхъ фазахъ и ослабляютъ другъ друга. Затѣмъ идутъ двѣ свѣтлыхъ полосы, именно тамъ, гдѣ разность хода равна цѣлой длинѣ волны и гдѣ лучи поэтому усиливаютъ другъ друга и т. д. Такимъ образомъ, образование этихъ полосъ совершенно объясняется при помощи интерференціи. Измѣривъ разстояніе между двумя свѣтлыми полосами въ тѣни и зная разстояніе экрана M , отбрасывающаго тѣнь, отъ экрана N , Йонгъ могъ вычислить разность хода данныхъ лучей, а, значитъ, и длину волны. Такимъ образомъ, эти опыты являлись контролемъ тѣхъ результатовъ, которые были выведены изъ явленія Ньютоновыхъ колецъ. Если производить этотъ опытъ не съ монохроматическимъ свѣтомъ, а съ солнечнымъ, то вмѣсто темныхъ и свѣтлыхъ полосъ появятся цвѣтныя. Средняя полоса и въ этомъ случаѣ будетъ бѣлой, такъ какъ различныя цвѣтные лучи солнечнаго свѣта достигаютъ этой середины въ одинаковой фазѣ и потому усиливаютъ другъ друга. Непосредственно около этой средней полосы уничтожаются прежде всего фіолетовые лучи, затѣмъ синіе, потомъ зеленые и т. д. Вслѣдствіе этого на соответственныхъ мѣстахъ появятся дополнительные цвѣта фіолетоваго, синяго, зеленаго и т. д. Эти цвѣта образуютъ такъ называемый диффракціонный спектръ.

412. Работы Йонга, однако, не встрѣтили благоприятнаго приѣма. Одинъ молодой англійскій физикъ подвергъ ихъ уничтожающей критикѣ, а старшіе современники Йонга не хотѣли знакомиться съ его теоріей, такъ какъ она была формулирована очень коротко и неудобопонятно. Йонгъ затруднялся также объяснить посредствомъ интерференціи, какимъ образомъ получаются Ньютоновы кольца въ проходящемъ свѣтѣ. А такъ какъ, кромѣ того, онъ не могъ объяснить новаго открытія,

которое сдѣлать въ 1810 году французскій физикъ Этьенъ Малюсъ, то онъ и самъ началъ сомнѣваться въ вѣрности своей теоріи.

413. Малюсъ (1775—1812) былъ военный инженеръ и въ чинѣ капитана былъ съ Наполеономъ въ Египтѣ. Въ 1809 году онъ сдѣлался преподавателемъ Политехнической школы въ Парижѣ, ученикомъ которой онъ былъ и самъ.

Своей славою физика Малюсъ обязанъ открытію, сдѣланному имъ во время работы надъ одной задачей о двойномъ преломленіи свѣта, предложенной на премію французской Академіи.—Онъ дѣлалъ опыты съ известковымъ шпатомъ (§ 395) и случайно взглянулъ черезъ пластинку известковаго шпата на Люксембургскій дворецъ, въ окнахъ котораго отражалось заходившее солнце. Къ своему изумленію Малюсъ увидѣлъ сквозь свою пластинку только одно изображеніе оконъ дворца. Вообще же предметы представлялись сквозь эту пластинку двойными. Такъ какъ здѣсь, очевидно, дѣло шло объ отраженномъ свѣтѣ, то для выясненія вопроса Малюсъ сталъ отбрасывать свѣтъ пламени на стеклянную пластинку или на поверхность воды и разсматривалъ этотъ отраженный свѣтъ сквозь пластинку известковаго шпата. Онъ нашелъ, что при одномъ опредѣленномъ положеніи этой пластинки отраженный свѣтъ не претерпѣваетъ двойного преломленія. При вращеніи пластинки двойное преломленіе обнаруживалось и два изображенія обыкновенно были не одинаково ярки. Только въ одномъ опредѣленномъ положеніи эти изображенія имѣли одинаковую яркость.

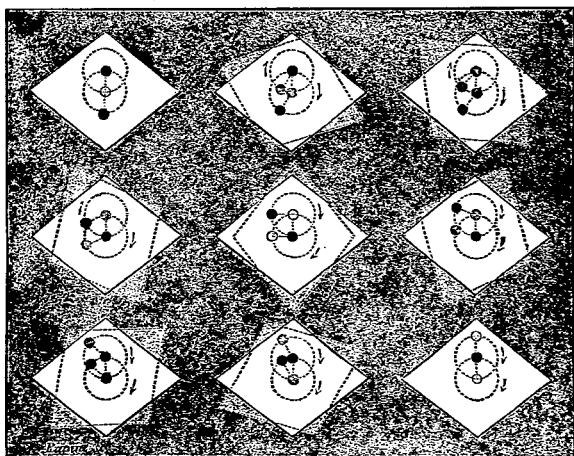
Это явленіе чрезвычайно напоминало другое, наблюдавшееся Гюйгенсомъ при разсматриваніи темной точки на бѣлой пластинкѣ сквозь двѣ пластинки известковаго шпата. Сквозь одну такую пластинку эта точка представлялась вдвойнѣ. Одно изображеніе было образовано обыкновенными лучами, другое—необыкновенными. Эти два рода лучей проходили затѣмъ и сквозь вторую пластинку. Если эта вторая пластинка находилась въ такомъ же положеніи, какъ и первая, то и тѣ и другіе лучи проходили сквозь нее, не раздѣляясь. Обыкновенный луч выходилъ и изъ второй пластинки обыкновеннымъ, а вышедшій изъ первой пластинки необыкновенный луч проходилъ вторую пластинку тоже, какъ необыкновенный. Но при вращеніи второй пластинки и тѣ и другіе лучи раздѣлялись и появлялось четыре изображенія темной точки.

Этотъ опытъ поясняется рис. 386. Сначала двѣ пластинки известковаго шпата находятся въ одинаковомъ положеніи и потому видно только два изображенія. Затѣмъ верхняя пластинка повернута и мы видимъ четыре изображенія, сначала, однако, неодинаковой яркости. Послѣ поворота на 90° видно только два изображенія, при дальнѣйшемъ же вращеніи ихъ опять появляется четыре. Если пластинка повернута на 180° и если обѣ пластинки одинаковой толщины, то будетъ видно только одно изображеніе.

414. Этотъ опытъ ясно показываетъ, что свѣтъ, пройдя сквозь пластинку известковаго шпата, пріобрѣтаетъ своеобразныя свойства, которыхъ у обыкновеннаго свѣта нѣтъ, такъ какъ послѣдній въ известковомъ шпатѣ всегда преломляется двояко, если только онъ не идетъ въ направленіи оптической оси (§ 395). Болѣе точное изслѣдованіе можно произвести слѣдующимъ образомъ. Лучъ свѣта S (рис. 387) падаетъ на пластинку известковаго шпата A , главное сѣченіе которой совпадаетъ съ плоскостью рисунка, и раздѣляется на два луча S_1 и S_2 . Одинъ изъ этихъ двухъ лучей, S_2 , удерживается экраномъ, а другой S_1 (необыкновенный лучъ) проходитъ сквозь

отверстие въ экранѣ M_1 и падаетъ на вторую пластинку B известковаго шпата. Последняя, вообще говоря, раздѣляетъ лучъ S_1 на два луча S_3 и S_4 , падающіе послѣ прохождения сквозь собирательное стекло L , на экранѣ M_2 въ точкахъ F и T_2 . Если вращать пластинку B , то лучъ S_1 не подвергается двойному преломленію во второй пластинкѣ, когда главныя сѣченія этихъ двухъ пластинокъ лежатъ въ одной и той же плоскости. Когда эти главныя сѣченія образуютъ другъ съ другомъ уголъ въ 45° ,

Рис. 386

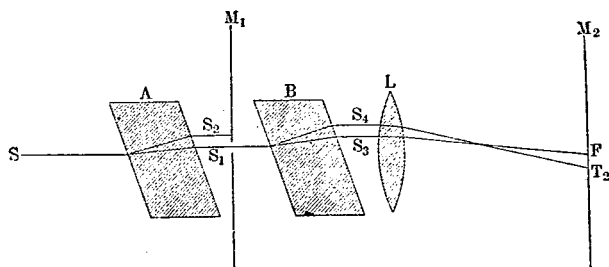


Двойное преломленіе въ известковомъ шпатѣ.

то два изображенія имѣютъ одинаковую яркость, а когда главныя сѣченія составляютъ между собою прямой уголъ, то лучъ S_1 совсѣмъ не раздвигается.

Если задержать экраномъ M_1 лучъ S_1 и пропустить лучъ S_2 (обыкновенный),

Рис. 387



Двойное преломленіе въ известковомъ шпатѣ.

то пластинка известковаго шпата окажетъ и на этотъ лучъ такое же дѣйствіе. Въ этомъ случаѣ также не будетъ двойного преломленія, когда главныя сѣченія обыкновенныхъ пластинокъ известковаго шпата будутъ лежать въ одной плоскости. Не будетъ двой-

ного преломленія и тогда, когда главныя сѣченія будутъ составлять другъ съ другомъ прямой уголъ. Въ промежуточныхъ положеніяхъ будутъ получаться два изображенія неодинаковой яркости, за исключеніемъ того случая, когда главныя сѣченія будутъ наклонены другъ къ другу подъ угломъ въ 45° .

415. Ньютонъ, знавшій эти явленія, сказалъ, что свѣтъ при прохожденіи сквозь известковый шпатъ получаетъ различныя свойства по разнымъ сторонамъ своего пути. Малюсъ прикнулъ къ этому воззрѣнію и назвалъ лучи, прошедшіе сквозь известковый шпатъ, поляризованными лучами. Обыкновенный лучъ поляризованъ такъ, что проходитъ сквозь другую пластину известковаго шпата необыкновеннымъ, если главное сѣченіе послѣдней пластинки перпендикулярно главному сѣченію первой. Необыкновенный лучъ, наоборотъ, поляризованъ такъ, что проходитъ сквозь другую пластинку обыкновеннымъ, когда главныя сѣченія двухъ пластинокъ взаимно перпендикулярны.

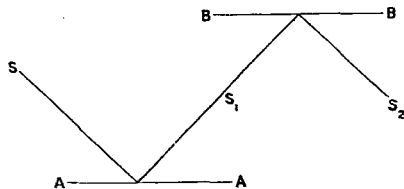
Но, какъ было сказано, Малюсъ наблюдалъ, что отраженный свѣтъ не подвергался двойному преломленію при прохожденіи сквозь пластинку известковаго шпата, если эта пластинка находилась въ опредѣленномъ положеніи. Значить, этотъ свѣтъ долженъ былъ быть поляризованнымъ. Такимъ образомъ, свѣтъ претерпѣваетъ такъ называемую поляризацию не только при прохожденіи сквозь известковый шпатъ (или сквозь другой двупреломляющій кристаллъ), но и при отраженіи.

Малюсъ произвелъ съ поляризованнымъ свѣтомъ цѣлый рядъ очень интересныхъ опытовъ. Пропуская лучъ свѣта, отраженный отъ зеркала *A* (рис. 388) и, слѣдовательно, поляризованный, на второе зеркало, параллельное первому, онъ нашелъ, что этотъ лучъ отражался вторымъ зеркаломъ обыкновеннымъ образомъ. Тогда онъ построилъ приборъ (рис. 389), который при помощи вращенія позволялъ давать второму зеркалу всевозможныя положенія. Если это зеркало устанавливалось такъ, что плоскости паденія обоихъ лучей были взаимно перпендикулярны, то свѣтъ не отражался отъ второго зеркала. Если эти двѣ плоскости составляли уголъ менѣе 90° , то свѣтовой лучъ отражался отчасти, т. е. онъ терялъ при отраженіи часть своей яркости. Металлическія зеркала для этого опыта не годятся. Лучше всего здѣсь простыя стеклянныя пластинки.

Затѣмъ Малюсъ пускалъ на зеркало лучъ свѣта, прошедшій сквозь пластинку известковаго шпата. Если главное сѣченіе этой пластинки стояло перпендикулярно къ плоскости зеркала, то обыкновенный лучъ отражался, а необыкновенный не отражался. Наоборотъ, если главное сѣченіе пластинки было параллельно плоскости зеркала, то необыкновенный лучъ отражался, а обыкновенный не отражался. Эти два луча, обыкновенный и необыкновенный, какъ говорятъ, поляризованы во взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ.

Позднѣ Малюсъ показалъ, что и при обыкновенномъ преломленіи, напримѣръ, въ стеклѣ, преломленный лучъ также поляризованъ и притомъ перпендикулярно къ отраженному лучу. Лучъ свѣта *S*, падая на стеклянную пластинку (рис. 390), частью

Рис. 388

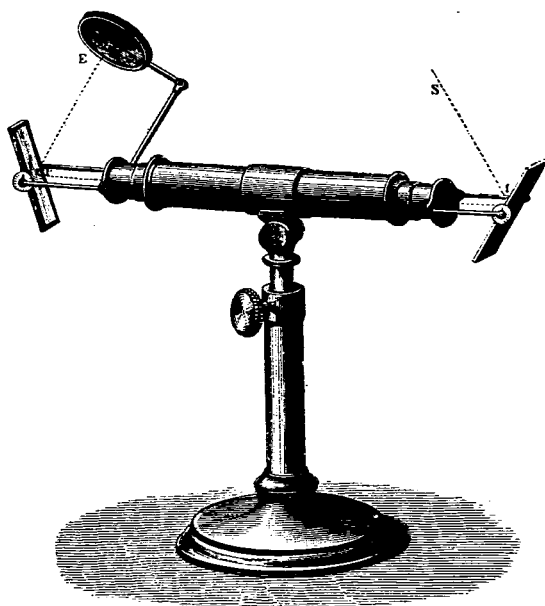


Опытъ Малюса съ зеркалами.

входить въ стекло, а частью отражается отъ него. Эти два луча, на которые разлагается падающій лучъ, поляризованы и притомъ перпендикулярно другъ къ другу.

Если эти два луча, отраженный и преломленный, совершенно поляризованы, то, какъ доказалъ Брустеръ, они поляризованы взаимно перпендикулярно. Въ этомъ случаѣ падающій лучъ SA образуетъ съ перпендикуляромъ въ точкѣ паденія уголъ

Рис. 389

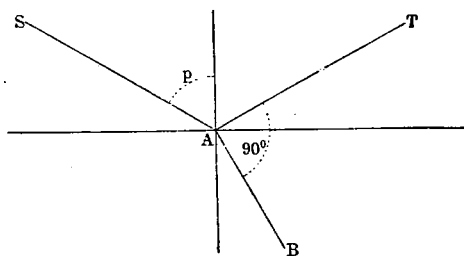


Штативъ Малюса съ зеркалами.

опредѣленной величины, такъ называемый уголъ поляризаціи. Для стекла этотъ уголъ равенъ $56\frac{1}{2}^{\circ}$.

416. Какъ было уже упомянуто, Йонгъ не сумѣлъ объяснить поляризаціи

Рис. 390



Уголъ поляризаціи.

при помощи волнообразной теоріи и Малюсъ удовольствовался объясненіемъ Ньютона, что, пройдя черезъ известковый шпатель, свѣтъ пріобрѣтаетъ разныя свойства въ различныхъ направленіяхъ.

Волнообразная теорія одержала полную побѣду надъ теоріей истечения только послѣ того, какъ опубликовалъ свои знаменитыя работы Огюстенъ Жанъ Френель. Какъ и Малюсъ, Френель сначала былъ инженеромъ. Потерявъ въ 1815 г., благодаря политическому перево-

сначала былъ инженеромъ. Потерявъ въ 1815 г., благодаря политическому перево-

роту свое мѣсто, на которое онъ, впрочемъ, позднѣе былъ возвращенъ, Френель бросился на изучение оптики и сталъ однимъ изъ самыхъ крупныхъ ученыхъ въ этой области. Къ сожалѣнню, онъ умеръ уже въ 1826 г. въ возрастѣ всего 39 лѣтъ.

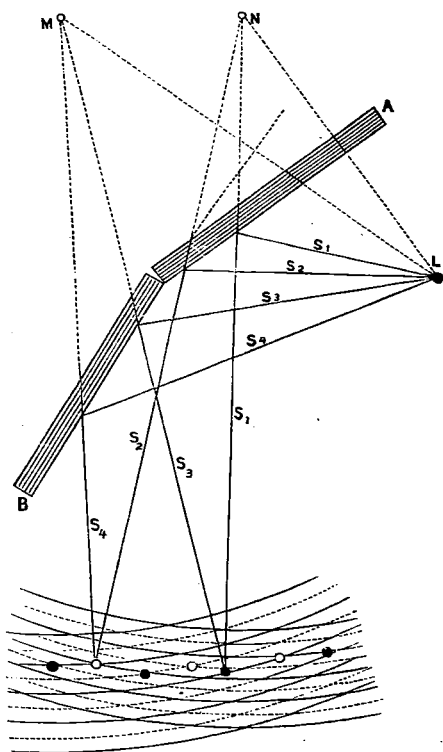
Френель основательно переработалъ волнообразную теорію. Въ основу своей работы онъ положилъ начало, установленное Гюйгенсомъ (§ 405), что каждую точку поверхности волны можно разсматривать, какъ исходную точку новыхъ волнъ. Онъ объяснилъ диффракцію и повторилъ описанный въ § 411 опытъ Йонга для опредѣленія длины свѣтовой волны. Френель поставилъ этотъ опытъ въ такой гениальной формѣ, что окончательно рѣшилъ споръ о природѣ свѣта.

Пусть A и B (рис. 391) будутъ два зеркала, стоящихъ рядомъ подлѣ угла другъ къ другу приблизительно въ 180° . Эти два зеркала отражаютъ свѣтъ, исходящій изъ свѣтящейся точки или, лучне, линіи (щели). Напримѣръ, лучъ S_1 будетъ отражаться отъ зеркала A , лучъ S_2 отъ зеркала B . Эти два луча S_1 и S_2 встрѣчаются въ опредѣленной точкѣ, но проходятъ отъ точки L до этой встрѣчи пути различной длины. Путь, пройденный первымъ лучомъ, равняется разстоянію точки N отъ мѣста пересѣченія лучей, путь, пройденный вторымъ лучомъ, равенъ разстоянію точки M отъ названной точки пересѣченія. Точка N есть изображеніе точки L въ зеркалѣ A , а M изображеніе точки L въ зеркалѣ B . И если разность хода этихъ двухъ лучей составляетъ нечетное число полуволнъ, то эти лучи взаимно уничтожаются. Если же она равна четному числу полуволнъ, то лучи усиливаютъ другъ друга. На глазъ эти лучи будутъ производить впечатлѣніе ряда свѣтлыхъ и темныхъ линій.

Какъ легко видѣть изъ рис. 391, нетрудно вычислить разность хода и очень точно опредѣлить длину волны. Этотъ опытъ такъ „чистъ“ (ср. II, § 147), что противъ него едвали можно что-нибудь возразить. Онъ имѣетъ огромное преимущество передъ опытомъ Йонга въ томъ, что здѣсь оба интерферирующие луча выходятъ изъ одного источника свѣта. Этотъ опытъ находить очень простое объясненіе въ волнообразной теоріи Гюйгенса, объяснить же его другимъ способомъ трудно.

417. Френель понялъ также и природу явленій поляризаціи. вмѣстѣ съ Араго

Рис. 391



Опытъ съ зеркалами Френеля.

(§ 286) онъ нашель, что два свѣтовыхъ луча, поляризованныхъ въ одной и той же плоскости, могутъ интерферировать между собою, но два луча, поляризованные въ перпендикулярныхъ плоскостяхъ, не могутъ. Отсюда Френель сдѣлалъ выводъ, что два луча, поляризованные въ перпендикулярныхъ плоскостяхъ, должны имѣть такія колебанія, которыя не дѣйствуютъ другъ на друга.—Какъ же можно представить это? Раньше принимали, что свѣтовые колебанія происходятъ въ направленіи луча подобно тому, какъ звуковыя колебанія происходятъ въ направленіи движенія звука. Но если такъ, то всѣ свѣтовые лучи могли бы интерферировать другъ съ другомъ совершенно такъ, какъ могутъ интерферировать всѣ „лучи звука“.—Поэтому Френель

Рис. 392



Огюстенъ Жанъ Фрѣнель.

допустилъ, что свѣтовые колебанія происходятъ перпендикулярно къ направленію луча, что, другими словами, они суть поперечныя колебанія, а не продольныя. При этомъ, однако, получалось еще одно большое затрудненіе: было извѣстно, что поперечныя колебанія могутъ возникать въ твердыхъ, но не въ жидкихъ тѣлахъ. А, значитъ, эфиръ, въ которомъ происходятъ свѣтовые колебанія, долженъ быть твердымъ тѣломъ. Допущеніе Френеля встрѣтило сильное сопротивленіе, но оно объясняло поляризацию, а также двойное преломленіе. Допущеніе поперечности колебаній, такимъ образомъ, оказалось во всякомъ случаѣ полезнымъ, но мы должны воздержаться пока отъ болѣе точнаго представленія природы эвира. Уже теперь, впрочемъ, мы можемъ утверждать съ полнымъ правомъ, что эфиръ не есть твердое тѣло въ обычномъ смыслѣ этого слова.

Итакъ, Френель опредѣлилъ разницу между обыкновеннымъ и поляризованнымъ свѣтомъ слѣдующимъ образомъ: въ обыкновенномъ свѣтѣ колебанія про-

исходятъ перпендикулярно къ лучу по всѣмъ направлениямъ (рис. 393), въ поляризованномъ же свѣтѣ только въ одномъ опредѣленномъ направленіи, перпендикулярномъ къ лучу (рис. 394).

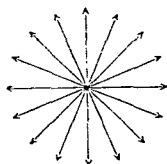
418. Френель допускалъ, какъ это раньше дѣлалъ Йонгъ, что двойное преломление обусловливается неодинаковой упругостью ээира въ кристаллахъ по различнымъ направлениямъ.

Когда свѣтовая волна проходитъ внутри тѣла, то волнообразное движеніе происходитъ въ ээирѣ, заключающемся въ тѣлѣ. Между частицами тѣла (молекулами, II § 182) нужно вообразить себѣ промежутки, въ которыхъ и находится ээиръ. Когда ээиръ приходитъ въ колебательное движеніе, то и молекулы не остаются безучастными, — онѣ также начинаютъ двигаться. Въ силу этого свѣтовая волна теряетъ часть своей силы, т. е. свѣтъ отчасти поглощается тѣломъ. Но то обстоятельство, что ээиръ расположенъ въ множествѣ маленькихъ промежутковъ, производитъ одновременно то, что волнообразное движеніе въ этомъ тѣлѣ распространяется уже не съ той скоростью, какъ въ воздухѣ. Скорость свѣта въ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ меньше его скорости въ тѣлахъ газообразныхъ (§ 288). Въ нѣкоторыхъ твердыхъ тѣлахъ, которыя имѣютъ одинаковыя свойства по всѣмъ направлениямъ, какъ и жидкости, колебательное движеніе ээира, т. е. свѣтовая волна, распространяется одинаково по всѣмъ направлениямъ. Эти тѣла аналогичны стеклу и не даютъ двойного лучепреломленія. Ихъ называютъ изотропными. Но есть и другія тѣла, которыя имѣютъ различныя свойства по различнымъ направлениямъ. Таковы кристаллы, не принадлежащіе къ правильной системѣ. Къ этимъ тѣламъ принадлежитъ и известковый шпатель. Различія свойствъ кристалловъ по разнымъ направлениямъ обусловливаются формою молекулъ, изъ которыхъ состоятъ эти кристаллы. Допускаютъ, что молекулы имѣютъ ту же форму, какую имѣютъ сами кристаллы, построенные на осяхъ неравной длины. Нетрудно представить себѣ, что въ этихъ кристаллахъ по направлениямъ, отвѣчающимъ ихъ осямъ, существуютъ различныя напряжения и что вслѣдствіе этого ээиръ получаетъ разную упругость по различнымъ направлениямъ.

Вслѣдствіе этого возникаетъ двойное преломленіе. Волна падающаго луча разделяется на двѣ волны. Колебанія одной изъ этихъ волнъ идутъ по тому направленію, по которому упругость ээира больше всего, колебанія другой волны въ направленіи, въ которомъ упругость ээира меньше всего. Только когда свѣтовой лучъ идетъ по направленію оптической оси, двойного преломленія не получается, такъ какъ въ этомъ случаѣ колебанія происходятъ въ плоскости, перпендикулярной къ оси. А въ этой плоскости ээиръ имѣетъ вездѣ одинаковую упругость.

Френель показалъ, что стекло также приобретаетъ способность двойного преломленія, если подвергнуть его давленію въ одномъ направленіи. Призма *ABC* (рис. 395) находится подъ сильнымъ давленіемъ, дѣйствующимъ на поверхности *AC* и *DE*. Средняя призма сдѣлана ахроматической при помощи двухъ боковыхъ призмъ *ABD* и *CBE*. Лучъ *S* испытываетъ двойное преломленіе и раздѣляется на два луча *S*₁ и *S*₂.

Рис. 393



Обыкновенный свѣтъ.

Рис. 394



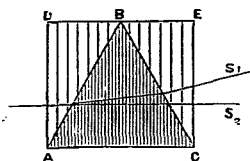
Поляризованный свѣтъ.

Направленіе луча перпендикулярно къ плоскости рисунка.

Этот опыт подтверждает допущение, что причиною двойного преломления является неодинаковость упругости эйра в различных направлениях. В стеклянной призме ABC между частицами стекла в направлении давления существует большее напряжение, чѣмъ в перпендикулярномъ къ нему.

419. Съ помощью пластинки двупреломляющаго кристалла можно получить световой лучъ, колебанія котораго происходятъ только в одной плоскости. Для этого

Рис. 395



Двойное преломление в подвѣгнутомъ давленію стеклѣ.

нужно только задержать одинъ изъ двухъ лучей, на которые разлагается лучъ обыкновеннаго свѣта призмою известковаго шпата. Англійскій физикъ Вильямъ Николь (ум. 1851) достигъ этого, соединивъ двѣ призмы, которыя были получены разрѣзываніемъ на двѣ призмы кристалла известковаго шпата согласно указанному на рис. 396 и склейкою (канадскимъ бальзамомъ) ихъ отполированными поверхностями разрѣза. Вмѣсто плоскостей на концахъ, которыя образуютъ съ вертикальнымъ ребромъ уголъ въ 71° , отшлифовываются новыя поверхности подъ угломъ въ 68° къ ребру. Лучъ свѣта, падая на верхнюю поверхность, разлагается призмою на два луча, обыкновенный и необыкновенный. Послѣдній проходитъ сквозь слой бальзама въ другую призму и выходитъ изъ нея в направленіи fg . Послѣ выхода

Рис. 396

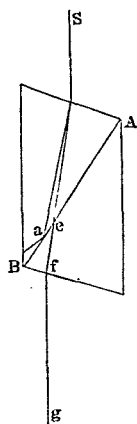
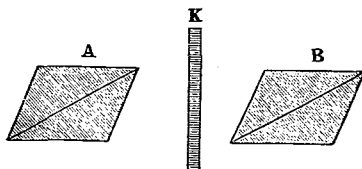
Никольова
призма.

Рис. 397



Вращеніе плоскости свѣтовыхъ колебаній.

лучъ имѣть то же направленіе, какое онъ имѣлъ до входа въ призму. Нанротивъ того, обыкновенный лучъ приходитъ къ границѣ между первой призмой известковаго шпата и слоемъ бальзама подъ такимъ угломъ, что въ точкѣ a претерпѣваетъ полное внутреннее отраженіе.

420. Если поставить двѣ такихъ Никольевыхъ призмъ A и B (рис. 397) одну за другой, то световой лучъ, пройдя призму A , можетъ вступить въ призму B только въ томъ случаѣ, когда главныя сѣченія двухъ призмъ совпадаютъ. Но если главное сѣченіе одной призмы перпендикулярно къ другому главному сѣченію, то лучъ не можетъ вступить въ призму B (ср. § 413). Николь открылъ, однако,

что немного свѣта все-таки проходитъ, если между этими двумя призмами помѣститъ пластинку кварца. Это, очевидно, означаетъ, что плоскость колебаній поляризованнаго луча, выходящаго изъ первой призмы, при прохожденіи сквозь кварцевую пластинку слегка вращается, такъ какъ, пока колебанія происходятъ в плоскости, опредѣляемой призмою A , они не могутъ переходить во вторую призму. Такое вращеніе плоскости поляризаціи производятъ многія вещества, между прочимъ, также

растворъ сахара. По величинѣ вращенія можно опредѣлять количество сахара въ растворѣ.

При обыкновенныхъ условіяхъ пластинка стекла не производитъ такого вращенія. Въ 1845 г. Фарадэй сдѣлалъ удивительное наблюденіе надъ вращеніемъ плоскости свѣтовыхъ колебаній. Онъ помѣстилъ между двумя Николевыми призмами стеклянную пластинку, которая находилась между полюсами сильнаго электромагнита. Оказалось, что подъ вліяніемъ магнетизма стекло приобрѣтало способность вращать плоскость колебаній поляризованнаго свѣтового луча. Такимъ образомъ, Фарадэй открылъ связь между магнетизмомъ и свѣтомъ.

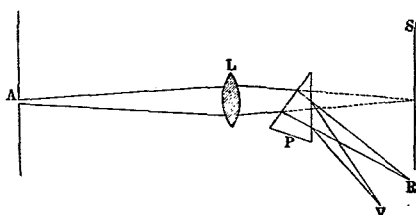
Спектральный анализ

Спектральный анализъ

421. Цвѣта спектра, получаемого при пропусканиі пучка солнечныхъ лучей сквозь призму, не чисты (ср. § 382). Отдѣльные цвѣта налагаются другъ на друга и получаются смѣшанные цвѣта.

Ньютономъ понималъ, что очень желательно получить чистый спектръ, въ которомъ цвѣта не налагались бы другъ на друга. Именно, въ чистомъ спектрѣ можно видѣть, существуютъ ли всѣ переходы цвѣтовъ отъ краснаго до фіолетоваго или же нѣкоторые изъ нихъ отсутствуютъ. Цвѣта въ чистомъ спектрѣ можно изслѣдовать гораздо тоньше и основательнѣе, чѣмъ въ „нечистомъ“. Ньютономъ пытался получить чистые цвѣта слѣдующимъ образомъ. Солнечный свѣтъ входилъ въ темную комнату сквозь узкую вертикальную щель *A* (рис. 398). Линза *L* должна была бы

Рис. 398



дать рѣзкое и отчетливое изображеніе щели *A* на экранѣ *S*, еслибы лучи распространялись безпрепятственно. Но позади линзы стояла призма *P*, отклонявшая и разсѣивавшая свѣтъ. Красные лучи собирались въ *R*, фіолетовые въ *V*, а остальные между *R* и *V*. При достаточно узкой щели каждый отдѣльный цвѣтной лучъ дасть изображеніе въ видѣ линіи, т. е. получится чистый спектръ.

Чистый спектръ Ньютона.

422. Ньютономъ догадывался, что чистый спектръ будетъ играть роль въ физикѣ будущаго. Онъ писалъ: „несомнѣнно, тотъ, кто будетъ внимательно и прилежно изслѣдовать эти вещи, не останется безъ богатыхъ плодовъ отъ своихъ трудовъ“.

Развитіе физики подтвердило эту догадку Ньютона. Мы уже знаемъ, что Ньютоново объясненіе возникновенія цвѣтовъ разсѣяніемъ свѣта (§ 383) слѣдало возможнымъ изготовленіе ахроматическихъ линзъ, слѣдствіемъ чего явилось значительное улучшеніе зрительной трубы и микроскопа. Тщательное же изслѣдованіе чистаго спектра привело къ совершенно новой наукѣ, которая позволяетъ извлекать указанія на природу источника свѣта изъ свѣтовыхъ лучей, посылаемыхъ этимъ источникомъ.

423. Въ 1802 году англійскій физикъ Вильямъ Вульстенъ (1766—1828) опубликовалъ работу о преломляющей и разсѣивающей способности различныхъ тѣлъ. Въ этой работѣ онъ сообщалъ, что солнечный спектръ не представляетъ непрерывнаго ряда всѣхъ цвѣтовъ отъ краснаго до фіолетоваго, но что онъ перерѣ-

зависаетъ множествомъ темныхъ линий, идущихъ параллельно щели, посылающей свѣтъ (сквозь линзу L) къ призмѣ (рис. 398). То же самое онъ наблюдалъ въ спектрахъ, даваемыхъ различными раскаленными тѣлами. И здѣсь спектръ не былъ непрерывнымъ, а состоялъ изъ свѣтлыхъ полосъ съ темными промежутками.

424. Вульстенъ не могъ объяснить происхожденія этихъ темныхъ линий. Это явленіе было изслѣдовано точнѣе Іосифомъ Фраунгоферомъ. Фраунгоферъ родился въ 1787 году въ Штраубингѣ, гдѣ его отецъ былъ стекольнымъ мастеромъ.

Рис. 399



Іосифъ Фраунгоферъ.

По смерти родителей, въ возрастѣ 11-ти лѣтъ онъ поступилъ въ ученіе къ шлифовальщику стеклъ Вейксельбергеру въ Мюнхенъ. Ученіе должно было продолжаться шесть лѣтъ и хозяинъ требовалъ отъ Фраунгофера такъ много, что онъ даже ни разу не могъ посѣтить воскресную школу. Приключившійся съ нимъ несчастный случай послужилъ причиной улучшенія его обстоятельствъ.

Домъ его хозяина обрушился и молодой Фраунгоферъ былъ засыпанъ обломками. Во время работы по его откапыванію на мѣсто несчастія попалъ наслѣднній принцъ. Онъ принялъ участіе въ мальчикѣ и подарилъ ему довольно значительную сумму денегъ. Теперь Фраунгоферъ откупился отъ своего хозяина и приобрѣлъ себѣ машину для шлифованія стеклъ, чтобы работать на собственный страхъ. Не найдя, однако, достаточно работы, онъ поступилъ помощникомъ въ механическую мастерскую Утцшнейдера. Здѣсь онъ вскорѣ показалъ себя необычайно искуснымъ шлифовальщикомъ. Его первой задачей была шлифовка линзъ для обсерваторіи въ Офенѣ. Эта и нѣсколько другихъ работъ такъ великолѣпно удалась ему, что Ути-

Шнейдеръ принялъ въ 1809 году молодого Фраунгофера въ компаньоны по своему оптическому институту.

Теперь Фраунгоферъ имѣлъ возможность заняться своимъ образоваіемъ. Онъ взялся за математику и особенно за оптику. Для того чтобы имѣть возможность изготовлять возможно совершенныя ахроматическія линзы, онъ сталъ искать въ спектрѣ опорныхъ точекъ, которыя позволили бы ему опредѣлять свѣторазсѣяіе лучей различнаго цвѣта для разныхъ сортовъ стекла съ возможной точностью. Дѣленіе спектра, указанное Ньютономъ, предполагало, что его длина можетъ быть точно опредѣлена; Фраунгоферъ, однако, нашель, что нѣтъ никакой возможности указать для спектра опредѣленныя границы. Поэтому онъ старался найти такіе источники свѣта, которые испускали бы только одинъ сортъ цвѣтныхъ лучей, т. е. монохроматическій свѣтъ. Спектръ такого рода источниковъ свѣта долженъ былъ бы состоять только изъ одной линіи. А еслибы ему удалось найти, на примѣръ, простой желтый и простой синий свѣтъ, то онъ могъ бы изъ опыта опредѣлить величины преломленія этихъ цвѣтныхъ лучей. Такихъ источниковъ свѣта Фраунгоферъ, однако, не нашель. Зато онъ открыль, что въ спектрѣ маслянаго и спиртоваго пламени всегда есть отчетливая желтая линія въ одномъ и томъ же мѣстѣ спектра. Въ этой желтой линіи онъ имѣлъ теперь одну опорную точку. Но для того чтобы имѣть возможность опредѣлить величины разсѣянія, ему нужно было нѣсколько такихъ линій. Поэтому онъ продолжалъ свои изслѣдованія и между прочимъ тщательно изучалъ спектръ солнечнаго свѣта. При этихъ наблюденіяхъ онъ пользовался увеличительнымъ стекломъ и достигъ болѣе точныхъ результатовъ, чѣмъ кто бы то ни было пзъ предшествующихъ наблюдателей.

Фраунгоферъ пропускаль солнечный свѣтъ сквозь узкую щель *S* (рис. 400) въ темную комнату и здѣсь принималъ его на призму *P*. По выходѣ изъ призмы лучи вступали въ зрительную трубу *K*. Объективъ этой трубы давалъ въ полѣ зрѣнія чистый спектръ, который разсматривался окуляромъ, какъ увеличительнымъ стекломъ.

Зрительную трубу нужно устанавливать такъ, чтобы въ ней получалось отчетливое изображеніе щели. Если преломленный свѣтъ, попадающій въ зрительную трубу, состоитъ изъ лучей, которые претерпѣли всѣ одинаковое преломленіе, то будетъ видно только одно изображеніе щели въ видѣ линіи. Но солнечный спектръ состоитъ изъ лучей различнаго преломляемости и каждый цвѣтъ лаель отдѣльное изображеніе щели. Такимъ образомъ спектръ получается въ чистомъ видѣ.

Фраунгоферъ далъ приложенный рисунокъ (рис. 401) увеличеннаго спектра, который онъ наблюдалъ въ свою зрительную трубу. Въ немъ онъ нашель множество тѣхъ опорныхъ точекъ, которыхъ онъ искаль. Именно, перпендикулярными темными линіями спектръ дѣлился на множество полосъ различной ширины. Повторяя наблюденія, Фраунгоферъ нахо-

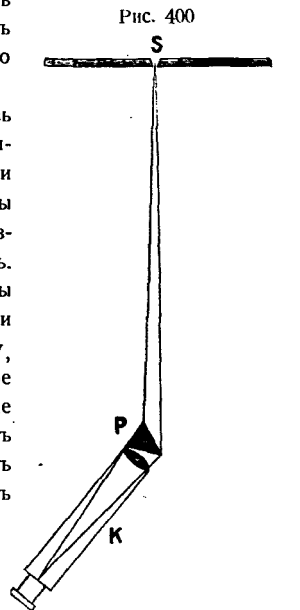


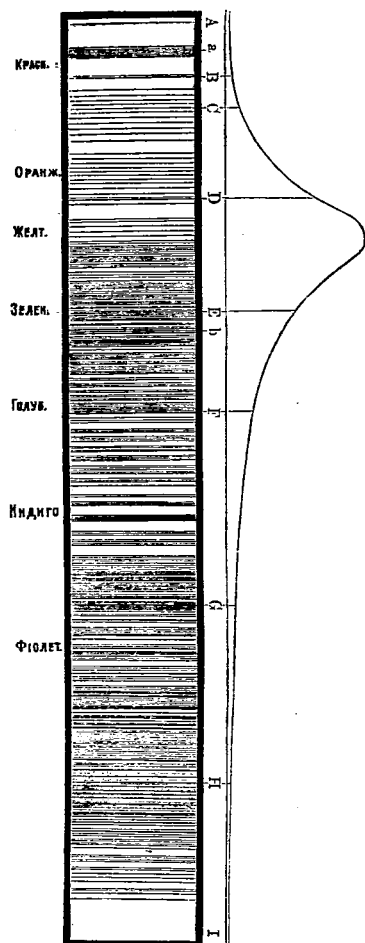
Рис. 400

Изслѣдованіе солнечнаго спектра Фраунгоферомъ.

диль темныхъ линій всегда на однихъ и тѣхъ же мѣстахъ. Онѣ являются характерными для солнечнаго свѣта.

Присутствіе темныхъ линій въ спектрѣ солнца, очевидно, обозначаетъ, что въ солнечномъ свѣтѣ нѣтъ нѣкоторыхъ цвѣтныхъ лучей. Въ самомъ дѣлѣ, еслибы въ немъ были всѣ переходы цвѣтовъ отъ крайняго краснаго до крайняго фіолетоваго, то спектръ долженъ былъ бы быть непрерывнымъ (сплошнымъ).

Рис. 401



Фраунгоферовы линіи.

пламени, лежитъ въ точности на томъ же самомъ мѣстѣ, гдѣ въ солнечномъ спектрѣ помѣщается темная линія D.

Работы Фраунгофера возбудили мало вниманія въ кругахъ физиковъ и не вызвали дальнѣйшихъ изслѣдованій спектровъ. Однако, онъ продолжалъ свои работы, поелѣ того какъ оптическій институтъ былъ переведенъ, въ 1818 г., изъ Венедикт-

Нѣкоторыя изъ этихъ Фраунгоферовыхъ линій, какъ были названы темныя линіи солнечнаго спектра по имени открывшаго ихъ, значительно шире другихъ. Между ними особенно замѣтны восемь линій, обозначенныхъ буквами A, B, C, D, E, F, G, H. Фраунгоферъ насчиталъ въ общемъ свыше 500 линій.

Теперь Фраунгоферъ имѣлъ въ своемъ распоряженіи превосходное вспомогательное средство для приготовленія ахроматическихъ линзъ,—онъ могъ мѣрять коэффициенты преломленія пары такихъ линій въ различныхъ сортахъ стекла и вычислять изъ нихъ радіусы кривизны своихъ линзъ.

425. Само собою разумѣется, что темныя линіи спектра глубоко интересовали открывшаго ихъ Фраунгофера. Онъ убѣдился, что причина ихъ лежитъ не въ дифракціи свѣта. Онъ сталъ изслѣдовать свѣтъ другихъ небесныхъ тѣлъ и нашелъ, что спектры луны и планетъ содержатъ тѣ же самыя темныя линіи, что и солнечный свѣтъ, тогда какъ спектры неподвижныхъ звѣздъ отличаются отъ спектра солнца. Отсюда было ясно, что темныя линіи представляли характерную особенность солнечнаго свѣта независимо отъ того, достигается ли онъ насъ непосредственно или уже послѣ отраженія отъ поверхности планетъ.

Въ тѣхъ же работахъ (1814 и 1815 г.) Фраунгоферъ сообщилъ и другое важное наблюдение, а именно, что свѣтлая линія, которую онъ замѣтилъ въ спектрѣ маслянаго

бейрена въ Мюнхенъ, гдѣ Фраунгоферъ былъ удостоенъ званія профессора и выбранъ членомъ Академіи.

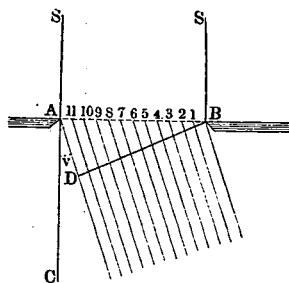
Главный предметъ его изслѣдованій продолжали составлять темныя линіи солнечнаго спектра. Для полученія спектра Фраунгоферъ сталъ пользоваться не только призмами, но и такъ называемой оптической рѣшеткой.

426. Выше мы видѣли (§ 411), что спектръ можно получить при помощи диффракціи свѣта.

На узкую щель AB , на рис. 402 сильно увеличенную, падаетъ пучокъ лучей SS монохроматическаго свѣта. Въ самой щели, т. е. на линіи AB , отдѣльные лучи

находятся въ одной и той же фазѣ колебанія и изъ каждой точки отрѣзка AB , согласно началу Гюйгенса, выходятъ новыя свѣтотворныя волны. Если экранъ, на который падаетъ этотъ спектръ, находится такъ далеко отъ щели, что всѣ линіи отъ AB до экрана можно считать параллельными, то, очевидно, то мѣсто экрана, которое приходится прямо противъ щели, получить лучи въ одной и той же фазѣ колебанія и потому будетъ сильно освѣщено.—Иначе будетъ обстоять дѣло, однако, въ мѣстахъ, на которыя попадаютъ лучи, уклоненныя (въ силу диффракціи) отъ первоначальнаго направленія. Тѣ лучи, напримѣръ, которые образуютъ съ первоначальнымъ направленіемъ лучей SA уголъ ν , будутъ проходить неодинаковыя пути отъ щели до

Рис. 402



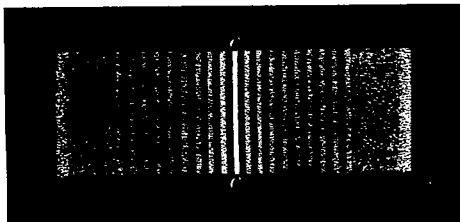
Интерференція при узкой щели. будутъ проходить неодинаковыя пути отъ щели до экрана. Разсмотримъ внимательнѣе нѣсколько отдѣльныхъ лучей, обозначенныхъ на рисункѣ цифрами отъ 1 до 12. Разность хода двухъ крайнихъ лучей, или отрѣзокъ AD , пусть будетъ равна длинѣ цѣлой волны. Въ этомъ случаѣ средний лучъ, обозначенный числомъ 6, долженъ пройти полуволной больше, чѣмъ крайній лучъ у B . Слѣдовательно, если послѣдній даетъ на экранѣ гребень волны, то лучъ 6 производитъ долину волны. Такимъ образомъ, дѣйствія этихъ двухъ лучей взаимно уничтожаются. Такимъ же образомъ попарно уничтожаются лучи 1 и 7, 2 и 8, 3 и 9, 4 и 10, 5 и 11. Весь этотъ пучекъ лучей, слѣдовательно, не вызоветъ на экранѣ никакого дѣйствія въ силу интерференціи отдѣльныхъ лучей.

Если для крайнихъ лучей пучка, уклоненнаго отъ первоначальнаго направленія еще больше, разность хода составитъ двѣ цѣлыя длины волны, то разность хода между крайнимъ лучемъ и среднимъ, какъ и разность хода между послѣднимъ и другимъ крайнимъ лучемъ, будетъ составлять одну длину волны. Такимъ образомъ лучи каждой половины будутъ взаимно уничтожать свое дѣйствіе. То же имѣетъ мѣсто, если разность хода крайнихъ лучей будетъ составлять 3, 4, 5 и т. д. цѣлыхъ длинъ волнъ.—Въ тѣхъ направленіяхъ, которыя соотвѣтствуютъ этимъ разностямъ, на экранъ не будетъ попадать никакого свѣта и на соотвѣтственныхъ мѣстахъ будутъ видны темныя полосы. Но если разность хода крайнихъ лучей будетъ составлять 1, 3, 5, 7 и т. д. полуволнъ, то въ этихъ направленіяхъ на экранъ будетъ попадать нѣкоторый свѣтъ и на соотвѣтственныхъ мѣстахъ получатся свѣтлыя линіи. Образованное интерференціей изображеніе будетъ состоять изъ свѣтлой линіи посрединѣ и ряда свѣтлыхъ и темныхъ полосъ по обѣ стороны отъ средней линіи (рис. 403).

Если измерить взаимное расстояние двух соседних темных полос и определить угол, на какой уклонился пучек света от первоначального направления, то вычисление длины волны монохроматического света, служившего для опыта, представит простую геометрическую задачу. Именно, разность путей от щели до темных полос на экранѣ, соответствующихъ взятымъ лучамъ, должна составлять цѣлую длину волны.

Если производить этотъ опытъ не съ монохроматическимъ, а съ бѣлымъ свѣтомъ, то изображенія будутъ состоять не изъ свѣтлыхъ и темныхъ полосъ, а изъ

Рис. 403



Интерференціонныя полосы.

цвѣтныхъ. Въ самомъ дѣлѣ, лучи различнаго цвѣта даютъ свои свѣтлыя и темныя полосы на неодинаковыхъ расстояніяхъ отъ средней полосы, которая и въ этомъ случаѣ будетъ бѣлой, такъ какъ она образована лучами всѣхъ цвѣтовъ. Ближайшая свѣтлая полоса къ серединѣ будетъ фіолетовая, такъ какъ фіолетовый цвѣтъ имѣетъ наименьшую длину волны. За ними будутъ слѣдовать остальные полосы въ порядкѣ цвѣтовъ радуги. Но эти цвѣта нечисты, такъ какъ, съ удаленіемъ отъ средней полосы, цвѣта все больше и больше смѣшиваются другъ съ другомъ.

427. Фраунгоферъ улучшилъ этотъ диффракціонный спектръ введеніемъ такъ называемой оптической рѣшетки, которую онъ получилъ, натянувъ металлическія проволочки черезъ углубленія нарѣзки двухъ параллельныхъ винтовъ. Можно приготовить такую рѣшетку также, процарапавъ тонкія линіи въ слоѣ металла на стеклянномъ зеркалѣ. Чаще всего употребляютъ рѣшетки, полученныя нанесеніемъ параллельныхъ линій на стеклянную пластинку тонкимъ алмазнымъ рѣзцомъ. Промежутки между двумя нанесенными линіями будутъ представлять щели. Если пропустить лучъ свѣта перпендикулярно къ рѣшеткѣ, то каждая щель ея представитъ исходную точку новыхъ свѣтовыхъ волнъ.

Рис. 404 представляетъ часть такой рѣшетки. Первую изъ какой-нибудь тысячи щелей пусть представляетъ ab , вторую cd и т. д. Проходящій свѣтъ, сохранившій первоначальное направленіе, собирается при помощи линзы и даетъ на экранѣ свѣтлую полосу.

Напротивъ, свѣтовые лучи, проходящіе сквозь рѣшетку въ косомъ направленіи, будутъ давать нѣкоторую разность хода. Если эта разность, на примѣръ, для лучей, идущихъ сквозь первую и вторую щели, составитъ $1/1000$ длины волны, то вообще для каждой пары соседнихъ щелей разность хода будетъ составлять $1/1000$ длины

волны. Лучи, проходящіе сквозь щель 501, должны пройти путь, который на 500/1000 длины волны длиннѣе пути, который должны пройти лучи изъ щели 1. Слѣдовательно, эти лучи взаимно уничтожаются. То же относится къ лучамъ, выходящимъ изъ щелей 2 и 502, 3 и 503 и т. д. Такимъ образомъ свѣтъ, выходящій въ такомъ направленіи изъ первыхъ 500 щелей, будетъ уничтожаться свѣтомъ, выходящимъ изъ слѣдующихъ 500 щелей.—Если рѣшетка имѣетъ достаточное число щелей, то свѣтъ будетъ уничтожаться вездѣ, кромѣ тѣхъ мѣстъ, на которыхъ лучи двухъ сосѣднихъ щелей даютъ разность хода въ нѣсколько цѣлыхъ длинъ волны.

Тамъ, гдѣ разность хода для лучей двухъ сосѣднихъ щелей составляетъ 1, 2, 3 и т. д. (цѣлое число) длинъ волны, всѣ пучки лучей всѣхъ щелей усиливаютъ другъ друга. Поэтому въ соответственныхъ направленіяхъ должны получиться свѣтлыя линіи.

Такимъ образомъ рѣшетка, какъ и отдѣльная щель, даетъ интерференціонныя полосы, свѣтлыя и темныя, но изображение получается значительно ярче, чѣмъ отъ одной щели.

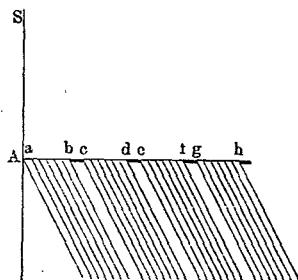
Если для этого опыта съ рѣшеткой брать бѣлый свѣтъ, то вмѣсто свѣтлыхъ и темныхъ полосъ получится спектръ, фіолетовый конецъ котораго будетъ обращенъ къ средней полосѣ. Рѣшетка даетъ не одинъ спектръ съ каждой стороны отъ средней полосы, а нѣсколько, расположенныхъ дальше отъ нея и постепенно все болѣе и болѣе слабыхъ.

428. Въ диффракціонномъ спектрѣ солнечнаго свѣта Фраунгоферъ нашелъ темныя линіи въ томъ же порядкѣ и той же относительной яркости, что и въ призматическомъ. Онъ опредѣлилъ длины волнъ различныхъ цвѣтовъ, причѣмъ темныя линіи служили ему опорными точками. Измѣренія Фраунгофера гораздо цѣннѣе и точнѣе измѣреній Йонга и Ньютона, такъ какъ у послѣднихъ не было вспомогательнаго средства въ видѣ темныхъ линій.

Фраунгофера интересовала не математическая сторона вопроса и онъ не ставилъ себѣ задачей вмѣнательство въ споръ о природѣ свѣта. Онъ ограничивался просто установленіемъ фактовъ при помощи опытовъ. Математической обработкѣ его наблюденія были позднѣе подвергнуты Швердомъ (1792—1871), профессоромъ Шпейерской гимназіи. Эта обработка сдѣлала опыты съ оптической рѣшеткой новымъ подтвержденіемъ волнообразной теоріи. Во время появленія работы Шверда въ 1835 г. Фраунгофера уже давно не было на свѣтѣ, такъ какъ онъ умеръ въ возрастѣ всего 39 лѣтъ. Онъ въ высшей степени способствовалъ развитію оптики. Наиболѣе важное мѣсто здѣсь принадлежитъ его улучшениямъ оптическихъ инструментовъ при помощи вычисленія и шлифовки ахроматическихъ линзъ. На его могилѣ было справедливо написано: „Онъ приблизилъ къ намъ звѣзды“. Теперь мы можемъ прибавить: „Онъ далъ намъ возможность познавать природу источника свѣта по посылаемымъ имъ лучамъ“.

Фраунгоферовы линіи, а также наблюденіе желтой линіи въ огнѣ спиртовой

Рис. 404



Интерференція въ оптической рѣшеткѣ.

лампы явились предшественниками совершенно новой науки — спектрального анализа.

429. Спиртовое пламя само по себѣ безцвѣтно, но обыкновенно оно имѣетъ желтоватую окраску. На это явленіе обращать вниманіе уже въ 1752 г. Томасъ Мельвилль въ одномъ Эдинбургскомъ журналѣ. Однако, онъ не могъ указать причины этой желтой окраски.

Одновременно съ Фраунгоферомъ изслѣдовавшемъ спектра пламени различной окраски занимался Джонъ Гершель (§ 327). Его наблюденія, результаты которыхъ онъ опубликовалъ въ 1823 и 1829 гг., относились къ пламени, окрашенному стронціемъ, мѣдью или борной кислотой.

„Пламя съ азотнокислымъ стронціемъ даетъ два яркихъ красныхъ луча. Спектръ ограниченъ очень рѣзко, но всего удивительнѣе въ немъ свѣтлая фіолетовая линія,

Рис. 405



Г. Р. Кирхгоффъ.

совершенно отличная отъ остальныхъ.—Калій при горѣніи въ парахъ іода также даетъ характерный спектръ“. Гершель подчеркиваетъ, что этимъ путемъ можно обнаружить крайне ничтожныя количества окрашивающихъ пламя веществъ. Но ихъ свѣтъ нужно пропускать сквозь призму, такъ какъ при непосредственномъ наблюденіи окраска пламени не опредѣляется достаточно ясно.

Яснѣе говорить объ этихъ соотношеніяхъ Фоксъ Тальботъ (1800—1877), изобрѣтатель фотографіи на бумагѣ. Въ 1834 г., говоря о своихъ спектральныхъ изслѣдованіяхъ, начатыхъ въ 1826 г., онъ подчеркиваетъ, что стронціевое пламя и литіевое пламя, т. е. пламя, окрашенное стронціемъ или литіемъ, нельзя отличить другъ отъ друга простымъ глазомъ, такъ какъ оба они красныя, но если разсмат-

ривать стронціевое пламя сквозь призму, то кромѣ красножелтаго и рѣзкаго голубого лучей въ немъ можно замѣтить большое число красныхъ лучей, раздѣленныхъ другъ отъ друга темными промежутками. Напротивъ, въ литіевомъ пламени красные лучи не отдѣляются другъ отъ друга. Тальботъ прибавляетъ, что при помощи наблюденія спектра можно открывать поразительно ничтожныя количества этихъ веществъ и даже что этотъ способъ изслѣдованія гораздо тоньше, чѣмъ химическое опредѣленіе присутствія этихъ веществъ. Тальботъ, однако, не сдѣлалъ общихъ выводовъ изъ своихъ наблюденій. То же относится и къ Миллерсу (1817—1870), который опубликовалъ свои наблюденія спектровъ пламени въ 1845 г. Онъ, правда,

Рис. 406



Р. В. Бунзень.

приложилъ къ своей работѣ изображенія наблюденныхъ имъ спектровъ, но не добился яснаго представленія спектральныхъ явленій.

Существенный успѣхъ въ этомъ направленіи представляютъ работы Вильяма Свана (род. 1817), опубликованныя въ 1857 г. Сванъ доказалъ, что свѣтлая желтая линія въ спектрѣ спиртоваго пламени, которою пользовался уже Фраунгоферъ и которая почти никогда не отсутствуетъ въ спектрѣ пламени масляной лампы, производится металломъ натріемъ, который въ соединеніи съ хлоромъ даетъ поваренную соль. Причиной того, что почти всякое пламя даетъ линію натрія, является инородная распространенность этого вещества. Въ каждой водѣ, въ каждой пылинкѣ находится бѣльнее или меньшее количество этого соединенія.

Какъ было уже упомянуто, эта желтая линия всегда получается въ одномъ и томъ же мѣстѣ спектра. Такимъ образомъ, натрій въ пламени даетъ всегда одну опредѣленную спектральную линію. Сванъ изслѣдовалъ также пламя другого рода и пришелъ къ аналогичнымъ результатамъ, а именно, что спектральныя линіи, появляющіяся при нагрѣваніи вещества въ пламени, всегда находятся въ одномъ и томъ же мѣстѣ спектра. Всякое вещество имѣетъ свои опредѣленныя линіи, характерныя для него.—Однако, этотъ законъ былъ выраженъ ясно впервые только Кирхгоффомъ и Бунзеномъ. Сванъ разсматривалъ предметъ недостаточно обще и оставилъ безъ отвѣта вопросъ, какую роль играютъ въ произведеніи спектра твердыя и какую газообразныя вещества.

430. Густавъ Робертъ Кирхгоффъ родился въ Кёнигсбергѣ въ 1824 году. Онъ началъ свое ученіе въ университетѣ родного города, гдѣ въ числѣ его учителей былъ знаменитый профессоръ математической физики Францъ Нейманъ (1798—1895). Во всѣхъ работахъ Кирхгоффа можно замѣтить вліяніе Неймана, обнаруживающееся въ изящномъ математическомъ изложеніи физическихъ изслѣдованій. Въ 1838 г. Кирхгоффъ сталъ приватъ-доцентомъ Берлинскаго университета, въ 1850 профессоромъ въ Бреславлѣ, а въ 1864 профессоромъ въ Гейдельбергѣ. Въ Бреславлѣ въ теченіе одного года онъ работалъ одновременно съ Бунзеномъ, который переѣхалъ въ Гейдельбергъ уже въ 1852 г.

Робертъ Вильгельмъ Бунзенъ родился въ 1811 г. въ Гёттингенѣ. Здѣсь же въ 1833 г. онъ сталъ приватъ-доцентомъ, въ 1836 г. сдѣлался профессоромъ политехнической школы въ Касселѣ, въ 1838 г. профессоромъ въ Марбургѣ. Отсюда онъ въ 1851 г. перешелъ въ Бреславль. Уже въ слѣдующемъ году Бунзенъ послѣдовалъ приглашенію въ Гейдельбергъ.

Работая въ Гейдельбергѣ, Кирхгоффъ уже принадлежалъ къ числу знаменитѣйшихъ донентовъ Европы. Его лекціи, въ которыхъ обнаруживалось поразительное владѣніе матеріаломъ и которыя сопровождалсь изящными и точно выполненными опытами, привлекали въ Гейдельбергъ слушателей изъ всѣхъ странъ. Въ 1859 г. слѣдовательно, спустя два года послѣ появленія работъ Свана Кирхгоффъ помѣстилъ въ ежемѣсячникъ Берлинской Академіи статью о Фраунгоферовыхъ линіяхъ, въ которой онъ положилъ основаніе научному спектральному анализу. Эта статья состояла всего изъ двухъ страницъ въ восьмую долю листа и въ существенномъ содержала слѣдующее.

431. „Во время производимаго сообща Бунзеномъ и мною изслѣдованія о спектрахъ окрашеннаго пламени, которое дало намъ возможность опредѣлять составъ сложныхъ смѣсей по спектру ихъ пламени на паяльной трубкѣ, я сдѣлалъ нѣсколько наблюдений, которыя даютъ неожиданное указаніе на происхожденіе Фраунгоферовыхъ линій и позволяютъ вывести заключенія, на основаніи ихъ, о составѣ атмосферѣ солнца и, можетъ быть, болѣе яркихъ звѣздъ“.

„Фраунгоферъ замѣтилъ, что въ спектрѣ пламени свѣчи видны двѣ свѣтлыя линіи, которыя совпадаютъ съ двумя темными линіями *D* солнечнаго спектра. Тѣ же свѣтлыя линіи получаютъ ярче въ пламени, въ которое была внесена поваренная соль. Я сдѣлалъ рисунокъ солнечнаго спектра и при этомъ пропустилъ солнечныя лучи, еще до вступленія ихъ на щель, сквозь большое пламя, окрашенное поваренною солью. При достаточномъ ослабленіи солнечнаго свѣта на мѣстѣ двухъ темныхъ

линій D появлялись свѣтлыя линіи; но если напряженность солнечнаго свѣта переходила извѣстную границу, то темныя линіи D становились гораздо рѣзче, чѣмъ онѣ были при отсутствіи пламени, окрашеннаго поваренною солью“.

Когда Кирхгоффъ сдѣлалъ это наблюденіе и убѣдился въ его справедливости, онъ оставилъ лабораторію, чтобы обдумать этотъ вопросъ, со словами: „Тутъ, кажется, есть что-то фундаментально важное“ („das scheint mir eine fundamentale Geschichte“). На слѣдующій день онъ открылъ искомую связь. Въ его статьѣ дальше слѣдуетъ: „Изъ этихъ наблюденій я заключаю, что окрашенное пламя, въ спектрѣ котораго есть свѣтлыя рѣзкія линіи, такъ ослабляетъ лучи цвѣта этихъ линій, проходящіе сквозь него, что на мѣстѣ свѣтлыхъ линій появляются темныя, если позади пламени находится источникъ свѣта достаточной яркости, въ спектрѣ котораго этихъ линій вообще нѣтъ. Я заключаю далѣе, что темныя линіи солнечнаго спектра, которыя произведены не атмосферой земли, возникаютъ благодаря присутствію въ раскаленной атмосферѣ солнца веществъ, въ спектрѣ пламени дающихъ на томъ же самомъ мѣстѣ свѣтлыя линіи. Можно допустить, что свѣтлыя линіи, въ спектрѣ пламени совпадающія съ D , всегда обусловлены присутствіемъ натрія; отсюда темныя линіи D въ спектрѣ солнца позволяютъ заключить, что въ атмосферѣ солнца есть натрій“. Такимъ образомъ, Кирхгоффъ думаетъ, что ядро солнца раскалено добѣла и испускаетъ лучи всѣхъ цвѣтовъ, но что солнечная атмосфера удерживаетъ изъ этихъ лучей, между прочимъ, желтые лучи натрія, такъ какъ она сама содержитъ раскаленные пары натрія. Такимъ образомъ, солнечный спектръ, повидимому, есть спектръ поглощенія, такъ какъ нѣкоторые изъ цвѣтныхъ лучей спектра отчасти или вполнѣ поглощаются веществомъ, окружающимъ источникъ свѣта.

Кирхгоффъ заключаетъ свою статью слѣдующими словами: „Согласно этому изслѣдованію спектровъ окрашеннаго пламени приобрѣло новый высокій интересъ; вмѣстѣ съ Бунзеномъ я поведу изслѣдованіе дальше, насколько позволятъ наши средства. При этомъ мы будемъ изслѣдовать дальше установленное моимъ наблюденіемъ ослабленіе свѣтовыхъ лучей въ пламени. Изъ тѣхъ опытовъ, которые сдѣланы нами въ этомъ направленіи, уже выяснился одинъ фактъ, который имѣетъ, какъ намъ кажется, большое значеніе. Друммондовъ свѣтъ для обращенія въ немъ линій D въ темныя требуетъ меньшей температуры пламени, окрашеннаго солью. Пламя не вполнѣ обезвоженнаго алкоголя годится для этого, но пламя Бунзеновской газовой горѣлки уже не годится. При употребленіи послѣдней достаточно самага ничтожнаго количества поваренной соли, какое только можетъ быть замѣчено, чтобы показались свѣтлыя линіи натрія. Мы оставляемъ за собою право вывести дальнѣйшія слѣдствія, которыя могутъ быть связаны съ этимъ фактомъ“.

432. Наиболѣе важнымъ пунктомъ этой коротенькой статьи является, очевидно, указаніе на связь между лучами, посылаемыми пламенемъ, и лучами, ослабляемыми имъ, когда сквозь него проходитъ бѣлый свѣтъ.

Въ ученіи о теплотѣ (II, §§ 133 и 134) будетъ показано, что два тѣла одинаковой температуры, помѣщенные рядомъ, находятся въ условіяхъ уравновѣшеннаго излученія. Отсюда необходимо слѣдуетъ, что способность излученія и способность поглощенія у такихъ двухъ тѣлъ должны находиться въ одномъ и томъ же отношеніи другъ къ другу. Если одно тѣло излучаетъ тепла въ 10 разъ больше, чѣмъ другое,

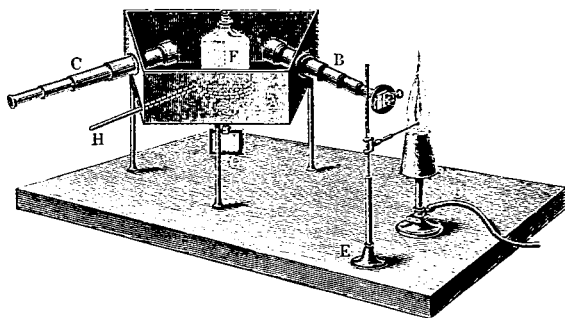
то условие уравниваемости излучений может иметь место только в том случае, если первое тело поглощает тепловые лучи в 10 раз сильнее, нежели второе. Но что справедливо для тепловых лучей, то справедливо и для световых, так как тепловые и световые лучи, подобно различным цветным лучам, отличаются друг от друга только скоростью своих колебаний (ср. § 410 и II, § 145).

Кирхгофф проследила глубже эту связь между излучением и поглощением. Он показал, что найденное соотношение должно быть справедливым для каждого отдельного рода лучей, характеризуемого своею особою длиною волны. Но существуют такие виды пламени, которые испускают монохроматический свет, т. е. свет одной определенной длины волны. Такое монохроматическое пламя должно, следовательно, в особенно значительной степени поглощать свет, длина волны которого равна длине волны посылаемых им самим лучей.

Это объясняло тот опыт, в котором солнечный и Друммондов свет, прежде чем быть разсыпанным призмой, проходили сквозь натриевое пламя. Пламя натрия излучает свет, соответствующий двойной линии *D*. Этот же свет содержится также и в свете солнца, но в последнем он гораздо сильнее, чем в пламени натрия. Он ослабляется в этом пламени, так что в спектр получается линия более слабая в сравнении с той, которая получается от солнечного света, попадающего на призму непосредственно.—Друммондов свет содержит лучи всех цветов. Поэтому он дает непрерывный спектр. Но если пропустить его сквозь пламя натрия, то его спектр пересечется двойной темной линией *D*.

433. До появления работ Кирхгоффа и Бунзена не было достаточно известно тот факт, что спектральные линии могут характеризовать раскаленное

Рис. 407



Первый спектроскоп Кирхгоффа.

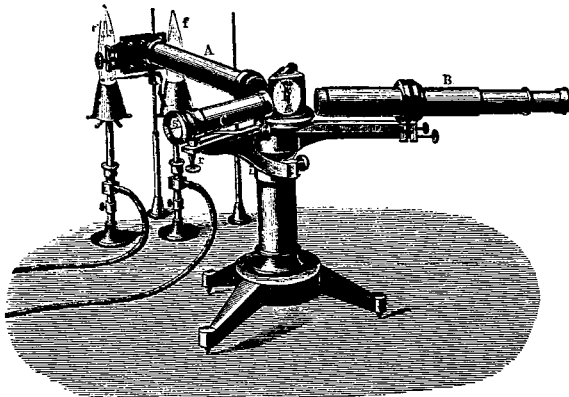
в пламени вещество. Правда, такая связь подозревалась, но вполне разъяснили ее именно только Кирхгофф и Бунзень. Этому очень помог построенный Кирхгоффом спектроскоп.

Первый спектроскоп Кирхгоффа и Бунзена имел устройство, показанное на рис. 407. *F* представляло полую стеклянную призму с плоско-параллельными стѣнками, наполнявшуюся сѣрнистым углеродом, который представляет собою сильно преломляющую жидкость. Трубка *B* на одномъ концѣ, обращенномъ къ пламени, была

снабжена щелью, а на другомъ кониѣ имѣла собирательную линзу, которая дѣлала параллельными лучи, идущіе отъ щели. Эти лучи преломлялись призмою и полученный спектръ разсматривался зрительною трубою *C* съ 8-кратнымъ увеличеніемъ.

Профессоръ Штейнгейль въ Мюнхенѣ далъ спектроскопу форму, изображенную на рис. 408 и ставшую теперь общепринятою. Полая призма замѣнена въ ней массивной стеклянной, а кромѣ коллиматора и зрительной трубы еще третья труба.

Рис. 408



Усовершенствованный спектроскопъ Кирхгоффа.

Эта труба на концѣ, обращенномъ къ призмѣ, снабжена собираательною линзою, а съ другого конца закрыта стеклянною пластинкою съ мелкими дѣленіями. Выходящія изъ этой трубки лучи падаютъ на поверхность призмы и отражаются въ зрительную трубу, такъ что наблюдатель видитъ въ полѣ зрѣнія, выше или ниже спектра, дѣленія, при

Рис. 409

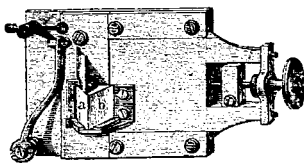
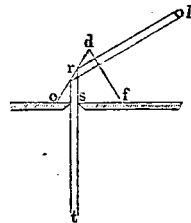


Рис. 410

oF

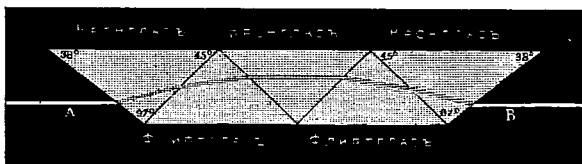


Щель съ призмою.

помощи которыхъ онъ можетъ точно опредѣлять положеніе спектральныхъ линій. Другое улучшеніе спектроскопа состоитъ въ приспособленіи, позволяющемъ наблюдать одновременно спектры двухъ источниковъ свѣта. Для этой цѣли половина щели закрывается равностороннею призмою *ab* (рис. 409). Лучи, идущіе отъ пламени, ко-

торое находится на продолженіи оси коллиматора, проходитьъ сквозь непокрытую часть щели. Напротивъ того, сквозь призму они не могутъ пройти, такъ какъ отражаются поверхностью призмы. Но если помѣстить пламя L нѣсколько сбоку отъ щели (рис. 410), то лучи, падающіе на поверхность df , войдутъ въ призму и отразятся отъ поверхности призмы cd въ щель. Въ непокрытую же часть щели отъ источника свѣта L не попадетъ ни одного луча. Такимъ образомъ, если эти два пламени, поставленные прямо передъ щелью и сбоку отъ нея, различнаго рода, то въ зрительную трубу спектроскопа одновременно будутъ видны два различныхъ спектра. Они будутъ лежать непосредственно одинъ надъ другимъ, такъ что положеніе линий можно очень удобно сравнивать.— Существуютъ также спектроскопы, въ которыхъ ось зрительной трубы находится на продолженіи оси коллиматора (рис. 411). Эти такъ называемые прямые спектроскопы (прямого зрѣнія, à vision directe) состоятъ изъ нѣсколькихъ кронгласовыхъ и флинтгласовыхъ призмъ, напримѣръ, изъ трехъ

Рис 411



Прямой (à vision directe) спектроскопъ.

кронгласовыхъ и двухъ флинтгласовыхъ, углы которыхъ подобраны такъ, что преломленіе—но не разсѣяніе—одной группы призмъ уничтожается дѣйствіемъ другой группы. Маленькіе карманные спектроскопы всѣ принадлежать къ разряду прямыхъ.

434. Кирхгоффъ и Бунзенъ изслѣдовали множество извѣстныхъ веществъ, особенно металловъ. Изслѣдуемое вещество укрѣплялось на платиновой проволоцкѣ и нагрѣвалось на пламени Бунзеновской горѣлки, на пламени водорода или гремучаго газа. При высокой температурѣ вещество обращалось въ паръ и свѣтъ этого раскаленнаго пара изслѣдовался. Эти наблюденія тотчасъ же повели къ открытію

Рис. 412



Гейслерова трубка.

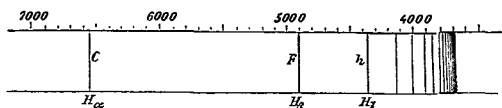
двухъ новыхъ элементовъ, цезія и рубидія. Позднѣе при помощи спектроскопа было открыто нѣсколько другихъ элементовъ, напримѣръ, таллій, галлій и индій (ср. таблицу спектровъ).

Спектры газообразныхъ тѣлъ наблюдаютъ при помощи такъ называемыхъ Гейслеровыхъ трубокъ (рис. 412), т. е. стеклянныхъ трубокъ, которыя содержатъ разрѣженный газъ и въ которыя впиваются двѣ платиновыхъ проволоцки, служащихъ для проскакиванія въ газѣ электрическихъ искръ, производимыхъ индукціоннымъ приборомъ.

Газъ при этомъ раскаливается и можно наблюдать его спектръ, помѣстивъ среднюю узкую часть трубки передъ щелью спектроскопа. Спектръ водорода (рис. 413) состоитъ изъ трехъ отчетливыхъ линий (красной, зеленой и фиолетовой), которыя совпадаютъ съ тремя Фраунгоферовыми линиями *C*, *F* и *h*. Кроме того, спектръ водорода содержитъ рядъ менѣ замѣтныхъ линий въ фиолетовомъ цвѣтѣ.

Спектральные линіи появляются только тогда, когда свѣтъ испускается раскаленными парами или газами, которые находятся подъ надлежащимъ давленіемъ. Свѣтъ, производимый твердыми и жидкими тѣлами, даетъ непрерывный (сплошной) спектръ.

Рис. 413



Спектръ водорода.

Спектръ иногда можетъ представлять среднее между сплошнымъ и линейчатымъ— это такъ называемые полосовые спектры, въ которыхъ рядъ свѣтлыхъ полосъ чередуется съ темными промежутками. При болѣе значительномъ разсѣяніи свѣта эти полосы разрѣшаются въ группы свѣтлыхъ линій и такимъ образомъ получается такъ называемый желобчатый спектръ.—Полосовые спектры даются преимущественно сложными веществами, напримѣръ, углеводородами. Но и газообразные элементы могутъ давать полосовые спектры, напримѣръ, когда электрическія искры въ Гейслеровой трубкѣ недостаточно сильны.

При помощи спектральнаго изслѣдованія, какъ уже подчеркивали Геринель и Тальботъ, можно обнаруживать присутствіе чрезвычайно ничтожныхъ количествъ нѣкоторыхъ веществъ. Кирхгоффъ и Бунзенъ нашли, что $\frac{1}{3000000}$ миллиграмма хлористаго натрія окрашивала пламя настолько, что оно давало ясную линію натрія, а полнѣе въ электрической искрѣ открывали даже присутствіе $\frac{1}{40000000}$ миллиграмма литія.

435. При изслѣдованіи менѣ преломляемыхъ лучей и изслѣдованіи свѣта сильныхъ источниковъ бываетъ выгодно пользоваться диффракціоннымъ спектроскопомъ, который обладаетъ тѣмъ преимуществомъ, что даетъ непосредственныя длины волнъ спектральныхъ линій. На изображенномъ на рис. 414 приборѣ *L* представляетъ коллиматоръ, *M* стеклянную оптическую рѣшетку и *F* зрительную трубу, въ которую наблюдается диффракціонный спектръ. На раздѣленномъ кругѣ отсчитывается уголъ отклоненія (диффракціи) и изъ величины этого угла опредѣляется длина волны спектральной линіи, на которую установлены перекрестныя нити зрительной трубы (ср. § 426). Съ такимъ именно инструментомъ шведскій физикъ Андерсъ Онгстрёмъ (1814—1874) очень точно опредѣлилъ положенія темныхъ линій солнечнаго спектра. Его знаменитый атласъ солнечнаго спектра (1869 г.) въ продолженіе 20 лѣтъ служилъ основой для точныхъ опредѣленій длинъ волнъ. Въ послѣднее время при спектральныхъ изслѣдованіяхъ находитъ широкое примѣненіе фотографія.

436. Послѣ того какъ Кирхгоффу и Бунзену удалось достовѣрно доказать, что спектральныя линіи дѣйствительно характеризуютъ различныя вещества, они предприняли основательное изслѣдованіе спектра солнца. Для этой цѣли Кирхгоффъ построилъ сильно разсѣивающій спектроскопъ съ четырьмя флинтгласовыми призмами

(рис. 415). Съ помощью тщательныхъ измѣреній эти превосходные изслѣдователи, опираясь на теорію поглощенія свѣтовыхъ лучей Кирхгоффа (§ 431), доказали, что значительное количество находящихся на землѣ элементовъ имѣется также и на солнцѣ. Этимъ они положили основаніе новой наукѣ, задачей которой является изслѣдованіе физическаго строенія небесныхъ тѣлъ. Въ 1865 г. Целльнеръ далъ этой наукѣ имя астрофизики.

Исходный пунктъ для опредѣленія веществъ, находящихся на солнцѣ, дали опыты Кирхгоффа надъ пламенемъ натрія и заключенія, которыя онъ извлекъ изъ этого опыта (§ 432).

Кирхгоффъ представлялъ себѣ солнце въ видѣ твердаго тѣла, раскаленнаго добѣла, окруженнаго оболочкой паровъ, въ которой находятся, въ видѣ паровъ же,

металлы, такъ какъ температура поверхности солнца чрезвычайно высока. Солнечныя пятна Кирхгоффъ считалъ облаками солнечной атмосферы и, такимъ образомъ, массами болѣе или менѣе плотныхъ паровъ.—Солнечное ядро представляетъ часть солнца съ наиболѣе высокой температурой и отъ него исходитъ главная масса солнечнаго излученія. Последнее, такимъ образомъ, должно проходить сквозь атмосферу паровъ, которые также раскалены, но имѣютъ температуру ниже температуры солнечнаго ядра. Эта атмосфера паровъ дѣйствуетъ подобно натріевому пламени, въ опытѣ Кирхгоффа (§ 431), т. е. поглощаетъ тѣ лучи, которые сама испускаетъ. Поэтому спектръ солнечнаго свѣта, доходящаго до земли, даетъ темныя линіи (ослабленныя мѣста), которыя отвѣчаютъ лучамъ, поглощеннымъ солнечной атмосферой. Изъ числа этихъ темныхъ (Фраунгоферовыхъ) линій солнечнаго спектра многимъ соответствуетъ множество спектральныхъ линій извѣстныхъ намъ металловъ; изъ этого совпаденія Кирхгоффъ и Бунзенъ заключили, что въ атмосферѣ солнца должны содержаться эти металлы въ парообразномъ состояніи.

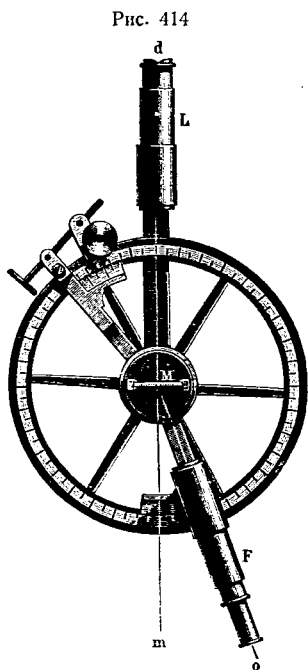


Рис. 414

Спектроскопъ съ оптической рѣшеткой.

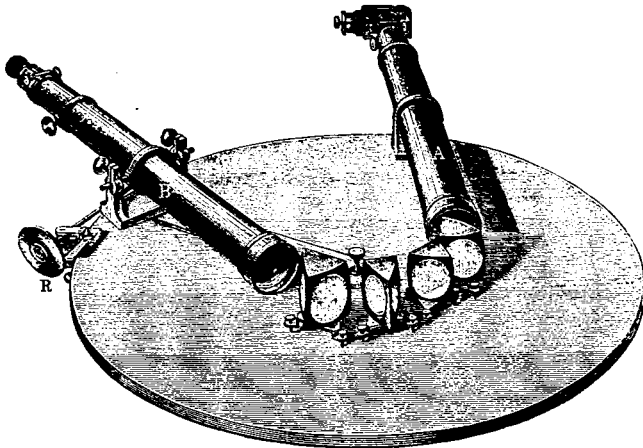
Кирхгоффа о поглощающемъ дѣйствіи солнечной атмосферы на свѣтъ солнечнаго ядра, и притомъ доказательство, опирающееся не на опытъ со свѣтящимся пламенемъ, а на прямое наблюденіе солнечнаго свѣта. Въ настоящее время такое доказательство дѣйствительно есть. Однако, прежде чѣмъ перейти къ нему, мы должны познакомиться съ современными взглядами астрофизиковъ на строеніе солнца.—И теперь еще говорить о солнечномъ ядрѣ. Но это ядро недоступно прямому изслѣдованію. Въ высшей степени вѣроятно, что оно газообразно, такъ какъ его плотность составляетъ всего 1·4 (§ 310). Еслибы солнце было жидко, то оно должно было бы имѣть

437. Конечно, было бы въ высшей степени важно найти доказательство справедливости теоріи

гораздо большую плотность, такъ какъ въ немъ содержатся нъ значительномъ количествѣ тяжелые металлы. Но газообразное солнечное ядро не совсѣмъ сравнимо съ массой газа на поверхности земли. Въ силу огромнаго давления, господствующаго на солнцѣ, солнечное ядро обладаетъ плотностью, которая превосходитъ плотность воды, но, несмотря на это, оно въ силу своей высокой температуры газообразно.

Видимая поверхность солнца образуется слоемъ сильно раскаленныхъ облаковъ, фотосферой, окружающей солнечное ядро. Въ этой фотосферѣ образуются солнечныя пятна и изъ нея выступаютъ солнечныя факелы. Солнечныя пятна, иногда

Рис. 415



Спектроскопъ Кирхгоффа съ сильнымъ свѣторазсѣяніемъ.

достигающія размѣровъ въ миллионъ квадратныхъ миль, представляютъ собою углубленія въ фотосферѣ и кажутся намъ темными, такъ какъ эти углубленія наполнены сравнительно холоднымъ и потому сильно поглощающимъ газомъ, который спускается изъ вѣншихъ слоевъ въ эти углубленія. Солнечныя факелы производятся противоположнымъ процессомъ, т. е. тѣмъ, что въ отдѣльныхъ мѣстахъ фотосферы массы раскаленныхъ паровъ выбрасываются наружу. Факелы могутъ достигать высоты въ 10000 миль и ярче остальной фотосферы въ силу того, что излучаемый ими свѣтъ проходитъ сквозь болѣе тонкій слой газовъ.

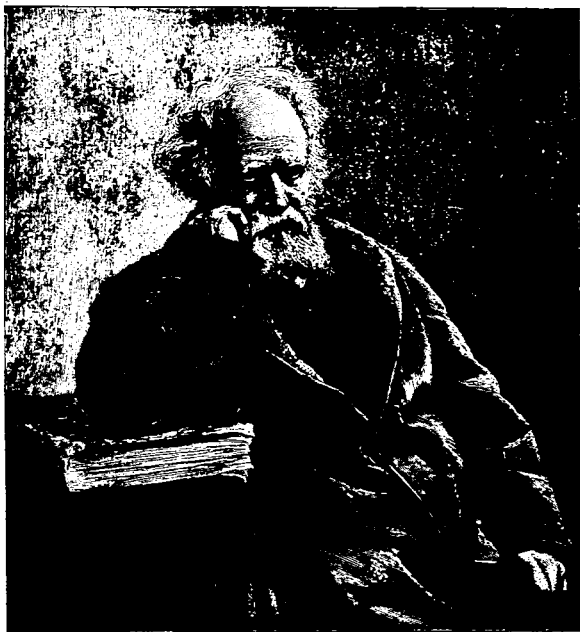
Фотосфера покрыта другимъ слоемъ газовъ, болѣе холоднымъ, приблизительно въ 200 миль толщиной. Въ этомъ слое происходитъ поглощеніе, производящее Франгоферовы линіи.

Поглощающій слой переходитъ въ пурпурно-красную хромосферу, которая кромѣ другихъ элементовъ содержитъ большія количества водорода. Изъ хромосферы поднимаются отростки часто удивительной формы, такъ называемыя протуберанцы или солнечныя выступы; хромосферу окружаетъ, наконецъ, самая вѣншая часть солнечной атмосферы, корона, постепенно теряющаяся въ темныхъ пространствахъ небесъ.

438. При обыкновенныхъ условіяхъ нельзя отличить одинъ отъ другого раз-

ные слои, изъ которыхъ состоитъ атмосфера солнца. Но во время полныхъ солнечныхъ затмений мы можемъ изучать самыя вѣшнія раскаленные газообразныя оболочки, такъ какъ при этомъ дискъ луны закрываетъ солнечное ядро и фотосферу.— Сдѣланное во время полнаго солнечнаго затмения спектральное изслѣдованіе вѣшнихъ накалившихся слоевъ солнечной атмосферы можетъ, очевидно, послужить для повѣрки установленной Кирхгоффомъ теоріи Фраунгоферовыхъ линий. Именно, во время затмения свѣтъ фотосферы устраняется луною и на землю попадаетъ только свѣтъ отъ вѣшнихъ слоевъ солнца, которые согласно теоріи Кирхгоффа и производятъ поглощеніе. Здѣсь въ извѣстной мѣрѣ мы имѣемъ тотъ же случай, какой представлялъ въ упомянутомъ уже (§ 431) опытъ свѣтъ одного натріеваго пламени, изстѣ-

Рис. 416



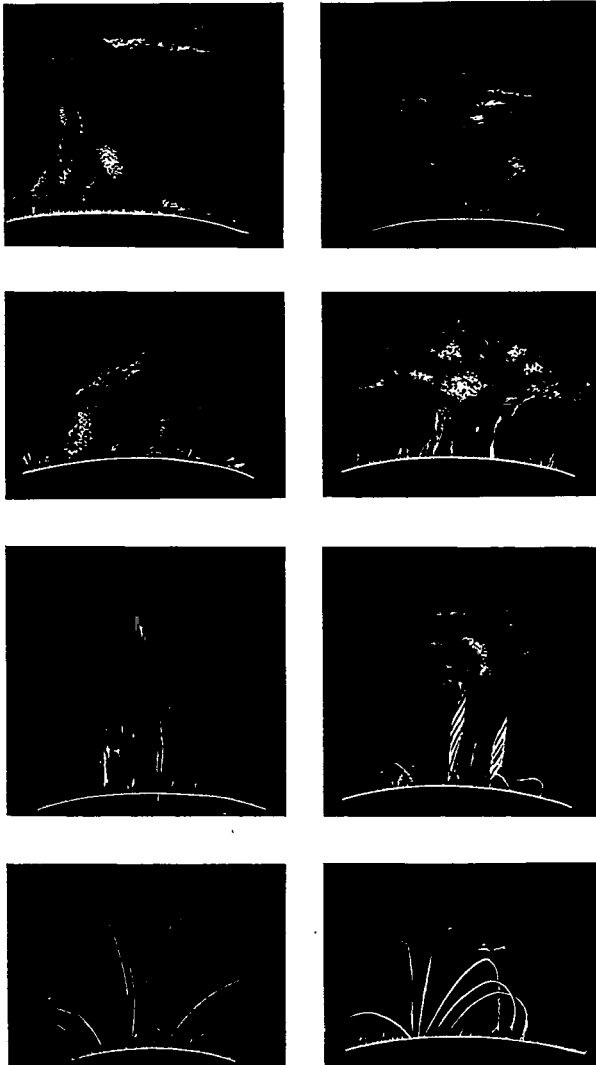
П. Ж. Жанссень.

дуемаго при помощи спектроскопа. Отсюда вытекаетъ, что, изслѣдуя спектроскопически свѣтъ солнца во время полнаго солнечнаго затмения, мы должны видѣть спектральныя линіи свѣтлыми на темномъ фонѣ.

Полное солнечное затмѣніе 1868 г. и было использовано для такой повѣрки теоріи Кирхгоффа. Французская Академія послала астронома Жанссена (1824—1907) въ Остъ-Индію, гдѣ это затмѣніе могло наблюдаться при особенно благопріятныхъ условіяхъ. Жанссень обратилъ свое вниманіе особенно на протуберанцы, эти своеобразныя отвѣтвленія хромосферы, нерѣдко причудливой формы. Онѣ бывають очень ярки, а иногда и чрезвычайно велики (рис. 417). Жанссень направилъ спектро-

скопъ на протуберанцы и увидѣлъ спектръ, состоящій изъ свѣтлыхъ линий. Этимъ было доказано, что протуберанцы состоятъ изъ раскаленныхъ газовъ.

Рис. 417



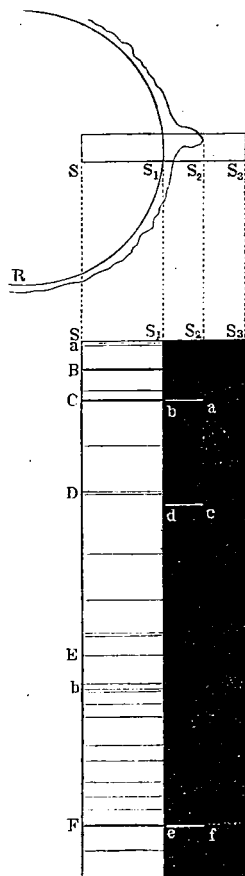
Солнечные выступы или протуберанцы.

Еще во время этихъ наблюдений Жанссенъ нашелъ способъ видѣть эти протуберанцы въ обыкновенныхъ условіяхъ, т. е. внѣ солнечныхъ затмений. Почти одно-

временно на тотъ же способъ попалъ и англійскій астрономъ Норманъ Локіертъ (род. 1836), который приложилъ этотъ приемъ на практикѣ еще раньше, чѣмъ сообщеніе Жанссена достигло Европы.

Протуберанцы можно наблюдать при полномъ солнечномъ свѣтѣ, если замѣнить окулярную часть астрономической трубы коллиматоромъ спектроскопа, притомъ такъ, чтобы щель коллиматора находилась въ самомъ фокусѣ объектива. Затѣмъ труба направляется на солнце такъ, чтобы изображение солнечнаго края попадало на щель спектроскопа. На рис. 418 линия RR представляетъ изображение солнца, а SS_2 щель.

Рис. 418



Спектръ протуберанцы.

Такой спектроскопъ долженъ обладать большимъ разсѣяніемъ и, слѣдовательно, долженъ имѣть большое число призмъ. Свѣтъ отъ SS_1 , непосредственный свѣтъ солнца, даетъ обыкновенный спектръ солнца съ Фраунгоферовыми линиями.—Свѣтъ отъ S_1S_2 нѣсколько иной. Отчасти онъ состоитъ изъ обыкновеннаго солнечнаго свѣта, а отчасти изъ свѣта протуберанцы. Но обыкновенный солнечный свѣтъ (дневной свѣтъ), падающій на S_1S_3 , слабъ и потому въ сильно разсѣивающій спектроскопъ даетъ лишь слабый спектръ. Напротивъ того, свѣтъ протуберанцы не ослабляется сильнымъ разсѣяніемъ спектроскопа, такъ какъ онъ состоитъ только изъ отдѣльныхъ свѣтлыхъ линий. Такимъ образомъ, послѣднія отчетливо выступаютъ на фонѣ слабого солнечнаго спектра. На рисункѣ показаны три линіи протуберанецъ. Первая изъ нихъ, ab , соответствуетъ Фраунгоферовой линіи C , вторая, cd , лежитъ въ желтомъ цвѣтѣ, а третья, ef , отвѣчаетъ Фраунгоферовой линіи F . Поставивъ щель касательно къ солнечному краю, можно увидѣть форму протуберанцы, если раскрыть щель такъ, чтобы въ ней могло помѣститься изображеніе протуберанцы (рис. 419). Если протуберанца даетъ три спектральныхъ линій, то, конечно, получается и три ея изображенія различнаго цвѣта.

Въ протуберанцахъ всегда есть водородъ и кальцій. Кромѣ того, спектръ протуберанецъ всегда даетъ желтую линію вблизи линіи натрія. До 1895 г. не было извѣстно никакого вещества, которое давало бы эту линію. Элементъ, неизвѣстный въ числѣ земныхъ веществъ, по своему нахожденію на солнцѣ получилъ имя гелія. Только въ указанномъ году Клеве обнаружилъ гелій въ минералѣ клеветѣ, а Рамзэй изолпровалъ и точнѣе изслѣдовалъ его.

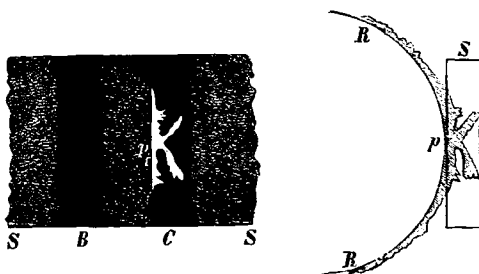
Иногда въ протуберанцахъ встрѣчаются также желѣзо, натрій, никкель, кобальтъ, марганецъ, барій, стронцій, титанъ и магній.

439. Во время солнечнаго затмѣнія можно также изслѣдовать свѣтъ того слоя атмосферы солнца, который лежитъ непосредственно надъ фотосферой. Этотъ слой

даетъ Фраунгоферовы линіи. Поэтому, если теорія Кирхгоффа вѣрна, то свѣтъ этого слоя долженъ содержать тѣ лучи, которыхъ нѣтъ въ спектрѣ солнца, кромѣ, конечно, лучей, отвѣчающихъ линіямъ поглощенія атмосферы земли (§ 441). Это и подтверждается наблюдениями, которыя дѣлались во время затмѣній послѣ установленія этой теоріи.

Цѣлый рядъ веществъ является общимъ для протуберанецъ и поглощающаго слоя, но поглощающій слой содержитъ больше, чѣмъ протуберанцы. До настоящаго времени доказано присутствіе на солнцѣ приблизительно 30 земныхъ элементовъ. Спектръ короны даетъ зеленую линію, относительно которой мы не знаемъ, какимъ веществомъ она произведена. Съ другой стороны намъ извѣстно не мало веществъ (напримѣръ, золото и ртуть), линіи которыхъ въ спектрѣ солнца не наблюдались.

Рис. 419



Изображеніе протуберанцы.

440. Спектры неподвижныхъ звѣздъ въ общемъ сходны со спектромъ солнца, но темныя линіи въ нихъ не всегда находятся въ тѣхъ же самыхъ мѣстахъ спектра. Отсюда мы можемъ заключить, что неподвижныя звѣзды, какъ и солнце, имѣютъ раскаленное ядро, окруженное оболочкою раскаленныхъ паровъ.

Секки (ум. 1878) и Фогель раздѣлили звѣзды по ихъ спектрамъ на три группы соотвѣтственно свѣтлости ихъ поверхности. Первая группа охватываетъ спектры „бѣлыхъ“ звѣздъ, которыя имѣютъ такую высокую температуру, что пары металловъ въ ихъ атмосферахъ поглощаютъ свѣтъ лишь немного. Въ этихъ спектрахъ линіи водорода сильны, а линіи металловъ слабы; въ нѣкоторыхъ спектрахъ попадаются и линіи гелія (Сиріусъ, Вега). Вторая группа охватываетъ спектры звѣздъ, которыя находятся въ температурныхъ условіяхъ, сходныхъ съ условіями нашего солнца. Темныя линіи поглощенія сильны и отчетливы (Капелла, Альдебаранъ). Третья группа содержитъ спектры звѣздъ, обладающихъ такой невысокой температурой, что элементы, входящіе въ составъ ихъ атмосферъ, существуютъ уже не въ свободномъ состояніи, а только въ видѣ химическихъ соединений. Въ этихъ спектрахъ видны темныя линіи и полосы (α Геркулеса). Въ туманностяхъ обнаруженъ водородъ и азотъ. Повидимому, въ спектрѣ туманностей бываетъ и линія гелія.

441. Часть Фраунгоферовыхъ линій производится поглощеніемъ не солнечной, а земной атмосферы. Эти такъ называемыя теллурическія линіи, производимыя азотомъ, кислородомъ и водородомъ, замѣтны рѣзче всего при низкомъ стояніи солнца,

такъ какъ тогда лучи свѣта должны проходить большую толщу воздуха, чѣмъ при высокомъ положеніи солнца.

Спектроскопическое изслѣдованіе свѣта планетъ показало, что Меркурій, Венера и Марсъ имѣютъ атмосферы, не очень отличающіяся отъ атмосферы земли. Напротивъ того, свѣтъ Юпитера и Сатурна даетъ одну полосу поглощенія, которая обуславливается либо особымъ газомъ, либо тѣми условіями давленія и температуры, которыя господствуютъ на этихъ планетахъ. Атмосферы Урана и Нептуна очень отличаются отъ земной атмосферы и во всякомъ случаѣ содержатъ вещество, не имѣющееся въ атмосферѣ земли.

Спектръ луны совершенно совпадаетъ съ спектромъ солнца—очевидное доказательство того, что луна не имѣетъ замѣтной атмосферы.

Кометы частью даютъ слабый сплошной спектръ (отраженный свѣтъ солнца), частью спектръ углеводовъ. Въ иныхъ кометахъ наблюдались также лишіи натрія и желѣза.

442. Такимъ образомъ, спектральный анализъ далъ намъ возможность изслѣдовать до извѣстной степени физическое и химическое строеніе самосвѣтящихся небесныхъ тѣлъ. Тщательное изученіе темныхъ лишій солнечнаго спектра Фраунгоферомъ было первымъ шагомъ искусства читать этотъ языкъ цвѣтовъ, а Кирхгоффъ своимъ открытіемъ, что раскаленные газы поглощаютъ и излучаютъ свѣтъ одной и той же длины волны, далъ намъ ключъ этого свѣтового шифра. Въ настоящее время спектральный анализъ служитъ вспомогательнымъ средствомъ для научныхъ открытій многихъ изслѣдователей. Съ другой стороны онъ нашелъ обширное примѣненіе при практическихъ работахъ въ лабораторіи. И практической химикъ пользуется не только спектрами излученія со свѣтлыми линиями для обнаруженія присутствія какого-нибудь вещества, но также и спектрами поглощенія съ темными линиями и полосами, которыя даетъ свѣтъ, пройдя сквозь поглощающее вещество. Получающійся спектръ является признакомъ поглощающаго вещества и многіе пары и жидкости даютъ очень характерные спектры поглощенія.

Спектральный анализъ нашелъ чрезвычайное обширное примѣненіе. Астрофизикъ при помощи своего телескопа со спектроскопомъ обнаруживаетъ присутствие водорода въ звѣздахъ, удаленныхъ отъ насъ на тысячи свѣтовыхъ годовъ, а практической химикъ на судъ пользуется спектроскопомъ, чтобы установить фактъ фальсификаціи вина или отравленія окисью углерода. —Ньютонъ былъ правъ, назвавъ изученіе чистаго спектра многообъщающей задачей (ср. § 422).

Кирхгоффъ имѣлъ счастье дожить до быстрого и плодотворнаго развитія спектрального анализа. Съ 1868 г. онъ сталъ болѣть и былъ лишенъ возможности заниматься экспериментальными изслѣдованіями, когда въ 1875 г. онъ былъ приглашенъ въ Берлинъ. Какъ достойный ученикъ Неймана, онъ отдалъ свои послѣднія силы изслѣдованіямъ по математической физикѣ. Онъ умеръ въ 1887 г. Его другъ и сотрудникъ Бунзенъ, великолѣпный экспериментаторъ, умеръ въ 1899 г.

Указатель I тома.

- Абстрация свѣта 261.
Агаверкъ 72.
Адамсъ, J. C. Adams 287.
Accademia del Cimento 320.
Аккомодация глаза 102.
Алькунинъ 46.
Альгазенъ 90, 99, 101.
Аль-Мамунъ 44.
Альфонсъ X 46.
Анаксагоръ 72.
Анаксимандръ 34.
Анаморфозы 88.
Арабы 44.
Arago, D. F. Arago 263.
Ареометръ 190; Никольсона 191.
Арпстархъ 23 и сл., 33.
Аристотель 22, 46, 74, 101, 103, 114, 135, 137, 141, 144, 161, 182, 195, 214, 216, 367, 374.
Армати, Salvino degli Armati 102
Арфа золова 341.
Архимедъ 25, 83, 114 и сл., 153, 178 и сл., 189.
- Барнардъ, E. E. Barnard 291.
Барометръ 218; водяной 228.
Бартолинъ, Bartholinus 257, 383.
Бегаймъ, Behaim 49.
Безмень 112.
Бенедетти, Benedetti 163.
Бенценбергъ, Benzenberg 277, 326.
Берберини, Berberini 142.
Бернулли, Jean Bernoulli 158.
Бессель, F. W. Bessel 287, 313 и сл.
Билле, Billet 378.
Билинцъ 153.
Бланкони, Bianconi 326.
Біенія 324.
Біо, J. V. Biot 334.
Блокъ 125, 127.
Боде, Bode 295.
Бойль, Robert Boyle 232, 271, 326.
Бойсъ, Boys 287.
Боме, Vauvé 191.
Борелли, Borelli 274.
- Браге Тихо, Tycho Brahe 12, 29, 54 и сл., 76, 145, 155, 251, 289, 297.
Брадлей, James Bradley 260, 301.
Брама, J. Bramah 188.
Брустеръ, J. Brewster 83, 105, 269, 380, 400.
Бугеръ, Bouguer 254, 284.
Бунзенъ, R. W. Bunsen 418 и сл.
Бэконъ Р., Roger Bacon 16, 75, 83, 96.
Бэконъ Ф., Francis Bacon 159.
Бэли, Bailly 286.
- Валленштейнъ, Wallenstein 66.
Валлисъ, J. Wallis 170.
Вальтеръ, V. Walther 48.
Веберъ, W. und E. Weber 328.
Вентурни, Venturi 375
Верде, V. Verde 207.
Вернье (Вернеръ) П., P. Vernier (Werner) 251.
Вивіани, Viviani 143.
Виллисъ, Willis 356.
Винтъ 114.
Винчи, Leonardo da Vinci 102, 105, 125.
Вителло, Vitello 374.
Витрувій 178.
Витстонъ, Wheatstone 105, 356.
Возмущенія планетныя 287.
Волны въ водѣ 326; въ воздухѣ 330.
Восхождение прямое 29.
Вращеніе земли 52, 276.
Вульстенъ, W. Wollaston 409—410.
Вѣсъ воздуха 218, 238; удѣльный 189 и сл.
Вѣсы 111; гидростатическіе 189; Роберваля 130.
Высота тона 322.
- Галилей, Galileo Galilei 97, 134 и сл., 155, 160, 168, 170, 174, 187, 215, 216, 258, 259, 292, 302, 308.
Галле, Galle 288.
Галлей, E. Halley 241, 261, 278, 289, 298, 307, 326.
Гардингъ, Harding 296.
Гармонія 349.
Гарсія, M. Garcia 356.
Гарунъ-аль-Рашидъ 152.

- Гассенди, P. Gassendi 325, 326.
 Гауссъ, C. F. Gauss 296.
 Геле, P. Hele 158.
 Гелиометръ 312.
 Гельмгольцъ, Hermann v. Helmholtz 344 и сл., 353, 356.
 Гендерсонъ, Henderson 315.
 Генке, Henke 296.
 Георгъ Трапезундскій 47.
 Герики, Otto v. Guericke 224 и сл.
 Геронъ 80, 152. 194 и сл., 214, 216.
 Гершель В., William Herschel 287, 304 и сл.
 Гершель Дж., John Herschel 312.
 Гершель Каролина, Caroline Herschel 305.
 Гетальди, M. Ghetaldi 189.
 Гёте, W. Goethe 380.
 Гидростатика 179.
 Гизе Кульмскій 52.
 Гиппархъ 28 и сл., 42
 Гиппиократъ 189.
 Глазь 102
 Гласныя 356.
 Глобусъ небесный 7.
 Глэшеръ, J. Glaisher 216.
 Гномонъ 11.
 Годень, Godin 251.
 Голль, A. Hall 291.
 Голось 355.
 Горизонтъ 5.
 Уорло 355.
 Гороскопъ 66.
 Горребовъ, P. Horrebow 260.
 Горы лунныя 139.
 Граммъ 256.
 Грегори, J. Gregory 270.
 Григорій XIII 16.
 Гримальди, F. Grimaldi 382—383, 396.
 Гукъ, R. Hooke 158, 241, 271, 274 и сл., 368.
 Гульельмини, Guglielmini 277.
 Гэ-Люссакъ, Gay-Lussac 263.
 Гюйгенсъ, Christian Huyghens 151. 155 и сл., 164, 170, 253, 326, 341, 389—390.
 Давленіе боковое въ водѣ 186; воды 183; воздуха 218; на дно 184.
 Д'Арландъ, D'Arlandes 245.
 Движеніе волнообразное 326 и сл.; маятника 149.
 Декартъ, René Descartes 99, 162, 170, 368, 376.
 Делюкъ, Deluc 238.
 Демокритъ 72, 73, 385.
 Дергэмъ, W. Derham 326.
 Дёрфель, Dörfel 297.
 Диффракція свѣта 382.
 Діонъ Кассій 17.
 Длина свѣтовой волны 395.
 Дове, Dove 353.
 Долгота географическая 35.
 Доллондъ, J. Dollond 373.
 Доминисъ, A. de Dominis 376.
 Дондерсъ, F. C. Donders 356.
 Дорога желѣзная пневматическая 241.
 Дуга дневная и ночная 6.
 Дѣленіе времени 13; круга 11.
 Евклидъ 101.
 Евстахіо, В. Eustachio 361.
 Жанссень, P. J. Janssen 426.
 Жолли, Jolly 287.
 Законъ Бойля 235; Кенлера 65, 280; преломленія 100.
 Затменія лунныя 40
 Звѣзды двойныя 309; неподвижныя 304; движенія 307, 317; число 308; разстояніе 308, 314.
 Зеебекъ, Seebeck 353.
 Земля, форма 21. 50, 249; движеніе 24. 40. 276, 277; величина 23.
 Зенитъ 12.
 Зеркало вогнутое 84; выпуклое 88; глазное 344; горловое 356.
 Зодіакъ 7.
 Измѣреніе высотъ барометромъ 237; градусное 249 и сл.
 Инструменты меридіанныя 28.
 Интервалы благозвучныя 348.
 Интерференція звуковыхъ волнъ 339; свѣтовыхъ 413.
 Йенсенъ, Jensen 98.
 Йонгъ, Thomas Young 392—397.
 Кабео, Cabeo 301.
 Кавалло, Cavallo 244.
 Калейдоскопъ 83.
 Календарь Юліанскій 15; Григоріанскій 16.
 Каллиппъ 15.
 Камера-обскура 74, 94.
 Камертонъ 325, 340.
 Каньярь Делатуръ, Cagniard de la Tour 353.
 Кардани (ъ), G. Cardani 124.
 Карль Великій 46, 152.
 Карты, ихъ черченіе 36.
 Кассини Д., Domenico Cassini 256, 258 и сл., 289, 326.
 Кастелли, P. Castelli 371.
 Кемпелень, von Kempelen 356.

- Кенигъ, König 287.
 Кеплеръ, Johannes Kepler 60 и сл., 76, 98, 100, 102, 273, 289, 295, 297, 302, 368.
 Кирхгоффъ, G. R. Kirchhoff 418 и сл.
 Кирхеръ, A. Kircher 341.
 Клапанъ 201.
 Кларкъ, Clark 317.
 Клеве, Cleve 428.
 Клеомедъ 40, 89.
 Клингеншерне, S. Klängenstjerne 373.
 Ко, S. de Caus 208.
 Коксвелль, Coxwell 246.
 Колеса водяныя 211; зубчатая 153.
 Колладонъ, Colladon 333.
 Колодцы артезианскіе 183.
 Колоколь вололазныи 241.
 Колумбъ 48 и сл.
 Кольца Ньютонова 393, 396; Сатурна 156.
 Кометы 9, 297.
 Кондаминъ, Condamine 254, 284, 326.
 Коперникъ 27, 51 и сл., 289.
 Корню, Cornu 362.
 Корти, Corti 266.
 Кратценштейнъ, Kratzenstein 356.
 Кремеръ, G. Kremer 38.
 Ктезибій 151, 178, 194, 200.
 Кубокъ волшебный 199.
 Кэвендишъ, Henry Cavendish 285.
- Лагранжъ, Lagrange 325.
 Лактанцій 89.
 Лана, Lana 244.
 Лапласъ, P. S. Laplace 332.
 Лассель, Lassei 306.
 Латера magica 95.
 Леверрье, Leverrier 288.
 Лексель, Lexell 299.
 Лейбницъ, Leibnitz 270.
 Линзы 90; ахроматичесюя 374; собирательныя 91.
 Линнй Фраунгофера 411 и сл.
 Линнъ, F. Linnus 234.
 Липперсгей, Lippershey 97.
 Лиссажу, Lissajou 351.
 Локьеръ, N. Lockyer 428.
 Лонгомонтанъ 62.
 Луна, движение 8, 272; разстояніе 26, 28; время обращенія 8; строеніе 292.
 Людовикъ XIII, Louis XIII 35.
- Мавроликъ 76, 90, 94, 102.
 Малюсъ, E. Malus 397 и сл.
 Мариоттъ, E. Mariotte 104, 237.
 Мариусъ (Майръ), Marius (Mayr) 291.
- Марсъ 293.
 Марцелль 115.
 Марини, M. Marci 170, 367.
 Маскелайнъ, Maskelyne 285.
 Масса земли 284 и сл.; небесныхъ тѣлъ 283.
 Маятникъ циклоидальный 158.
 Мельвилль, Th. Melville 416.
 Мельница вѣтряная 207; ступальная 206.
 Меридіанъ 35.
 Меркаторъ, Mercator 38.
 Мерсеннь, Mersenne 163, 221, 323, 326.
 Метонъ 14.
 Метръ 113, 255.
 Мецій, Metius 97.
 Миллерсъ, Millers 417.
 Митчелль, J. Mitchell 285.
 Млечный Путь 311.
 Молинё, S. Molynoux 260.
 Монгольфье, Mongolfier 244.
 Монте, Ubaldo del Monte 125, 126, 137.
 Мопертюи, Maupertuis 255.
 Морепа, Maurepas 254.
 Морзингъ, Morsing 62.
 Мэстлинъ, Mästlin 63.
- Надиръ 12.
 Насосъ воздушный 226; всасывающій 205. нагнетательный 204, 240; пожарный 202.
 Начало Архимеда 181; возможныхъ перемѣщеній или скоростей 129; Гюйгенса 389.
 Нейманнъ, F. Neumann 418.
 Нептунъ 288.
 Никольсонъ, Nicholson 191.
 Нобль, W. Noble 340.
 Нолле, Nollet 231.
 Нониусъ 251.
 Норвудъ, Norwood 249.
 Нуньесъ, Nunez 251.
 Ньютонъ, Jsaac Newton 168, 253, 268 и сл., 276, 284, 297, 299 и сл., 326, 331, 368, 385 и сл., 399, 409.
- Обертонъ 342.
 Ольберсъ, Olbers 296.
 Омаръ 44.
 Онгстрёмъ, A. Ångström 423.
 Опытъ Торричелли 217.
 Органъ Кортіевъ 362; слуха 360.
 Освальдъ, Oswald 341.
 Отраженіе свѣта 80 и сл.; полное внутреннее 100; волнъ 336; звука 337.
- Паденіе по наклонной плоскости 132 и сл. свободное 136, 145.

- Папинъ, D. Papin 232.
 Парадоксъ гидростатическій 184.
 Параллелограммъ силъ 167.
 Парменидъ 21.
 Паскаль, Blaise Pascal 220 и сл., 234.
 Періодъ звѣзды Пса (Сотисъ) 14.
 Перспектива 72.
 Перье, Perrier 221.
 Пиготъ, Pigot 340.
 Пикарь, Picard 62, 249, 253, 256, 260, 326.
 Пипетка 199.
 Пифагоръ 19, 322.
 Пицци, Piazzi 296.
 Планетоиды 296.
 Планеты 9, 42, 52.
 Платонъ 22, 74, 114.
 Плиніи 89.
 Плоскость наклонная 133, 148.
 Площадь круга 116.
 Подвѣсъ Кардановъ 124.
 Полибіи 115.
 Полиспасты 114, 128; дифференціальныи 129.
 Полунарія Магдебургскія 227.
 Полюсь міра 5; смѣшеніе 33.
 Поляризація свѣта 399.
 Порты, Giambattista della Porta 94, 96, 97, 102, 151.
 Посидоній 39.
 Предвареніе равноденственныхъ точекъ (прецессія) 33, 300.
 Преломленіе атмосферное 41; двойное 384, 397, 403; звуковыхъ волнъ 338; свѣта 41, 89 и сл.
 Прессъ винтовой 133; гидравлическій 188.
 Призма 90; Николева 404.
 Приливы и отливы 301, 330.
 Притяженіе небесныхъ тѣлъ 280.
 Проекція коническая 37; Меркаторская 38; стереографическая 36.
 Протуберанцы 425.
 Прохожденія Венеры 289.
 Пти, Petit 163.
 Птолемей 23, 33, 37, 41, 42, 43, 44, 47, 74, 83, 89, 99.
 Пурбахъ, Purbach 47.
 Пустота 195, 217, 226.
 Пятна солнечныя 140, 425.
 Равновѣсіе 123, 126; плавающихъ тѣлъ 181.
 Равноденствіе весеннее и осеннее 7.
 Радуга 374.
 Рамзэй, W. Ramsay 349.
 Рамо, J. Rameau 428.
 Распространеніе свѣта 71; звука 325, 331.
 Региомонтанъ 47, 251.
 Рейхъ, Reich 277.
 Резонансъ въ трубахъ 345.
 Резонаторъ 347.
 Рёмеръ, Ole Römer 157, 256 и сл., 326.
 Рень, Ch. Wren 170, 271.
 Реньо, Regnault 236
 Ретикъ, Rhaeticus 52.
 Риччиоли, Riccioli 249.
 Ринне, Richer 252, 289.
 Рихарцъ, Richarz 287.
 Роберваль, Roberval 130.
 Робинсонъ, Robison 353.
 Розье, Plâtre de Rozier 245.
 Ромэнъ, Romain 245.
 Румфордъ, Rumford 78.
 Рычагъ 109, 119.
 Рѣшетка оптическая 414.
 Сагредо, Sagredo 137.
 Сатурнъ 292.
 Сванъ, W. Swan 417.
 Свистокъ 346.
 Сводъ небесный, вращеніе 21.
 Свѣторазсвѣніе 368.
 Секки, A. Secchi 429.
 Сенекъ 88, 367.
 Сетось 175.
 Сжатіе земли 253.
 Сикстъ IV 48.
 Сила центробѣжная 164.
 Сирена 353.
 Система міра Коперника 52; Птолемея 43
 Тихонианская 60.
 Система планетная 291.
 Сифонъ 197, 222.
 Скиапарелли, G. Schiaparelli 291.
 Склоненіе 29.
 Скопленія звѣздныя 311.
 Скорость свѣта 256 и сл.; звука 326, 332;
 въ водѣ 333.
 Снелліусъ (Снелль), Snellius 99, 249.
 Совѣрь, J. Sauveur 324, 342.
 Созвѣздія 5.
 Созигень 15.
 Солнце, движеніе 7; разстояніе 27, 28, 289;
 строеніе 424.
 Солнцестояніе зимнее и лѣтнее 7.
 Сосудъ Мариотта 239; Паскаля 184; сообщающіеся 182.
 Сотисъ 14.
 Сохраненіе энергіи 175.
 Спектроскопъ 420.
 Спектръ 368 и сл.; диффракціонный 396, 413,

415, 423; излученія 430; поглощенія 430; звѣздъ 429.
 Спенсеръ, Н. Spencer 356
 Спутники 291; Юпитера 138.
 Стевинъ, Stevin 127, 133, 147, 167, 180 и сл., 185, 301.
 Стекло увеличительное 93.
 Стереоскопъ 105.
 Стоксъ, G. Stokes 380.
 Страбонъ 301.
 Сутки звѣздныя и солнечныя 30.
 Тальботъ, F. Talbot 416.
 Тарталья, Tartaglia 124, 161.
 Тартини, Tartini 325.
 Телескопъ Гершеля 306; зеркальный 270.
 Теодорихъ, Theodoricus de Saxonia 375.
 Теорія волнообразная 389; истеченія 386, 388.
 Тиндалль, J. Tyndall 336.
 Титиусъ (Тиць), Titius (Tietz) 295.
 Тоны симпатическіе 340; Тартиніевы 350.
 Торричелли, Evangelista Torricelli 143, 170, 216 и сл.
 Тосканелли, Toscanelli 49.
 Точка весенняго равноденствія 8; смѣшенія 32.
 Триангуляція 249.
 Труба зрительная 96.
 Трубки Гейслеровы 422.
 Трубы Евстахіевы 361; органныя 346; языч-
 ковыя 354.
 Туманности 311.
 Тэйлоръ, Brook Taylor 323.
 Уголь часовой 29.
 Узлы при колебаніяхъ 342.
 Уллоа, Уллоа 254.
 Ураніенбургъ 57.
 Устойчивость 123.
 Ухо 360.
 Ученіе о гнѣяхъ 73.
 Фазы луны 8.
 Факелы солнечныя 425.
 Фарадэй, Michel Faraday 405.
 Фаренгейтъ, Fahrenheit 191.
 Ферма, P. Fermat 274.
 Фернелъ, J. Ferrel 249.
 Фигуры Лиссажу 351; на звучащихъ пла-
 стинкахъ 342.
 Физо, H. L. Fizeau 264.
 Фирусъ 207.
 Флуоресценція 380.
 Флэмстидъ, Flamsteed 260, 297, 326.

Фогель, Н. С. Vogel 429.
 Фонографъ 359.
 Фотометрія 78.
 Фракасторо, Fracastoro 96.
 Фраунгоферъ, J. Fraunhofer 312, 410 и сл.
 Френель, A. J. Fresnel 400.
 Фуко, L. Foucault 266.
 Жименесь, Ximenes 45.
 Хладни, Chladni 342.
 Хромосфера 425.

Цахъ, Zach 296.
 Цвѣта 367 и сл.; дополнительные 381 и сл.;
 радуги 368.
 Цезарь 15, 151.
 Цёлльнеръ, Zöllner 424.
 Цельсій, Celsius 255.
 Центр тяжести 119.
 Циклоида 157.
 Цикль Метона 15.
 Цукки, N. Zucchi 271.

Чаллись, Challis 287.
 Часы 151; водяныя 151; карманныя 158; пе-
 сочныя 153; солнечныя 31.
 Числа колебаній звука 325; свѣта 395.

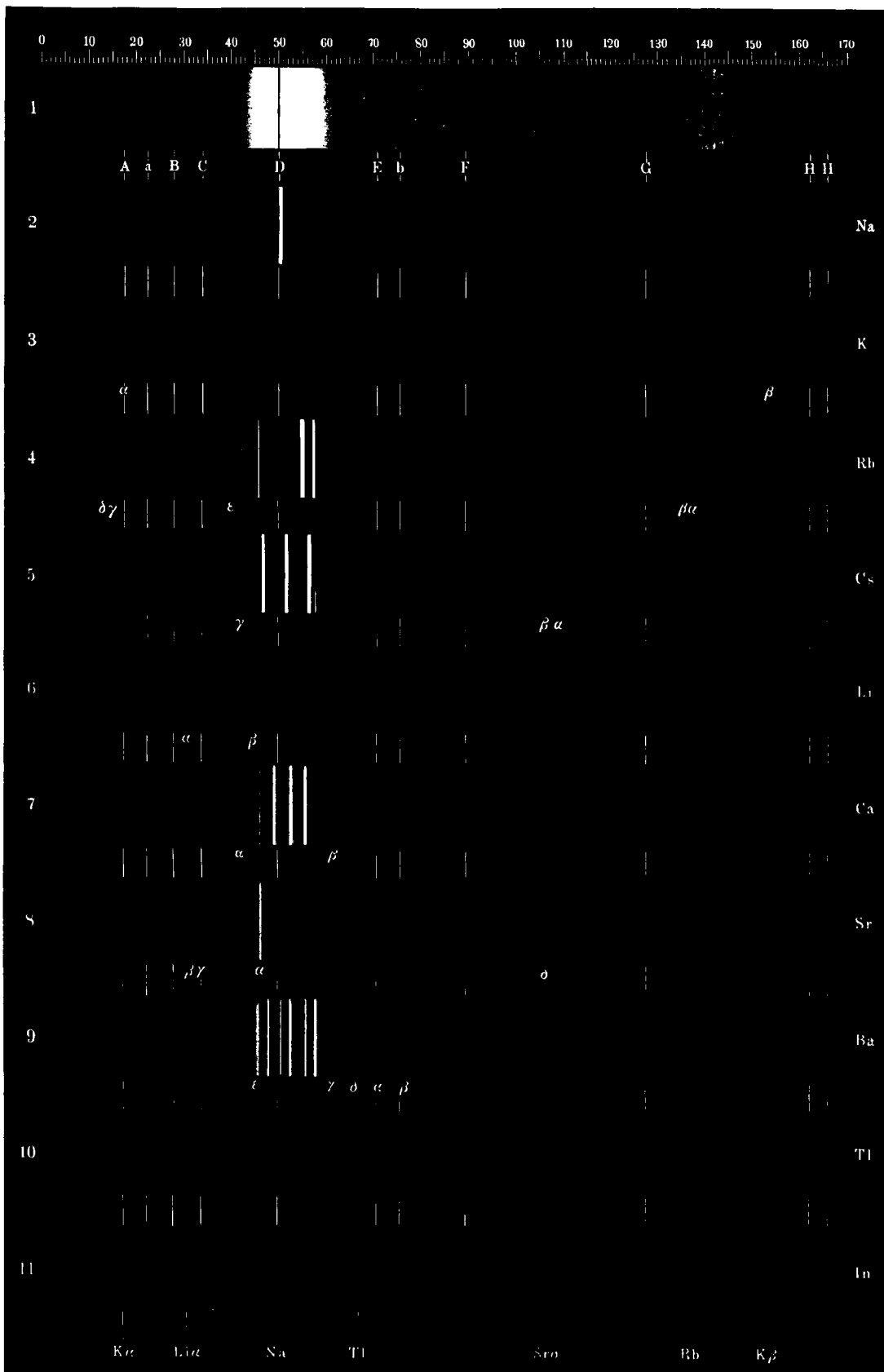
Шарль, Charles 244.
 Шаробразность земли 20.
 Шаръ воздушный 244; Героновъ 202
 Швердъ, Schwerd 415.
 Шейнеръ, Scheiner 98, 102, 104.
 Ширль, Shyrl 98.
 Широта географическая 34.
 Штейнгейль, Steinheil 421.
 Штурмъ, Sturm 333.
 Шутенъ, van Schooten 163, 170.

Эвдоксъ, 42.
 Эдисонъ, Th. Edison 359.
 Эйлеръ, L. Euler 373, 391 и сл.
 Экваторъ небесный 5.
 Эллиптика 7, 24.
 Элликотъ, Ellicot 341.
 Энергія 175.
 Эпициклъ 43.
 Эратосенъ 23.
 Эри, G. V. Airy 287, 330.

Янсень, Jansen 97.

Θалесь 17, 18, 34.
 Θεодоръ Самосскій 12.

Таблица спектровъ по рисункамъ Бундена и Кирхгофа

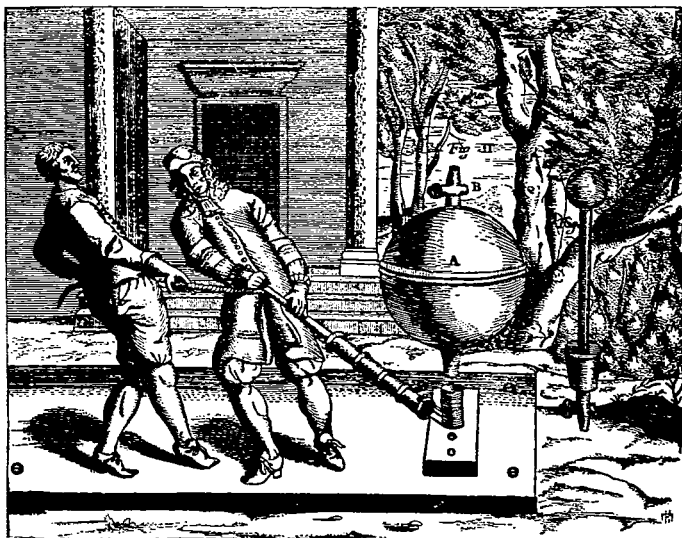


Druck von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

Историческая Физика

П. Лакуръ и Я. Аппель

Историческая Физика.



Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціей

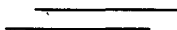
„Вѣстника Опытной физики къ Элементарной Математики“.



Одесса, 1908

ТОМЪ II

Теплота—Магнитизмъ—Электричество до
1790 г.—Электрическій токъ—Погода



Съ 380 рисунками и портретами въ
текстѣ и 4 цвѣтными метеорологиче-
скими картами.

Содержаніе

§§ 1—189. Теплота

	<i>стр.</i>
Онущеніе теплоты и ея измѣреніе	3
Парь	45
Природа теплоты	107
Лучистая теплота	113
Теплопроводность	130
Природа теплоты	139
Механическая теорія теплоты	157

§§ 190—250. Магнитизмъ

Магнитизмъ.—Стрѣлка склоненій	165
Вильямъ Гильбертъ	173
Земной магнитизмъ	187

§§ 251—303. Электричество до 1790 г.

Электричество отъ тренія	219
------------------------------------	-----

§§ 304—408. Электрическій токъ

Гальванизмъ	275
Природа вѣществъ	292
Электромагнитизмъ	333
Термоэлектричество	344
Законъ Ома	345
Индукція	351
Вольта. Эрстедъ. Фарадэй	360
Аккумуляторы	366
Полученіе тепла и свѣта при помощи электрическаго тока	368
Электрическіе разряды въ разрѣженномъ воздухѣ	373
Телеграфія и телефонія	381

§§ 409—455. Погода

До изобрѣтенія барометра	395
Метеорологическіе инструменты	396
Климатъ	405
Истолкованіе	407
Восходящія и нисходящія теченія	413
Приложеніе. Радиоактивность	423
Алфавитный указатель	427

Систематическій обзор еодержанія I тома

Т е п л о т а

Расширеніе отъ теплоты: газовъ 6, 30—33; жидкостей 7, 28—30; воды 29—30; твердыхъ тѣлъ 23—28.

Измѣреніе температуры и количества теплоты: воздушный термометръ 8—10, 30, 117—118; термометръ съ жидкостью 11—12, 16—21; металлическій термометръ 27; термоэлектрической столбикъ 122—123; калориметръ 43.

Измѣненіе физическаго состоянія: таяніе и замерзаніе 33, 158; измѣненіе объема при таяніи 34—35, 158; точка плавленія 36; точка плавленія и давленіе 37, 158; переохлажденіе 37; испареніе и конденсація 45, 62, 159—160; измѣненіе объема при образованіи паровъ 46—49; кипѣніе 72; дестилляція (перегонка) 297; сжиженіе газообразныхъ тѣлъ 298; критическая температура 299—300.

Удѣльная теплота, скрытая теплота: удѣльная теплота 42—45, теплота плавленія 40—42; охладительныя смѣси 35; теплота испаренія 65—68; машина для приготовления льда 66—67.

Паръ: давленіе пара 46—51, 160; Паппиновъ котель 54; измѣреніе давленія пара 70—76; дѣйствіе конденсатора 76—77; различіе между паромъ и газомъ 299, 306; паровая машина 47, 49—53, 54—61, 76—84; измѣреніе работы паровыхъ машинъ (индикаторъ) 84—89; лошадиная сила 84; паровой котель 102—105; пароходъ 90—99; пароходный вентъ 97—99; паровые экипажи 99—106.

Распространеніе теплоты: лучистая теплота 113—130, равновѣсіе излученія 115—116; лученспусканіе 115—119; поглощеніе тепловыхъ лучей 119—120; лученспусканіе въ разлчномъ направленіи 120; тепловой спектръ 124—127; теплопрозрачность 126—128; излученіе источниковъ свѣта 127; излученіе солнца 128—129; теплопроводность 130—131, 133—136; стационарное тепловое состояніе 132—134; теплопроводность и температура 134—135; безопасная лампа 134—135; „варка въ сѣнѣ“ 137—138; ледникъ 138; теплопроводность земли 138—139.

Природа теплоты: попытки взвѣсить теплоту 108; теплота, какъ движеніе 110—113; круговой процессъ Карно 139—143; тепловая энергія 144—147, 148—152; механической эквивалентъ тепла 146—157; механическая теорія теплоты 157—161.

М а г н и т и з м ъ

Магнитный камень: притягательная сила магнитнаго камня 165—166; магнитный камень, какъ направляющая стрѣлка 167.

Склоненіе: направляющая стрѣлка 166—169; полюсы направляющей стрѣлки 169—170; отклоненіе стрѣлки отъ меридіана 170—172, 173—175, 187—190; карта склоненій 177, 196—200; суточное измѣненіе склоненія 190, 209—211; вѣковыя измѣненія 198—200, компасъ 167—169, 213—215.

Наклоненіе: стрѣлка наклоненія 172—174; карта наклоненій 202; измѣненіе наклоненія 204—203.

- Земной магнетизм:** земля, как магнитъ 173, 188—193, 209; магнитные полюсы 195; напряжение земного магнетизма 203; дѣйствіе земли на магнитную стрѣлку 181; магнитныя обсерваторіи 209; магнитныя бури 210.
- Искусственные магниты:** намагничиваніе стали 167, 182—185; мягкое желѣзо и сталь 182, задерживательная сила 182—183; строеніе магнита 180, 182; полное намагничиваніе 184; сохраненіе магнита 186.
- Взаимодѣйствіе магнитовъ:** притяженіе и отталкиваніе 169—170; намагничиваніе чрезъ вліяніе 177—179; дѣйствіе полюсовъ на разстояніе 180—181.

Электричество

- Источники электричества:** электричество отъ тренія 219—221; электрическія машины 221, 229—232, 251—252; электрофоръ 264; электрофорная машина 265; электричество при соприкосновеніи 280; Вольтовъ столбъ 283; гальваническіе элементы 284—287, 331—333; электричество отъ теплоты 544—345; индуктивное электричество 351—355; магнитная индукція 353, Вольтаическая индукція 354; магнитоэлектрическія машины 355—357; электродинамическій принципъ 357; динамомашинны 358—360.
- Статическое электричество:** электрическое притяженіе и отталкиваніе 219, 220, 222, 227; два рода электричества 228; хорошіе и дурныя проводники электричества 224—226; электричество чрезъ вліяніе 238—241, 244—246, 260, 261—263; лейденская банка 232—234, 236—238; Франклинова доска 234; электричество облаковъ 243—244; громоотводъ 246—249; дѣйствіе остроконачій 241—243; распрежденіе электричества на проводникъ 256—257; потенциалъ 258; ёмкость 260; электрическія силовыя линіи 260; діэлектрики 263; приборы для измѣренія статическаго электричества 232, 252—256, 280, 281—282; теоріи электричества 235—236, 240—242.
- Электрическій разрядъ:** электрическая искра 223, 229, 242, 267—270; продолжительность электрической искры 267; молнія 243; энергія электрическаго разряда 269—270; физиологическія дѣйствія разряда 232, 233, 244, 270; животное электричество 271.
- Электрическій токъ:** токъ Вольтова столба 286—290; направленіе тока 288—291; сила тока 325, 338, 348; развѣтвленіе тока 350; электродвижущая сила 286, 290, 344—349; разность напряженій 349; напряженіе въ цѣпи 350; сопротивленіе 346—348; проводимость 351; законъ Ома 345—351.
- Природа веществъ:** основное вещество 293, 295—296, 302, 306, 308, 314—316; атомъ, атомный вѣсъ 294, 314—317; молекула, молекулярный вѣсъ 317—318; кислоты, основанія, соли 318—319; атомность 318; сродство 319; дестилляція (перегонка) 297, 300; сжиженіе газовъ 298—300; критическая температура 299; превращеніе металловъ, приготоовленіе золота, философскій камень 302—305; ученіе о флогистонѣ 309; опыты Кэвендиша, Пристляя и Лавуазье 310—314.
- Электрохимія:** химическое дѣйствіе тока 287—289, 320—333; опыты Фарадѣя и электролитическій законъ 325—326; передвиженіе юновъ 327—328; гальванопластика и гальваностегія 329; примѣненіе электролиза въ промышленности 330; постоянныя элементы 331—333.
- Аккумуляторы:** 366—368.
- Термоэлектричество:** 344—345.
- Электромагнетизмъ:** открытіе Эрстеда 334—337; нультипликаторъ 337—338, тангенсъ-гальванометръ 338; электромагнитъ 342—343; электрическій звонокъ 343; изслѣдованія Ампера о взаимодѣйствіи электрическихъ токовъ 339—341; соленоиды 341; Амперова теорія магнетизма 341.
- Индукція:** магнитная индукція 351—353; Вольтаическая индукція 354; законъ Ленца 355; приборъ Румкорфа 373—374; самоиндукція 373; магнитоэлектрическія машины 356; динамомашинны 358—360.

Полученіе тепла и свѣта при помощи электрическаго тока: законъ Джауля 368, величина работы тока 370; лампа накаливанія 369, дуговая лампа 371; короткое замыканіе 368.

Электрической разрядъ въ разряженномъ воздухѣ: изслѣдованія Фарадѣя 374; Гейсслеровы трубки 375, анодный и катодный свѣтъ 375, катодные лучи 376—379; Рѣнтгеновскіе лучи 379—381.

Телеграфія и телефонія: электрической телеграфъ Зѣммеринга 382; телеграфъ со стрѣлкой 383, телеграфъ съ циферблатомъ 384; телеграфные знаки 383; телеграфированіе по одному проводу 383; пишущій телеграфъ 385—387; проведеніе телеграфной линіи 387; беспроволочная телеграфія 388; фонотелеграфія 388—389; телефонъ Рейса 389—390; телефонъ Белля 390—391; микрофонъ 392.

П о г о д а

Измѣрительные инструменты: барометръ 396—399; термометръ 399; гигрометръ 401—402; дождемѣръ 404; приборы для измѣренія вѣтра (анемометры) 404; „самошпущіе“ приборы 405.

Климатъ: метеорологическія наблюденія Т. Брауна 395—396; суточные и годовыя измѣненія теплоты 406—407; распределеніе теплоты на землѣ 407; распределеніе атмосфернаго давленія 407; пассаты и муссонъ 408—409; антипассаты 409.

Погода и ея измѣненія: старыя правила погоды 395—396; старыя теоріи 408—409; законъ Байса-Балло 409—413; равновѣсіе воздуха 413; восходящія и нисходящія теченія 413—420; вихри 414—417; карты погоды 411—413; облака 414, 418; дождь 414; снѣгъ 420; градъ 416; круги и ложныя солнца 420—421.

Въ настоящей книгѣ метрическія мѣры обозначены сокращенно:

<i>м</i> = метръ,	<i>г</i> = граммъ,
<i>см</i> = сантиметръ,	<i>кг</i> = килограммъ.
<i>мм</i> = миллиметръ,	
<i>км</i> = километръ,	

Квадратныя мѣры отмѣнены прибавкой впереди буквъ *кв*, кубическія *куб*.

Даты указаны по новому стилю.

Теплота

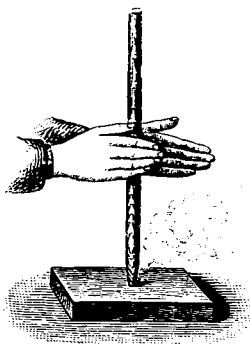
Ощущение теплоты и ея измѣреніе

1. Какъ свидѣтельствуеетъ исторія открытій, можно сказать, всѣ народы уже очень давно владѣли искусствомъ „добывать огонь“. Для этого требуются лишь очень простыя средства, а именно—сухое дерево, которое можно треніемъ заставить разгорѣться.

На рис. 1 изображенъ способъ добывать огонь, бывшій до послѣдняго времени въ употребленіи у островитянъ Тихаго океана. Заостреннымъ коломъ изъ сухого дерева трутъ о деревянную подставку. Подставка состоитъ изъ твердаго, а колъ изъ мягкаго и легко воспламеняющагося дерева. Опытные островитяне владѣютъ, говорить, этимъ приборомъ съ такой ловкостью, что конецъ деревянной палки загорается въ нѣсколько секундъ.

Вмѣсто обыкновенной деревянной палки многіе народы для добыванія огня употребляли буравъ, приводимый въ движеніе либо руками (рис. 2), либо при помощи

Рис. 1



Добываніе огня островитянами
Тихаго океана.

Рис. 2



Буравъ для добыванія огня
(Мексика).

веревки или ремня (рис. 3). При второмъ способѣ вращенія достигается очень сильное дѣйствіе; къ нему прибѣгаютъ въ томъ случаѣ, когда въ распоряженіи нѣтъ подходящихъ для этой цѣли сортовъ дерева. У индѣйцевъ въ Америкѣ найденъ былъ очень практичный буравъ, изображенный на рис. 4. Стержень бурава охватывается серединой шнура, концы котораго прикрѣплены къ концамъ дуги длиной въ 3 фута. На нижней части стержня находится тяжелое кольцо. Если намотать шнурокъ на

стержень и затѣмъ потянуть дугу внизъ, то нинурокъ разматывается и буравъ приходитъ въ быстрое вращеніе. Когда нинурокъ размотанъ до конца, буравъ продолжаетъ вращаться вслѣдствіе инерціи тяжелаго кольца, нинурокъ снова наматывается (въ противоположномъ направленіи) и дуга подымается. Когда она достигаетъ своей первоначальной высоты, ее вновь тянуть внизъ и т. д. Это движеніе продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока не получатся искры, при помощи которыхъ можно зажечь кусокъ трута.

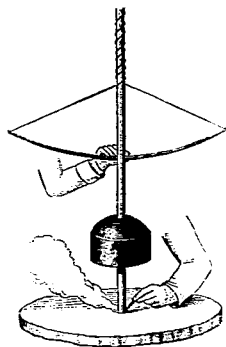
2. Искусство добыванія огня было извѣстно еще въ глубокой древности всѣмъ народамъ; совершенно такъ же огонь съ незапамятныхъ временъ игралъ важную роль въ возрѣніяхъ человѣка на природу. Въ огнѣ, какъ онъ думалъ, проявляются

Рис. 3



Буравъ для добыванія огня (у эскимосовъ).

Рис. 4



Буравъ для добыванія огня (у индѣйцевъ).

божественныя силы. Огонь солнца и звѣздъ, равно какъ и молніи, имѣетъ божественное происхожденіе. Многочисленныя преданія свидѣтельствуютъ о распространенности этого возрѣнія. Наиболѣе извѣстно сказаніе о Прометѣѣ, который похитилъ огонь у боговъ, передалъ его людямъ и научилъ ихъ обращаться съ нимъ. Другія преданія сообщаютъ, что огонь былъ украденъ у боговъ и спрятанъ въ поломъ кускѣ дерева или въ камнѣ, почему его и можно добыть путемъ тренія одного куска дерева о другой или при ударѣ двухъ камней другъ о друга. Въ этихъ преданіяхъ огонь является составной частью различныхъ тѣлъ, т. е. чѣмъ-то матеріальнымъ.

3. Не подлежитъ никакому сомнѣнію, что наиболѣе древнимъ примѣненіемъ огня было употребленіе его при приготовленіи пищи. Мясо жарили на вертелѣ, а супъ варили въ глиняныхъ и каменныхъ сосудахъ, бросая въ нихъ раскаленные камни. У нѣкоторыхъ народовъ, которымъ было неизвѣстно употребленіе топора и шпиль, валили деревья, разводя огонь у основанія ствола.

Многіе народы древности умѣли таюке съ помощью огня добывать металлы изъ рудъ и выдѣлывать изъ нихъ оружіе, предметы украшенія, посуду для варки и орудія. Этимъ именно путемъ эти народы положили первое основаніе своей культурѣ. Благодаря металлическимъ орудіямъ они стали искусными земледѣльцами,

искусными строителями и искусными техниками. Употребление металлической посуды для варки способствовало ознакомлению съ дѣйствіемъ огня на различныя вещества и имѣло вліяніе на развитіе искусства приготовления пищи и лѣкарствъ, и независимо отъ этого оно дало цѣлый рядъ наблюденій надъ тою силой природы, которую мы называемъ теплотой.

4. По всей вѣроятности выплавленіе металловъ повело къ открытію другого вещества, стекла, которое по своему значенію для культуры и въ особенности для развитія естественныхъ наукъ можетъ быть поставлено наряду съ металлами. Китайцы такъ же, какъ и египтяне, были мастерами въ дѣлѣ приготовленія и искусной обработки стекла. Фивы въ теченіе столѣтій были средоточіемъ высоко развитой фабрикаціи стекла. Оттуда это искусство перешло къ финиціанамъ и другимъ народамъ, обитавшимъ на берегахъ Средиземнаго моря. Греки познакомились съ нимъ въ V в. до Р. X.

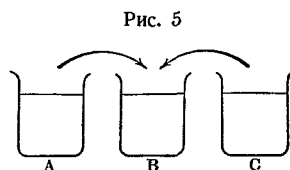
Относительно открытія стекла египтянами мы не располагаемъ никакими достоверными свѣдѣніями. Оно относится къ доисторическому времени. Можно лишь съ нѣкоторой увѣренностью принять, что стекло было найдено при выплавливаніи золота. Золото добывалось сплавленіемъ золотоноснаго песка съ содой, которая находилась въ изобиліи въ египетскихъ озерахъ. При достаточно высокой температурѣ сода образовывала съ пескомъ жидкую массу, которую можно было слить съ оставшагося въ плавильномъ горшкѣ золота. Жидкое соединеніе песка съ содой при охлажденіи затвердѣваетъ въ прозрачный камень, представляющій собой родъ стекла.

5. Инструменты и измѣрительные приборы изъ металла и стекла являются въ настоящее время необходимыми средствами при всякой практической и научной работѣ. И въ настоящее время металлы и стекло являются внѣшними носителями культуры, поэтому выплавленіе металловъ и приготовленіе стекла представляютъ важнѣйшій результатъ, который дало обращеніе древнихъ народовъ съ огнемъ. О процессахъ, происходящихъ при добычѣ металловъ и обработкѣ стекла, они не имѣли никакого представленія. Работами этими занимались, какъ ремесломъ, и много болѣе простыхъ явленій должно было быть разъяснено раньше, чѣмъ оказалось возможнымъ понять сущность этихъ процессовъ.

6. Однако, сначала мы сосредоточимъ наше вниманіе не на тѣхъ проявленіяхъ огня, которая вызываютъ преобразование и разрушеніе тѣлъ; мы займемся теплотой, возникающей въ тѣлахъ, когда они находятся вблизи огня или приходятъ съ нимъ въ соприкосновеніе.

Языкъ владѣетъ цѣлымъ рядомъ словъ для обозначенія различныхъ тепловыхъ состояній. Съ этими словами—горячій, теплый, тепловатый, прохладный, холодный—мы связываемъ извѣстныя представленія, которая получаютъ отъ впечатлѣній, возникающихъ при прикосновеніи къ неодинаково теплымъ тѣламъ.

Наши осязательные нервы не даютъ намъ, однако, достоверныхъ свѣдѣній о тепловомъ состояніи тѣла. Пусть А, В и С (рис. 5) будутъ три стакана съ теплою, тепловатою и холодною водою. Если опустить палецъ одной руки въ воду перваго стакана, а палецъ другой руки въ воду третьяго стакана, то въ первомъ пальцѣ получается ощущеніе тепла, во второмъ холода. Если



Ощущеніе тепла и тепловое состояніе.

вынуть затѣмъ пальцы изъ теплой и холодной воды и опустить ихъ въ тепловатую воду, то первый палецъ испытаетъ ощущеніе холода, а второй тепла. Одна и та же вода въ состояніи, слѣдовательно, одновременно вызывать впечатлѣніе какъ тепла, такъ и холода. Ощущеніе, вызываемое извѣстнымъ раздраженіемъ, въ значительной степени обусловливается тѣмъ раздраженіемъ, которое нашъ нервъ испытывалъ непосредственно передъ этимъ.

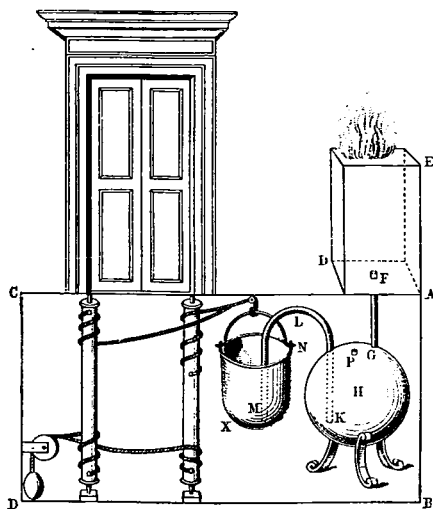
То же относится и къ зрительному нерву. Свѣтъ керосиновой лампы кажется ослѣпительно яркимъ, если придти изъ темной комнаты, и напротивъ блѣднымъ, когда мы приходимъ съ улицы, освѣщенной солнцемъ.

7. Однако, тепловое состояніе тѣла проявляется также на немъ самомъ. Его объемъ измѣняется при нагрѣваніи и охлажденіи. Это особенно замѣтно на воздухѣ, что было уже подмѣчено Герономъ Александрійскимъ (I, § 207).

Въ своей книгѣ о приборахъ, основанныхъ на свойствахъ воды и воздуха, Геронъ описываетъ способъ отпирать и запираеть двери (рис. 6), основанный на расширеніи воздуха при нагрѣваніи и на сжатіи его при охлажденіи.

На рисунокъ *AED* изображаетъ алтарь храма въ Александріи. Онъ образуетъ герметически закрытый ящикъ, верхняя крышка котораго сдѣлана изъ металла. Отъ дна

Рис. 6



Приспособленіе для открыванія и запиранія
двери по Герону.

ящика идетъ трубка *FG* въ резервуаръ *H*, сообщающійся при помощи *U*-образной трубки *KLM* съ ведромъ *X*. Это ведро виситъ на веревкѣ, которая перебрасывается черезъ блокъ и направляется къ двумъ осямъ; на каждой изъ этихъ осей поворачивается одна половина двери храма. Резервуаръ *H* до половины наполненъ водой. Когда на алтарь зажигается огонь, воздухъ въ пустомъ пространствѣ алтаря нагрѣвается и, расширившись вслѣдствіе этого, гонитъ часть воды черезъ трубку *L* въ ведро *X*. Оно становится настолько тяжелымъ, что приобретаетъ способность не только повернуть половинку двери, но и поднять грузъ, который стремится ее закрыть. Если потушить огонь, воздухъ охлаждается и сжимается, вода изъ ведра вливается обратно въ резервуаръ *H* и дверь дѣйствіемъ противовѣса закрывается.

Геронъ построилъ еще нѣсколько другихъ приборовъ, приводимыхъ въ движеніе попеременно нагрѣваніемъ и охлажденіемъ изолированного объема воздуха. Поэтому приходится принять, что Геронъ былъ знакомъ съ явленіемъ расширенія воздуха при нагрѣваніи. Однако, очень сомнительно, чтобы ему было также извѣстно расширеніе жидкихъ и твердыхъ тѣлъ отъ теплоты, такъ какъ послѣднее значительно меньше расширенія воздуха. Изъ его сочиненій не видно такоже, чтобы онъ сознавалъ, что въ этомъ приспособленіи для открыванія дверей онъ владѣетъ приборомъ

указывающимъ тепловое состояніе или, какъ говорятъ въ настоящее время, степень теплоты или температуру воздуха. Лишь спустя 1700 лѣтъ сочиненіе Герона повело къ изобрѣтенію термометра.

8. За этотъ долгій промежутокъ времени ученіе о расширеніи тѣлъ подѣ влияніемъ теплоты не сдѣлало никакихъ успѣховъ, о которыхъ стоило бы упоминать. Въ качествѣ движущей силы для своихъ многочисленныхъ механическихъ приборовъ Геронъ пользовался, кромѣ нагрѣтаго воздуха, таюке паромъ. Онъ построилъ, если угодно, первую паровую машину, о которой ниже будетъ разсказано подробнѣе.

Въ одномъ сочиненіи по механикѣ, написанномъ арабомъ Аль Хацини (1137 г.), находится указаніе, позволяющее, быть можетъ, заключить, что автору было извѣстно расширеніе воды при нагрѣваніи. Сочиненіе это носитъ названіе „Вѣсы мудрости“ и трактуетъ объ очень чувствительныхъ вѣсахъ, при помощи которыхъ авторъ производилъ весьма точныя опредѣленія удѣльныхъ вѣсовъ. Одну главу онъ посвящаетъ водѣ и обращаетъ вниманіе не только на то, что удѣльный вѣсъ воды зависитъ отъ содержащей въ ней соли, но приводитъ, какъ результатъ своихъ взвѣшиваній, и тотъ фактъ, что вода зимой на холодѣ тяжелее, чѣмъ лѣтомъ въ теплѣ. Отсюда нѣкоторые были склонны сдѣлать заключеніе, что арабы пользовались водянымъ уровнемъ, какъ термометромъ. Но ничего достовѣрнаго объ этомъ неизвѣстно, и наблюденіе Аль Хацини во всякомъ случаѣ не имѣло никакого значенія для послѣдующаго времени.

9. Около 1600 г., когда книгу Герона о приборахъ, основанныхъ на свойствахъ воды и воздуха, читали весьма много, его наблюденіе надъ расширеніемъ воздуха отъ теплоты вызвало большой интересъ.

Делла Порта (I, § 102) издалъ сочиненіе, въ которомъ онъ не только показываетъ, что воздухъ отъ теплоты расширяется, но и объясняетъ, какъ можетъ быть измѣрена величина этого расширенія. Его способъ почти совпадаетъ съ тѣмъ, который Корнелій Дреббель (1572—1634) описываетъ въ сочиненіи, вышедшемъ въ 1604 г.

Дреббель пользовался при своихъ опытахъ грушевиднымъ металлическимъ сосудомъ съ изогнутымъ горломъ, узкій конецъ котораго погружался въ воду (рис. 7). Сосудъ нагрѣвался, такъ что часть заключавшагося въ немъ воздуха выходила въ видѣ пузырьковъ черезъ воду наружу. Когда затѣмъ сосудъ охлаждался, оставшійся воздухъ сжимался, и вода въ горлѣ подымалась. Чѣмъ сильнѣе нагрѣвался сосудъ, тѣмъ больше воздуха выходило изъ него и тѣмъ больше воды входило въ сосудъ въ то время, когда онъ охлаждался. Такимъ способомъ Порта могъ измѣрить, насколько воздухъ расширился.

Эти опыты доказываютъ собственно только то, что Порта и Дреббель читали сочиненіе Герона. Дреббелю неправильно приписывали заслугу, будто онъ первый пришелъ къ мысли, что степень нагрѣтости воздуха можетъ быть измѣрена

Рис. 7

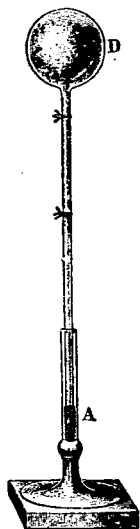


Приборъ Дреббеля.

его расширеніемъ. Честъ эта безспорно принадлежить Галилею (I, § 138), даже если допустить возможность того, что Дреббель приблизительно въ одно время съ Галилеемъ самостоятельно пришелъ къ той же мысли.

10. Когда въ 1592 г. Галилей сдѣлался профессоромъ въ Падуѣ, онъ занялся, какъ это видно изъ его писемъ, изученіемъ сочиненія Герона и весьма вѣроятно, что это изученіе навело его на открытіе термометра. Его ученикъ и біографъ Вивіани рассказываетъ, что въ концѣ 1592 г. Галилей изобрѣлъ термометръ, т. е. стаканъ съ воздухомъ и водой, который долженъ былъ служить для наблюденія неодинаковыхъ мѣняющихся тепловыхъ состояній тѣлъ. Хотя самъ Галилей въ своихъ сочиненіяхъ не упоминаетъ объ этомъ важномъ открытіи, все же мы знаемъ, что во время своего пребыванія въ Падуѣ онъ пользовался термометромъ. Патеръ Кастелли (I, § 232) упоминаетъ въ одномъ письмѣ, что онъ видѣлъ въ 1603 г., какъ Галилей дѣлалъ слѣдующій опытъ. Онъ бралъ стеклянный шаръ величиной въ куриное яйцо, съ припаянной къ нему стеклянной трубкой, длиной въ одинъ локоть и толщиной съ соломинку. Онъ бралъ въ рушъ этотъ стеклянный шаръ, который вслѣдствіе этого нагрѣвался, затѣмъ опускалъ трубку концомъ въ сосудъ, содержащій немного воды (рис. 8). Въ то время какъ шаръ охлаждался, заключенный въ немъ воздухъ сжимался и вода поднималась въ трубкѣ на четверть локтя надъ уровнемъ воды въ сосудѣ. Патеръ Кастелли прибавляетъ, что Галилей воспользовался этимъ явленіемъ для устройства прибора, который показываетъ тепло и холодъ.

Рис. 8



Воздушный термометръ Галилея.

11. Термометръ Галилея имѣетъ тотъ крупный недостатокъ, что онъ указываетъ не только измѣненіе температуры, но и измѣненіе давленія воздуха. При увеличеніи давленія воздуха вода въ трубкѣ подымается, а при уменьшеніи—падаетъ. Несмотря на этотъ недостатокъ приборъ получилъ широкое распространеніе, чему содѣйствовалъ врачъ Санкторіусъ, бывший профессоромъ въ Падуѣ отъ 1611 до 1624 г.; на лекціи его стекались многочисленные слушатели изъ всѣхъ странъ. Санкторіусъ ввелъ термометръ и нѣкоторые другіе физическіе измѣрительные приборы, какъ маятникъ и вѣсы, въ медицину. Термометромъ онъ пользовался для измѣренія температуры больныхъ лихорадкой. Больной бралъ шарикъ термометра въ руки или же въ ротъ, если термометръ былъ для этого приспособленъ (рис. 9).

Санкторіусъ воспользовался термометромъ Галилея, чтобы изслѣдовать, грѣетъ ли лунный свѣтъ или нѣтъ. При помощи большого вогнутаго зеркала онъ отбрасывалъ лучи луны во время полнолунія на шарикъ термометра и нашелъ, что жидкость въ трубкѣ термометра понизилась на 2 дѣленія въ теченіе 10 ударовъ пульса; между тѣмъ какъ солнечные лучи, сконцентрированные такимъ же образомъ на шарикъ, понижали въ теченіе 2 ударовъ пульса водяной столбикъ въ трубкѣ на 110 дѣленій. Этотъ результатъ, однако, не надеженъ, такъ какъ для опредѣленія теплоты, которую даетъ луна, на самомъ дѣлѣ нужны значительно болѣе чувствительные приборы. Все же интересно, что Санкторіусъ умѣлъ пользоваться термометромъ для различныхъ цѣлей.

Галилей былъ такъ поглощенъ своими астрономическими наблюдениями, что не находилъ времени для занятій термометромъ; все же онъ узналъ, что въ высшей степени трудно приготовить два термометра, показанія которыхъ совпадали бы. Это возможно только въ томъ случаѣ, если оба они совершенно одинаковой формы и величины, приготовлены изъ одного и того же сорта стекла и содержать одинъ и тотъ же объемъ воздуха. Кромѣ того, должно быть извѣстно давленіе воздуха, которое необходимо принимать во вниманіе.

12. Воздушный термометръ скоро вошелъ въ Европѣ во всеобщее употребленіе. Отто фонъ-Герике придалъ ему форму, изображенную на рис. 10. Здѣсь *A* представляетъ полный мѣдный шаръ, съ которымъ соединена *U*-образная мѣдная трубка *BC* длиной въ семь локтей. Воздухъ въ шаръ запертъ спиртомъ, налитымъ въ трубку, такъ что приборъ представляетъ собой воздушный термометръ. При нагрѣваніи шара воздухъ расширяется и давитъ на жидкость во внѣшней трубкѣ, которая вслѣдствіе этого подымается. Если же, наоборотъ, шаръ охлаждается, то объемъ воздуха уменьшается и жидкость во внутренней трубкѣ подымается. Чтобы сдѣлать видимыми движенія жидкости, Герике вводилъ во внѣшнюю трубку поплавочкъ, укрѣпленный на концѣ шнурка. Шнурокъ этотъ перекидывался черезъ блокъ, а на другомъ концѣ его находилась фигура ангела, который простертой рукой указывалъ на шкалу съ надписями. Шкала помѣщалась на деревянной коробкѣ, въ которую была заключена трубка. Весь приборъ помѣщался на стѣнѣ, обращенной къ сѣверу, чтобы предохранить его отъ непосредственнаго дѣйствія солнечныхъ лучей. Такимъ образомъ можно было отсчитывать указываемая ангеломъ показанія температуры въ каждый данный моментъ. Конечно шкала должна была соответствовать движеніямъ поплавка. Показанія отдѣльныхъ дѣленій шкалы были немного неопредѣленны. Герике сообщаетъ, какъ норму, что въ туманную холодную ночь ангелъ долженъ находиться приблизительно на серединѣ шкалы. Чтобы получить такую установку, къ шару былъ придѣланъ кранъ *H*, черезъ который можно было впускать и выпускать изъ шара воздухъ до тѣхъ поръ, пока ангелъ не указывалъ правильное дѣленіе. „Впрочемъ, говоритъ Герике, опытъ научить дѣлать это (установку) все лучше и лучше“.

Приборъ обратилъ на себя большое вниманіе. Съ большимъ интересомъ замѣчали, что ангелъ постоянно находится въ движеніи. Герике выкрасилъ шаръ въ голубой цвѣтъ, украсилъ его золотыми звѣздами и снабдилъ надписью „Mobile Perpetuum“.

13. Значительное улучшеніе въ термометрѣ Галилея сдѣлалъ другъ Герике, иезуитъ Каспаръ Шоттъ (1608—1666). Обычная форма термометра того времени указана на рис. 11. Большой шаръ *A* содержитъ воздухъ, запертый при помощи жидкости. Болѣе длинное колѣно изогнутой трубки открыто на верхнемъ концѣ. Когда шаръ нагрѣвается, жидкость въ открытомъ колѣнѣ подымается, при охлажденіи же она падаетъ.

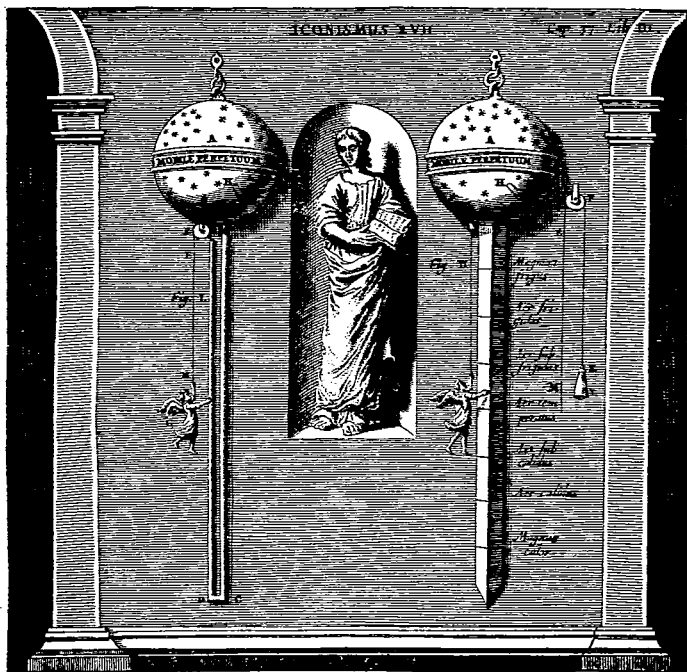
Рис. 9



Термометръ для больныхъ Санк-тоpіуса.

Шоттъ измѣнилъ устройство этого термометра такимъ образомъ, что его показанія не зависѣли отъ давленія внѣшняго воздуха. Онъ достигъ этого тѣмъ, что заперъ и второе колѣно трубки. Въ такой формѣ (рис. 12) приборъ этотъ получилъ въ послѣдствіи названіе дифференціального термометра, такъ какъ онъ хорошо приспособленъ для измѣренія разницы температуръ. Если, напримѣръ, нагрѣть верхній шаръ, подвергнувъ его дѣйствию солнечныхъ лучей, между тѣмъ какъ нижній сохраняетъ

Рис. 10



„Perpetuum Mobile“ Герике.

температуру окружающаго воздуха, то жидкость въ длинной трубкѣ понизится; такимъ образомъ мы получаемъ мѣру нагрѣванія тѣлъ, независящую отъ давленія воздуха.

Но и въ томъ случаѣ, когда оба шара нагрѣваются или охлаждаются одинаково, дифференціальный термометръ Шотта все же даетъ погрѣшности. Воздухъ въ нижнемъ шарѣ вслѣдствіе давленія столба жидкости плотнѣе, чѣмъ воздухъ въ верхнемъ шарѣ и расширяется вслѣдствіе этого съ бѣльшей силой. Разумѣется, передвиженіе жидкости здѣсь не такъ велико, какъ въ открытомъ термометрѣ.

Помимо Шотта и независимо отъ него нѣкоторые другіе изслѣдователи XVII столѣтія пришли къ тому же усовершенствованію воздушнаго термометра Галилея. Въ послѣдствіи при изслѣдованіи лучистой теплоты дифференціальный термометръ сыгралъ важную роль.

14. Неизвѣстно, кто первый поднялъ вопросъ, расширяются ли при нагрѣваніи также жидкости и твердыя тѣла. Галилей, правда, говоритъ, что по словамъ философовъ доказано, что теплота вызываетъ расширеніе, а холодъ сжимаше; но онъ ничего не сообщаетъ о томъ, насколько это распространяется на другія тѣла, кромѣ воздуха. Расширеніе воды наблюдать гораздо труднѣе, чѣмъ расширеніе воздуха, такъ какъ послѣднее въ 8 разъ больше перваго.

Повидимому, французскій врачъ Жанъ Рей (ум. въ 1645 г.) первый воспользовался расширеніемъ воды для измѣренія температуры. Онъ написалъ въ 1631 г. письмо извѣстному патеру Мерсенну (I, § 171), въ которомъ сообщаетъ, что пользуется термометромъ, который отличается отъ обыкновенныхъ термометровъ, находящихся во всеобщемъ употребленіи. Онъ состоитъ изъ маленькаго круглаго стекляннаго сосуда съ длиннымъ, очень узкимъ горлышкомъ. Сосудъ до горлышка наполненъ водой. Если требуется измѣрить температуру лихорадочнаго больного, то ему даютъ этотъ сосудъ въ руки. Теплота расширяетъ воду, которая поднимается въ узкомъ горлышкѣ вверхъ. Чѣмъ теплѣе рука, тѣмъ выше подымается вода.

15. Мы не знаемъ, стало ли это ясное описаніе Рея извѣстнымъ въ болѣе широкихъ кругахъ. Но 10 лѣтъ спустя мы находимъ во Флоренціи подобные и лучшіе термометры, которые по сообщенію Вивіани были изобрѣтены великимъ герцогомъ Тосканскимъ Фердинандомъ II (1610—1670).

Государь этотъ, подобно своему брату Леопольду Медичи, ревностно занимался естественными науками и собралъ вокругъ себя кружокъ замѣчательныхъ ученыхъ. Фердинандъ былъ ученикомъ Галилея и, быть можетъ, узналъ отъ самого Галилея о воздушномъ термометрѣ, который онъ затѣмъ въ 1641 г. передѣлалъ въ термометръ, наполненный жидкостью. Его термометръ состоялъ изъ стекляннаго сосуда величиной въ ружейную пулю, къ которой припаяна была узкая трубка (рис. 13). Шарикъ наполнялся окрашеннымъ или неокрашеннымъ спиртомъ, а трубка герметически закрывалась и снабжалась шкалой. Приборъ этотъ имѣетъ большое сходство съ термометромъ Рея, но обладаетъ нѣкоторыми существенными преимуществами передъ нимъ. Во-первыхъ, онъ закрытъ, вслѣдствіе чего объемъ заключающейся въ немъ жидкости всегда одинъ и тотъ же. Затѣмъ, спиртъ имѣетъ то преимущество передъ водой, что онъ сильнѣе расширяется и переноситъ очень низкую температуру, не замерзая. Съ другой стороны, этотъ термометръ имѣлъ тотъ же недостатокъ, какъ и воздушный термометръ. Его шкала была произвольна и показанія различныхъ приборовъ были поэтому несравнимы между собой, если только послѣдніе не были устроены одинаково до мельчайшихъ подробностей.

Великій герцогъ Фердинандъ пользовался своимъ термомет-

Рис. 11



Открытый воздушный термометръ.

Рис. 12



Закрытый воздушный термометръ Шотта.

ромъ при опытахъ искусственнаго высиживанія куриныхъ яицъ, которое онъ хотѣлъ развить въ большихъ размѣрахъ, что ему однако не удалось. Изъ 144 яицъ онъ получилъ лишь трехъ жизнеспособныхъ цыплятъ. Съ большимъ успѣхомъ онъ примѣнялъ свой термометръ къ метеорологическимъ наблюдениямъ, а также къ наблюдениямъ температуры глубокихъ колодезевъ и подваловъ въ различныя времена года.

Термометрическія наблюденія надъ дѣйствіемъ теплоты получили большое развѣтіе благодаря дѣятельности знаменитой Accademia del Cimento.

16. Accademia del Cimento (Академія опыта) учреждена была 19 іюня 1657 г. во Флоренціи учениками Галилея и Торричелли подъ предсѣдательствомъ князя

Рис. 13



Леопольда. Еще въ 1648 г. великій герцогъ Фердинандъ учредилъ общество для занятій физическими опытами. Первые члены Академіи принадлежали къ этому обществу и были извѣстными и ревностными изслѣдователями. Девизомъ общества было „Provando e Riprovando“ (опытъ и снова опытъ); оно должно было служить живымъ памятникомъ Галилею, который ввелъ опытъ въ изслѣдованіе природы и этимъ оказалъ естествознанію такую услугу, какъ никто другой.

Академія была предназначена для самостоятельныхъ изслѣдованій, а не для того, чтобы тратить время на бесполезныя и замысловатыя толкованія Аристотеля и другихъ древнихъ авторовъ. Надлежало вопропать самую природу, которая всегда даетъ правильный отвѣтъ.

Число членовъ было всего девять, но всѣ они были выдающимися учеными. Они работали сообща и тѣ ихъ изслѣдованія, которыя публиковались, не послали имени отдѣльныхъ членовъ, а являлись общимъ трудомъ Академіи.

Дневникъ Академіи, изъ котораго можно видѣть, какое участіе отдѣльные члены принимали въ ея работахъ, еще до настоящаго времени хранится во Флоренціи. Тѣмъ не менѣе и въ настоящее время принято называть не имена отдѣльныхъ членовъ, а всю Академію,

Термометръ съ жидкостью великаго герцога Фердинанда.

когда рѣчь идетъ объ ея работахъ.

Однако, этой замѣчательной Академіи суждено было просуществовать лишь очень недолго. Князя Леопольда, который былъ вѣншией опорой Академіи, въ 1667 г. папа назначилъ кардиналомъ, но подъ условіемъ ропуска Академіи. Но это едвали было единственной причиной ея упраздненія. Внутренніе раздоры между членами также содѣйствовали этому. Король французскій Людовикъ XIV особенно отличилъ Вивіанн и богато одарилъ его. Это вызвало зависть остальныхъ членовъ и повело къ жестокой распрѣ между Борелли и Вивіани, въ которой приняли такую участіе великій герцогъ и князь Леопольдъ. Чувство единства и согласія исчезло, а съ нимъ и жизненная сила Академіи, такъ что условіе, при которомъ папа предоставилъ князю Леопольду кардинальское кресло, послужило лишь вѣншиимъ поводомъ къ тому, что Академія дѣйствительно была распущена. Отчетъ о работахъ Академіи появился въ 1667 г. незадолго до ея закрытія подъ заглавіемъ „Saggi di naturali sperienze fatte nell' Asca-

demia del Cimento¹⁾). Второе издание Saggi было выпущено въ 1841 г. на средства великаго герцога тосканскаго Леопольда И. Издатель Антинори мѣтко замѣчаетъ, что Академія, какъ несчастная мать, умерла послѣ рожденія перваго ребенка.

17. Однако, за время своего 10-лѣтняго существованія Академія успѣла дать цѣлый рядъ работъ, получившихъ основное значеніе въ дѣлѣ экспериментальнаго изученія природы и представляющихъ по своему выполненію образцы научнаго изслѣдованія. И хотя члены Академіи не сумѣли устранить изъ своей среды зависть и раздоры, они все же занимаютъ въ исторіи науки почетное мѣсто.

Старшимъ изъ нихъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ наименѣ замѣчательнымъ былъ Алессандро Марсили (род. въ 1601 г.). Онъ, по всей вѣроятности, немногимъ содѣйствовалъ общей работѣ. Онъ умеръ въ 1670 г.

Немногимъ моложе его былъ высокоодаренный, но страстный Джованни Альфонсо Борелли (род. въ 1608 г.). Онъ написалъ большое число трактатовъ по математикѣ, астрономіи, физикѣ и физиологіи. Борелли ясно высказывалъ мысль, что движеніе небесныхъ тѣлъ обуславливается ихъ взаимнымъ притяженіемъ. Онъ примѣнилъ законъ рычага къ объясненію передвиженія людей и животныхъ. И въ другихъ областяхъ Борелли далъ цѣнныя работы. Онъ установилъ, что кометы движутся вокругъ солнца по параболическимъ орбитамъ. Онъ подробно изучалъ также явленія капиллярности. Борелли отказался, однако, опубликовать результаты своихъ изслѣдованій въ работахъ Академіи, такъ какъ хотѣлъ издать ихъ подъ своимъ собственнымъ именемъ. Они появились лишь въ 1670 г., когда Академія уже больше не существовала. Въ 1668 г. Борелли уѣхалъ въ Мессину, гдѣ онъ раньше былъ профессоромъ математики. Здѣсь въ 1674 г. онъ принялъ участіе въ возстаніи и долженъ былъ поэтому бѣжать. Онъ отправился въ Римъ и жилъ здѣсь въ большой нуждѣ. Шведская королева Христина, жившая въ Римѣ, приняла въ немъ участіе и напечатала на свои средства его сочиненіе о движеніи животныхъ. Борелли умеръ въ 1679 г.

Карло Ренальдини (1615—1698 г.) былъ до того, какъ онъ сдѣлался членомъ Академіи, инженеромъ на службѣ у папы. Онъ былъ превосходнымъ изслѣдователемъ и особенно много сдѣлалъ въ области наблюденія тепловыхъ явленій. Послѣ упраздненія Академіи онъ былъ учителемъ математики въ Падуѣ.

Кандидо дель Буоно и его братъ Паоло Буоно происходили изъ знаменитой древней флорентинской семьи. Оба они, такъ же, какъ и третій братъ Антоніо Марія, не состоявшій членомъ Академіи, были учениками Галилея. Кандидо (1618—1676) изобрѣлъ цѣлый рядъ измѣрительныхъ приборовъ, между прочимъ водяные часы, которые шли очень точно, и приборъ для опредѣленія давленія сжатаго воздуха. Паоло (1625—1662) былъ собственно лишь членомъ корреспондентомъ. Уже въ 1665 г. онъ отправился въ Австрію, гдѣ сдѣлался королевскимъ математикомъ и директоромъ монетнаго двора въ Вѣнѣ. Отсюда онъ регулярно посылалъ письма князю Леопольду, въ которыхъ сообщалъ ему новости изъ области физики.

Винченціо Вивіани, сынъ флорентинскаго патриція, былъ, быть можетъ, наиболѣе выдающимся изъ девяти академикомъ. Онъ былъ даровитымъ математикомъ и еще мальчикомъ, до того какъ сдѣлался ученикомъ Галилея, изучалъ Евклида.

¹⁾ Разказы о естественныхъ опытахъ, произведенныхъ Академіей del Cimento.

Когда Галилей умеръ въ 1642 г., Вивіани было 20 лѣтъ. Онъ принималъ участіе въ изслѣдованіяхъ Торричелли, приведшихъ къ изобрѣтенію барометра, и сдѣлался преемникомъ Торричелли въ качествѣ математика великаго герцога. Совмѣстно съ Д. Кассини (I, § 282) онъ руководилъ крупными инженерными работами, а именно водяными сооружениями. Потомству онъ оказалъ большую услугу своей биографіей Галилея. Онъ былъ избранъ членомъ Королевскаго Общества (въ Лондонѣ) и французской Академіи. Пенсію, назначенную ему Людовикомъ XIV, онъ употребилъ большей частью на то, чтобы превратить домъ Галилея въ памятникъ великому учителю; на домѣ онъ помѣстилъ его бюстъ, а стѣны украсилъ барельефами, въ которыхъ прославлялись открытія Галилея. Вивіани умеръ въ 1703 г. въ возрастѣ 81 г. и былъ погребенъ рядомъ съ Галилеемъ въ церкви Santa Croce.

Антоніо Олива также былъ однимъ изъ выдающихся членовъ Академіи благодаря своему тонкому уму. Послѣ ея упраздненія онъ отправился въ Римъ. Здѣсь у него вышелъ конфликтъ съ инквизиціей и, чтобы избѣжать пытки, онъ покончилъ самоубійствомъ, выбросившись изъ окна тюрьмы.

Франческо Реди (1626—1694) былъ философомъ и знаменитымъ врачомъ. Онъ умеръ лейбъ-медикомъ Козьмы III, сына Фердинанда II.

Младшій изъ девяти академиковъ, Лоренцо Магалотти родился въ 1637 г. въ Римѣ; 19 лѣтъ переѣхалъ въ Пизу, гдѣ занимался подъ руководствомъ Вивіани. Въ 1660 г. онъ сдѣлался секретаремъ Академіи, постъ, къ которому онъ былъ особенно пригоденъ, такъ какъ не только мастерски владѣлъ своимъ роднымъ языкомъ, но гово-

Рис. 14



Лоренцо Магалотти.

рилъ по французски, англійски и испански и понималъ также арабскій и турецкій языки. Ему было также поручено составленіе записокъ Академіи, знаменитыхъ Saggi, въ которыхъ онъ дѣлалъ сообщенія о работахъ Академіи.

18. Кромѣ дѣйствительныхъ членовъ у Академіи было еще нѣсколько членовъ корреспондентовъ какъ въ Италіи, такъ и за границей. Изъ нихъ должны быть отмѣчены—Д. Кассини и Нильсъ Стенсенъ или, какъ его звали по-латыни, Nikolaus Steno. Стенсенъ родился въ 1633 г. въ Копенгагенѣ. Съ 1656 г. онъ изучалъ въ университетѣ своего родного города медицину. Однимъ изъ его учителей былъ анатомъ Тома Бартолинъ, старшій братъ Эразма Бартолина (I, § 395). Въ 1660 г. онъ отправился въ Голландію, которая въ то время находилась въ оживленныхъ сно-

шеніяхъ съ сѣверными государствами. Въ томъ же году онъ при своихъ вскрытіяхъ сдѣлалъ нѣсколько анатомическихъ и физиологическихъ открытій. Въ 1661 г. появилось его первое сочиненіе о ротовыхъ железахъ, въ которомъ онъ проявилъ себя

превосходнымъ изслѣдователемъ. Въ слѣдующемъ году онъ началъ свои, составившія эпоху, изслѣдовашія сердца, которыя привели его къ тому результату, что сердце есть лишь мускулъ, въ существенныхъ чертахъ дѣйствующій подобно остальнымъ мускуламъ. Когда онъ въ 1664 г. находился по семейнымъ дѣламъ въ Копенгагенѣ, предполагалось поручить ему кафедру въ мѣстномъ университетѣ, но клика профессоровъ изъ сторонниковъ Бартолина помѣшала этому. Стенсенъ снова отправился за границу, именно—черезъ Амстердамъ въ Парижъ, пробылъ годъ въ Парижѣ, откуда

Рис. 15

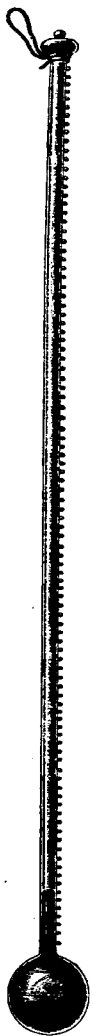


Стенсенъ.

направился въ Флоренцію, гдѣ Борелли, къ которому онъ имѣлъ рекомендаціи, ввелъ его въ кругъ ученыхъ Accademia del Cimento. Стенсенъ завязалъ оживленныя сношенія съ Вивіани, Реди и Магалотти; дружба съ послѣднимъ имѣла для него большое значеніе. Во многихъ отношеніяхъ они представляли противоположность другъ другу. Стенсенъ былъ сынъ ремесленника, Магалотти происходилъ изъ старой аристо-

кратической фамилии; Стенсенъ былъ серьезнымъ человѣкомъ, исполненнымъ сознанія долга, — талантливый Магалотти былъ менѣе щепетилень въ своихъ поступкахъ и обладалъ страстнымъ честолюбіемъ. Но несмотря на такое различіе характеровъ, это, безъ сомнѣнія, были близкія натуры; они тѣсно привязались другъ къ другу.

Рис. 16

Флорентійскій
стоградусный
термометръ.

Стенсенъ получилъ черезъ Вивіани доступъ ко двору и былъ назначенъ врачомъ великаго герцога несмотря на то, что былъ еретикомъ. Онъ жилъ въ одномъ домѣ съ Реди и часто бывалъ у Борелли. Въ 1666 году онъ провелъ нѣкоторое время въ Римѣ и въ томъ же году издалъ свое сочиненіе о мускулахъ, посвященное великому герцогу Фердинанду II.

Въ слѣдующемъ году Стенсену пришлось пережить мучительныя сомнѣнія и тяжелую душевную борьбу. Его религіозныя воззрѣнія колебались и онъ почувствовалъ влеченіе къ католицизму. 2 ноября 1667 года онъ рѣшился перейти въ католичество. На слѣдующій день онъ получилъ отъ датскаго короля письмо, въ которомъ ему предлагали переселиться въ Копенгагенъ. Это почетное приглашеніе пришло, къ сожалѣнію, слишкомъ поздно, такъ какъ при сложившихся обстоятельствахъ Стенсенъ не могъ немедленно оставить своей должности въ Флоренціи. Послѣдующіе годы были посвящены обработкѣ сочиненія, положившаго начало геологіи. Это сочиненіе носило названіе: „De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus“ и появилось въ 1669 году въ Флоренціи. Затѣмъ въ теченіе года Стенсенъ путешествовалъ по Европѣ и по возвращеніи въ Флоренцію, въ 1672 году снова получилъ приглашеніе въ Копенгагенъ. На этотъ разъ онъ принялъ приглашеніе, но его пребываніе въ Копенгагенѣ продолжалось лишь полтора года. Въ концѣ 1674 г. Стенсенъ снова вернулся въ Флоренцію, такъ какъ религіозныя преслѣдованія сдѣлали для него тягостнымъ пребываніе въ Копенгагенѣ. Съ этихъ поръ онъ пересталъ заниматься естественными науками. Онъ сдѣлался священникомъ, жилъ въ качествѣ папскаго викарія въ Ганноверѣ и Гамбургѣ и умеръ въ 1686 году въ Шверинѣ въ Мекленбургѣ.

19. Какъ секретарь Accademia del Cimento, Магалотти находился въ перепискѣ со всѣмъ ученымъ міромъ и Академія была какъ бы фокусомъ, въ которомъ сходились всѣ лучи современнаго ей естествознанія, оказывая здѣсь сильное дѣйствіе. Къ содержанію „Saggi“, которое распадается на 13 главъ, мы въ послѣдующемъ будемъ возвращаться нѣсколько разъ.

Приборы, которыми Академія по преимуществу пользовалась при своихъ опытахъ, были термометръ, гигрометръ и маятникъ.

20. Термометръ Accademia del Cimento былъ того же рода, что и спиртовой термометръ великаго герцога Фердинанда. Превосходный стеклодувъ Моріанн готовилъ трубки такъ точно, что показанія различныхъ приборовъ почти совпадали. По всей вѣроятности онъ вывѣрялъ всѣ свои

термометры по одному и тому же нормальному термометру. Дѣленія на трубки онъ наносилъ при помощи припаянныхъ стеклянныхъ бусинокъ (рис. 16), изъ которыхъ каждая десятая была сдѣлана бѣлой, тогда какъ остальные были окрашены въ черный цвѣтъ. Обыкновенно трубка дѣлилась на 50 равныхъ частей (градусовъ), но болѣе длинная дѣлилась иногда и на 100 частей. Въ Академіи имѣлись даже термометры, раздѣленные на 300 и 400 частей. Трубки этихъ приборовъ были изогнуты въ форму спирали (рис. 17).

Чѣмъ уже и длиннѣе были трубки термометровъ, тѣмъ труднѣе было приготовить нѣсколько термометровъ, дающихъ согласныя показанія; изготовленіе же приборовъ съ 50 дѣленіями представляло меньше затрудненій.

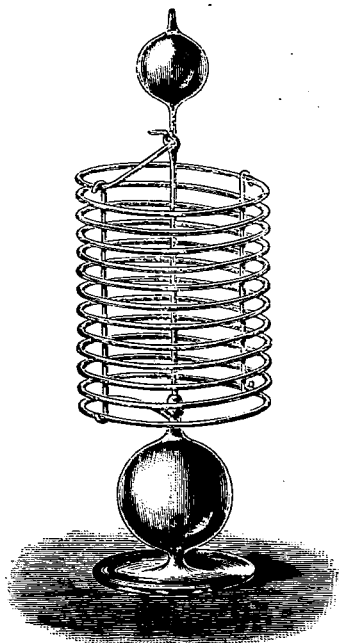
Счастливымъ случаемъ далъ возможность провѣрить эти старые приборы. Въ 1829 году Антинори напелъ во Флоренціи ящикъ съ большимъ количествомъ 50-градусныхъ термометровъ Академіи. Итальянскій математикъ Гульельмо Либри (1803—1869) наблюдалъ показанія этихъ термометровъ, принимая во вниманіе замѣчаніе, содержащееся въ „Saggi“, что одинъ изъ этихъ термометровъ показывалъ въ ледяной водѣ $13\frac{1}{2}^{\circ}$, а въ самую сильную лѣтнюю жару 40° .

Сообразно этому Либри наполнилъ одну изъ старыхъ трубокъ виннымъ спиртомъ, такъ что она показывала въ водѣ со льдомъ $13\frac{1}{2}^{\circ}$, и нашелъ, что 50 флорентійскихъ градусовъ составляютъ 44° Реомюра. Нулевая точка стараго термометра соответствовала, слѣдовательно, -12° Р. Такимъ образомъ, мы имѣемъ возможность перевести флорентійскіе градусы въ градусы Реомюра. Этимъ путемъ было найдено, что наблюденія, сдѣланныя великимъ герцогомъ Фердинандомъ за промежутокъ времени отъ 1654 до 1670 г. надъ средней температурой Флоренціи, совпадаютъ съ современными наблюденіями.

21. Наблюдая термометръ, Accademia del Cimento, какъ было сказано, установила тотъ фактъ, что въ таящемъ лѣдѣ онъ всегда показываетъ одну и ту же температуру, и едва ли подлежить сомнѣнію, что академикамъ было ясно значеніе этого факта: лѣдъ всегда таетъ при одной и той же температурѣ; однако, они повидимому не воспользовались температурой таянія льда, какъ постоянной точкой для термометрической шкалы.

Въ 1661 г. Royal Society въ Лондонѣ получило одинъ флорентійскій термометръ и Робертъ Бойль тотчасъ же поручилъ своимъ ассистентамъ приготовить подобный приборъ. Уже съ 1664 г. онъ считалъ градусы, начиная съ точки таянія льда, т. е. съ температуры смѣси льда съ водою.

Рис. 17



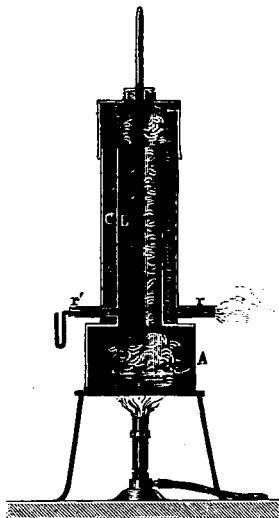
Флорентійскій 300 и 400-градусный термометръ.

Гюйгенсъ, который состоялъ въ перепискѣ съ Royal Society, также работаль надъ термометрами и въ 1665 г. сдѣлаль важное наблюденіе, что температура кипящей воды остается постоянной подобно температурѣ тающаго льда. Это дало вторую постоянную точку шкалы. Для этого наблюденія Гюйгенсъ долженъ былъ употребить въ качествѣ термометрической жидкости ртуть, такъ какъ спиртъ кипитъ при еще болѣе низкой температурѣ, чѣмъ вода. Возможно, что онъ узналъ это отъ флорентійскихъ академикомъ, которые при нѣкоторыхъ опытахъ въ качествѣ жидкости для термометровъ вмѣсто спирта употребляли ртуть. Теперь показанія любыхъ двухъ термометровъ стали сравнимыми. Нужно отмѣтить на обоихъ термометрахъ высоту жидкости, когда приборъ погруженъ въ таюпій ледъ и въ кипящую воду, и раздѣлить разстояніе между этими двумя точками на обоихъ термометрахъ на одинаковое число частей.

Но самъ Гюйгенсъ не сдѣлаль этого важнаго примѣненія своихъ наблюденій. Онъ предложилъ Royal Society готовить термометры такъ, чтобы ёмкости шарика и трубки находились въ опредѣленномъ отношеніи и чтобы градусы считались либо отъ точки таянія льда, либо отъ точки кипѣнія воды: „тогда нѣтъ необходимости“, пишетъ онъ, „посылать термометръ изъ одного мѣста въ другое, чтобы сравнивать наблюденныя степени теплоты“.

22. Относительно выбора постоянныхъ точекъ были сдѣланы различныя предложенія. Французъ Далансе въ 1688 г. предложилъ принять за нихъ точку таянія льда и точку плавленія коровьяго масла, разстояніе между которыми онъ дѣлилъ на 20 градусовъ.— Въ томъ же году Галилей установилъ, насколько расширяются ртуть и вода въ открытыхъ термометрическихъ трубкахъ при погруженіи въ кипящую воду. Онъ нашель, что ртуть всегда подымается на одну и ту же высоту, т. е. что вода всегда закипаетъ при одной и той же температурѣ. То же самое онъ наблюдалъ для спирта. Поэтому за постоянныя точки онъ предложилъ принять точку кипѣнія спирта и точку таянія льда.

Шесть лѣтъ спустя Ренальдини предложилъ употреблять въ качествѣ постоянныхъ точекъ для термометрическихъ дѣленій точку таянія льда и точку кипѣнія воды, что съ тѣхъ поръ и было принято повсюду. Впоследствии было обнаружено, что точка кипѣнія воды находится въ нѣкоторой зависимости отъ устройства сосуда, между тѣмъ какъ образующіся водяной паръ при нормальномъ давленіи воздуха всегда имѣеть одинаковую температуру. Поэтому, чтобы отмѣтить на термометрѣ точку кипѣнія воды, употребляютъ приборъ, устройство



Приборъ для опредѣленія точки кипѣнія.

котораго ясно изъ рис. 18. Въ немъ термометръ окруженъ паромъ и совершенно не касается воды. О вліяніи давленія воздуха на точку кипѣнія будетъ рѣчь ниже.

23. Но несмотря на эти и нѣкоторыя другія предложенія, въ началѣ XVIII вѣка

трудно было изготовлять термометры, показанія которыхъ были бы согласны между собой. Еще въ 1714 г. профессоръ Хр. Вольфъ, канцлеръ университета въ Галле, выразилъ свое удивленіе относительно двухъ согласовавшихся другъ съ другомъ термометровъ, полученныхъ имъ отъ Фаренгейта.

Даніель Габріель Фаренгейтъ родился въ 1686 г. въ Данцигѣ. Его отецъ отправилъ его въ 1701 г. въ Амстердамъ изучать коммерческое дѣло. Любимымъ занятіемъ Фаренгейта была, однако, физика. Для завершения своего образованія Фаренгейтъ путешествовалъ нѣсколько лѣтъ по Англии, Франціи и Германіи. Благодаря своему искусству изготовлять чувствительные и согласующіеся между собой термометры, онъ былъ вездѣ хорошо принятъ физиками.

Вначалѣ Фаренгейтъ изготовлялъ термометры, наполненные спиртомъ по флорентійскому образцу; но впослѣдствіи (1720) онъ перешелъ къ ртутному термометру, который много обязанъ ему своимъ распространеніемъ. Для шкалы онъ пользовался тремя постоянными точками, а именно температурой охлаждающей смѣси изъ льда, воды, напатыря и поваренной соли, которая была самой низкой изъ извѣстныхъ ему температуръ и которую онъ поэтому обозначилъ нулемъ, температурой тающаго льда, которую онъ обозначилъ числомъ 32, и температурой человѣческой крови, которую онъ опредѣлялъ во рту или подъ мышками и обозначалъ числомъ 96. Температура тающаго льда постоянна, двѣ другія температуры мѣняются и Фаренгейтъ употреблялъ одну изъ нихъ для повѣрки другой.

Фаренгейтъ такимъ образомъ не воспользовался для шкалы точкой кипѣнія воды, которой на его шкалѣ соответствуетъ 212°. Именно, онъ уже замѣтилъ, что точка кипѣнія воды измѣнчива и что она опускается и подымается вмѣстѣ съ давленіемъ воздуха. Это побудило его устроить термобарометръ, посредствомъ котораго онъ могъ опредѣлять давленіе воздуха. Этотъ приборъ (рис. 19) въ нижней части, до 96 градуса, былъ раздѣленъ обыкновеннымъ образомъ, въ верхней же части былъ снабженъ дѣленіями, которыя показывали давленіе воздуха въ дюймахъ. При опусканіи въ кипящую воду приборъ показывалъ давленіе воздуха въ данный моментъ.

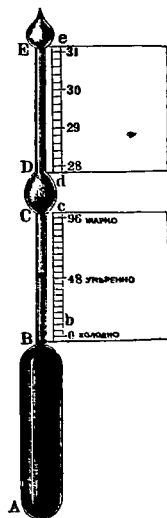
Фаренгейтъ сдѣлалъ при своихъ изслѣдовашихъ много замѣчательныхъ наблюденій, о которыхъ мы упомянемъ впослѣдствіи. Онъ провелъ большую часть своей жизни въ Голландіи въ качествѣ стеклодува и умеръ въ 1736 г.

Термометрическая шкала Фаренгейта, на которой точка таянія льда обозначена 32°, а точка кипѣнія воды 212°, нашла широкое распространеніе и еще въ настоящее время находится во всеобщемъ употребленіи въ Англии и въ Сѣверной Америкѣ.

24. Въ средней Европѣ и въ Скандинавіи шкала Фаренгейта была вытѣснена шкалой Реомюра.

Рене де Реомюръ (1683—1757), членъ французской Академіи, обозначалъ точку таянія льда 0°, а точку кипѣнія воды 80°. Онъ изготовлялъ первоначально термометры, наполненные спиртомъ, и его 80° были собственно точкой кипѣнія спирта.

Рис. 19



Термобарометръ Фаренгейта.

Термометръ, наполненный спиртомъ, не можетъ показать температуры кипѣнія воды. Термометры Реомюра далеко не были такими точными, какъ термометры Фаренгейта. Только Делюку въ 1772 г. удалось изготовить хорошіе ртутные термометры съ дѣленіями Реомюра согласно предложенію Ренальдини. Для раздѣленія термометровъ онъ пользовался точкой таянія льда и точкой кипѣнія воды. Въ термометрахъ, употребляемыхъ въ настоящее время, дѣленія продолжаютъ за точку таянія льда внизъ. Градусы ниже нулевой точки называются отрицательными или градусами мороза и отмѣчаются знакомъ минусъ (—) въ отличіе отъ положительныхъ градусовъ (+) или градусовъ тепла. Такъ, -14° означаетъ температуру въ 14° ниже точки таянія льда.

25. Наиболѣе цѣлесообразной термометрической шкалой для научныхъ цѣлей является 100-градусная шкала Цельзія. Андерсъ Цельзій родился въ 1701 году въ Упсалѣ и въ возрастѣ 29 лѣтъ сталъ профессоромъ астрономіи въ универси-

Рис. 20



Андерсъ Цельзій.

тетѣ своего родного города. Въ Швеціи въ то время не существовало обсерваторій, а Упсальскій университетъ обладалъ лишь немногими и притомъ устарѣлыми астрономическими измѣрительными приборами. Цельзій, энергичный по природѣ и горячо желавшій содѣйствовать тому, чтобы въ развитіи наукъ его отечество стояло наравнѣ съ остальными странами, устроилъ себѣ еще раньше, чѣмъ сталъ профессоромъ, частную обсерваторію, на которой производилъ правильныя астрономическія и метеорологическія наблюденія. Это и побудило шведское правительство основать въ 1740 г. первую официальную обсерваторію. Послѣ назначенія

профессоромъ Цельзіи отправился на нѣсколько лѣтъ въ путешествіе заграницу и въ 1734 г. пріѣхалъ въ Парижъ какъ разъ въ то время, когда Бугеръ собирался ѣхать въ Перу, чтобы производить тамъ градусныя измѣренія (I, § 278). Цельзіи предложилъ произвести подобное же измѣреніе и на сѣверѣ. Такимъ образомъ ему принадлежитъ инициатива градуснаго измѣренія, произведеннаго въ Финмаркенѣ Мопертюи (I, § 279), въ которомъ онъ и самъ принялъ участіе по порученію шведскаго правительства.—Другое дѣло, которымъ онъ ревностно занимался, было введеніе Григоріанскаго календаря въ Швецію, гдѣ въ то время лѣтосчисленіе велось еще по Юліанскому календарю, между тѣмъ какъ въ Дании Григоріанскій календаръ былъ введенъ уже съ 1700 года. Цельзіи не дожидъ до введенія новаго календаря, которое послѣдовало лишь въ 1753 году, спустя 9 лѣтъ послѣ его смерти на 43 году жизни. Въ теченіе своей короткой жизни онъ посвятилъ всѣ свои силы служенію родинѣ и наукѣ. Изъ его многочисленныхъ работъ (онъ, между прочимъ, показалъ, что сила тяжести въ Лондонѣ и Упсалѣ не одинакова, что уровень моря у шведскаго берега постоянно понижается) мы здѣсь отмѣтимъ его „Наблюденія надъ двумя постоянными градусами термометра“ (1742). Въ этомъ сочиненіи онъ обозначаетъ точку замерзанія 100° , а точку кипѣнія 0° . Его приборъ показывалъ, такимъ образомъ, при возрастаніи температуры меньшее число градусовъ. Онъ хотѣлъ этимъ путемъ избѣжать отрицательныхъ чиселъ для низкихъ температуръ, но уже въ 1750 году шведская Академія по предложенію Мартина Стрѣмерса (1707—1770) замѣнила шкалу Цельзія тою, которая употребляется въ настоящее время, а именно, обозначила точку замерзанія 0° , а точку кипѣнія 100° . Разумѣется, шкала можетъ быть продолжена ниже 0 (отрицательные градусы или градусы мороза) и выше 100.

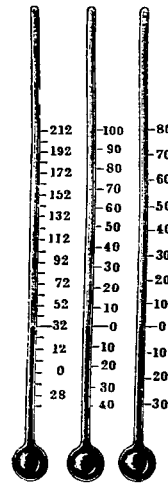


Рис. 21
Три термометрическія шкалы.

При сравненіи трехъ термометрическихъ шкалъ: Фаренгейта (Ф), Реомюра (Р) и Цельзія (С) нужно имѣть въ виду, что точка таянія льда обозначена у Фаренгейта 32° , а у Цельзія и Реомюра 0° . Разстояніе между точкой таянія льда и точкой кипѣнія воды по Фаренгейту равно 180° , по Реомюру 80° и по Цельзію 100° . Слѣдовательно, $9^{\circ}\text{Ф} = 4^{\circ}\text{Р} = 5^{\circ}\text{С}$. Переводъ градусовъ одного термометра въ градусы другого производится слѣдующимъ образомъ:

Примѣръ 1. 68°Ф на $68 - 32 = 36^{\circ}\text{Ф}$ выше точки таянія льда, слѣдовательно, они представляютъ $\frac{36}{9} \cdot 4 = 16^{\circ}\text{Р}$ или $\frac{36}{9} \cdot 5 = 20^{\circ}\text{С}$.

Примѣръ 2. — 22°Ф представляютъ собой $22 - 32 = 54^{\circ}\text{Ф}$ ниже нуля или, слѣдовательно, $-\frac{54}{9} \cdot 4 = -24^{\circ}\text{Р}$, или $-\frac{54}{9} \cdot 5 = -30^{\circ}\text{С}$.

Примѣръ 3. — 8°Р равны -10°С или $\frac{8}{4} \cdot 9 = 18^{\circ}\text{Ф}$ ниже точки таянія льда, слѣдовательно, $32 - 18 = 14^{\circ}\text{Ф}$.

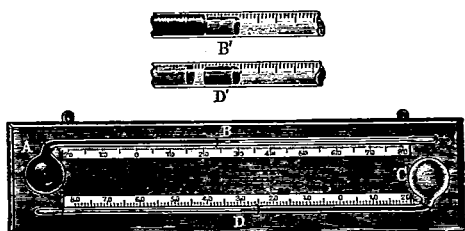
26. Самымъ точнымъ термометромъ является воздушный, такъ какъ воздухъ

расширяется сильнѣе и равномернѣе, чѣмъ твердыя тѣла и жидкости. Однако, воздушный термометръ неудобенъ и поэтому не примѣняется для обычныхъ наблюдений температуры. Термометры съ жидкостями могутъ быть, конечно, сравнены съ воздушнымъ термометромъ и градуированы соотвѣтственно съ нимъ. Жидкостью для обыкновенныхъ термометровъ чаще всего служитъ ртуть. При очень низкихъ температурахъ примѣняются спиртовые термометры, такъ какъ спиртъ замерзаетъ лишь при -130° . Для устройства термометровъ, служащихъ для измѣренія очень низкихъ температуръ, годятся также другія жидкости, напримѣръ, толуолъ и такъ называемый петролейный эфиръ. Для температуръ, лежащихъ ниже точки замерзанія этихъ жидкостей, могутъ употребляться только газовые термометры или термометры, основанные на измѣреніи сопротивленій. Въ послѣднихъ о температурѣ судятъ по измѣненіямъ электрическаго сопротивленія (платины).

Чувствительный термометръ долженъ замѣтно подыматься и опускаться даже при очень незначительномъ нагрѣваніи или охлажденіи. Это достигается тѣмъ, что его трубка дѣлается возможно болѣе узкой. А чтобы столбикъ ртути былъ ясно виденъ, просвѣту трубки придаютъ такое поперечное сѣченіе, чтобы ртуть образовала не шиллиндрическую колонну, а тонкую плоскую ленту.

Для наблюденія самой высокой и самой низкой температуры въ теченіе сутокъ употребляютъ максимумъ и минимумъ-термометры; ихъ существуетъ нѣсколько видовъ.

Рис. 22



Максимумъ и минимумъ-термометръ.

На рис. 22 изображенъ приборъ, очень распространенный въ прежнее время; онъ былъ предложенъ въ 1794 г. шотландскимъ врачомъ и ботаникомъ Даніелемъ Рётгерфордомъ (1749—1819).

Максимумъ-термометръ представляетъ собой обыкновенный ртутный термометръ, въ трубкѣ котораго впереди ртути лежитъ желѣзный столбикъ. Расширяясь, ртуть двигаетъ передъ собой этотъ столбикъ; онъ остается въ томъ

мѣстѣ, до котораго дошелъ, когда ртуть снова начинаетъ сжиматься. Такимъ образомъ, своимъ концомъ, обращеннымъ къ ртути, столбикъ указываетъ наивысшую температуру, которую термометръ отмѣтилъ въ теченіе сутокъ.

Минимумъ-термометръ представляетъ собой спиртовой термометръ. Онъ расположенъ, какъ видно изъ рисунка, рядомъ съ максимальнымъ термометромъ, параллельно ему и въ немъ находится маленькій столбикъ изъ цвѣтнаго стекла. Этотъ столбикъ лежитъ въ спирту и остается въ покоѣ, когда спиртъ расширяется. Когда же, наоборотъ, спиртъ сжимается и доходитъ своей вогнутой поверхностью до стекляннаго столбика, то въ силу поверхностнаго натяженія столбикъ уносится вмѣстѣ съ жидкостью и остается на мѣстѣ, когда жидкость снова начинаетъ расширяться. Стеклянная палочка указываетъ, такимъ образомъ, наиболѣе низкую температуру, которую термометръ отмѣтилъ за сутки.

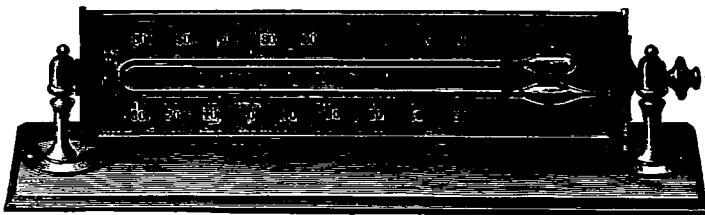
Послѣ того какъ, еще до полдня, были отмѣчены максимальная и минимальная:

температуры, доску, на которой укрѣплены оба термометра, поворачиваютъ такимъ образомъ, чтобы шарикъ съ ртутью очутился внизу, а шарикъ со спиртомъ вверху.

Максимумъ и минимумъ-термометръ Сикса, который въ новѣйшее время часто употребляется вмѣсто термометра Рѣтгерфорда, состоитъ изъ изогнутой стеклянной трубки *ANB* (рис. 23), которая отъ *A* до *p* наполнена спиртомъ, отъ *p* до *p'* ртутью, а отъ *p'* до *B* снова спиртомъ; этотъ послѣдній объемъ не вполне наполненъ жидкостью и сосудъ *B* содержитъ пузырекъ пара. Расширеніе и сжатіе спирта въ части отъ *A* до *p* двигаетъ взадъ и впередъ ртутный столбикъ. Изъ двухъ

Рис. 23

Рис. 24



Максимумъ и минимумъ-термометръ Сикса.

желѣзныхъ палочекъ, которыя передвигаются этимъ столбикомъ, одна показываетъ максимумъ, а другая минимумъ температуры. При вертикальномъ положеніи прибора обѣ желѣзныя палочки прижимаются двумя упругими стеклянными нитями къ стѣнкамъ трубки, что мѣшаетъ имъ соскальзывать внизъ. Каждый день, лучше всего до полдня, когда минимумъ послѣдней ночи уже былъ отмѣченъ, а максимумъ текущаго дня еще не наступилъ, нужно придвигать желѣзныя палочки при помощи магнита къ концу столбика ртути.

Такъ называемый медицинскій термометръ, которымъ пользуются врачи, имѣетъ устройство, изображенное на рис. 24. Въ трубкѣ находится короткій столбикъ ртути, отдѣленный отъ ртути въ сосудѣ столбикомъ воздуха. Когда ртуть въ сосудѣ расширяется, этотъ столбикъ ртути вслѣдствіе давленія воздушнаго столбика передвигается и остается, когда термометръ снова охлаждается, въ точкѣ, указывающей высшую температуру, до которой былъ нагрѣтъ термометръ. Встряхивая приборъ, можно привести столбикъ ртути въ первоначальное положеніе.



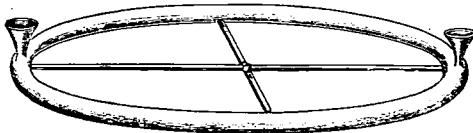
Медицинскій термометръ.

27. Accademia del Cimento доказала опытнымъ путемъ, что и твердыя тѣла подъ вліяніемъ теплоты расширяются. То, что, напримѣръ, стекло расширяется при нагрѣваніи, они наблюдали при помощи обыкновеннаго термометра. Когда они на одно мгновеніе подносили пламя къ шарикѣ термометра, то замѣчали, что жидкость въ трубкѣ падаетъ. При внезапномъ нагрѣваніи стекло расширяется, прежде чѣмъ успѣваетъ нагрѣться жидкость. Вслѣдствіе увеличенія сосуда уровень жидкости понижается. Спустя мгновеніе она подымается, такъ какъ за это время теплота успѣваетъ распространиться черезъ стекло до спирта, который расширяется гораздо сильнѣе стекла. Чтобы сдѣлать расширеніе стекла болѣе нагляднымъ, Академія пользовалась

приборомъ, изображеннымъ на рис. 25. Онъ состоялъ изъ полаго стекляннаго кольца и деревяннаго креста, такъ пригнаннаго, что кольцо плотно держало его. Если наполнить такое кольцо горячей водой, то вслѣдствіе нагрѣванія оно расширится и крестъ выпадетъ изъ него.

На рис. 26 и 27 изображены два прибора, описанные въ „Saggi“ и служившіе для доказательства того, что металлы при нагрѣваніи расширяются такъ же, какъ и стекло. Два конца деревянной дуги (рис. 26) стянуты проволокой; на веревкѣ, прикрѣпленной къ проволокѣ, виситъ шаръ, качающійся вплотную надъ зеркаломъ.

Рис. 25



Расширеніе стекла отъ нагрѣванія.

Желѣзная проволока, нагрѣваясь, удлиняется, концы дуги расходятся, шаръ приподымается и вмѣстѣ съ тѣмъ отодвигается его изображеніе въ зеркалѣ. Другой приборъ показываетъ расширеніе металлическаго кольца. Его подставка оканчивается сверху маленькимъ цилиндромъ, діаметръ котораго равенъ діаметру просвѣта изображеннаго отдѣльно кольца. Если нагрѣть кольцо и насадить его на цилиндръ, то окажется, что оно слишкомъ велико.

Рис. 26

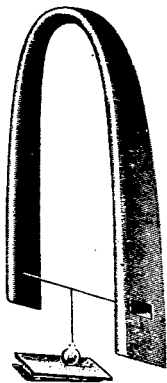
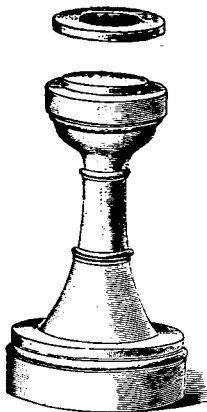


Рис. 27



Расширеніе металловъ отъ нагрѣванія.

28. Расширеніе при нагрѣваніи и сжатіе при охлажденіи происходитъ какъ у жидкихъ, такъ и у твердыхъ тѣлъ съ огромной силой. Какое практическое употребленіе можно при случаѣ сдѣлать изъ этой силы, видно на слѣдующемъ примѣрѣ. Въ одномъ парижскомъ музеѣ подъ давленіемъ тяжелаго свода стѣны поддались и наклонились наружу. Моларъ, директоръ музея, соединилъ противоположныя стѣны желѣзными стержнями, которые снаружи снабжены были гайками (рис. 28). Послѣ того, какъ стержни отъ нагрѣванія расширились,

гайки были вплотную навинчены на нихъ. Охладившись, стержни опять укоротились до своей первоначальной длины съ такой силой, что стѣны снова были приведены въ вертикальное положеніе.

Для многихъ вычисленій очень важно знать величину расширенія при определенной степени нагрѣванія. Поэтому было произведено много измѣреній для определенія этой величины.

Французскіе физики Лапласъ и Лавуазье въ концѣ XVIII вѣка опредѣляли

удлиненіе металлическихъ стержней при помощи приборовъ, изображенныхъ на рис. 29 и 30. Между четырьмя прочными каменными столбами находится продолговатое корыто изъ листовой мѣди. Между двумя изъ этихъ столбовъ на двухъ горизонтальныхъ перекладинахъ укрѣпленъ вертикальный стержень *b*. Въ него упирается

одинъ конецъ металлическаго стержня длиной въ 6 футовъ, который покоится на двухъ поперечинахъ на днѣ корыта. Другой конецъ этого стержня упирается въ плечо рычага *c*, укрѣпленнаго на вращающейся оси *d* между двумя другими каменными столбами. На той же оси находится зрительная труба *f*. Для опыта съ этимъ приборомъ корыто наполняется сначала тающимъ льдомъ. Испытуемый стержень принимаетъ вслѣдствіе этого температуру 0° и имѣетъ длину, соответствующую этой температурѣ. Зрительная труба направляется на шкалу и перекрестныя нити устанавливаются на определенное дѣленіе. Затѣмъ корыто наполняется кипящей водой. Вслѣдствіе

удлиненія металлическаго стержня зрительная труба поворачивается и указываетъ на другое дѣленіе шкалы. Изъ этого наблюденія путемъ простого вычисленія получается,

Рис. 28



Выпрямленіе наклонившихся стѣнъ.

Рис. 29

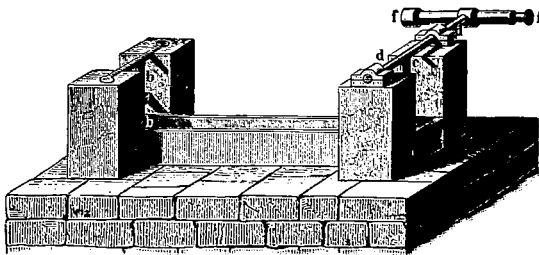
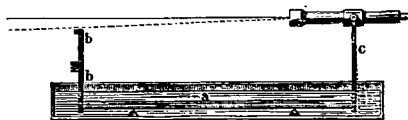


Рис. 30



Измѣреніе линейнаго расширенія.

насколько расширился стержень вслѣдствіе нагрѣванія. Измѣреніями такого рода было найдено, что удлиненіе стержня въ 1 м длиной при нагрѣваніи отъ 0° до 100° равно (въ миллиметрахъ) для:

стекла	0·8	латуни	1·9
платины	0·9	серебра	1·9
стали	1·1	олова	2·0
жельза	1·2	свинца	2·8
золота	1·4	цинка	3 0
мѣди	1·7		

При обыкновенныхъ температурахъ металлы расширяются равномерно, т. е. расширение на каждый отдѣльный градусъ выходитъ одно и то же. При болѣе высокихъ температурахъ расширение, напротивъ того, больше, чѣмъ при болѣе низкихъ. Разумѣется, теплота дѣйствуетъ не только въ направленіи длины, но и во всѣхъ направлешяхъ. Это приходится принимать во вниманіе, когда дѣло идетъ объ увеличеніи объема.

29. Съ расширеніемъ металловъ приходится считаться во многихъ случаяхъ. Когда кузнецъ кладетъ шину на колесо, онъ насаживаетъ ее, предварительно разогрѣвши. Когда шина затѣмъ охлаждается, она охватываетъ колесо вплотную. Рельсы укладываются на шпалы такимъ образомъ, чтобы между каждыми двумя рельсами получался небольшой зазоръ на случай ихъ расширенія. Жельзные мосты должны строиться такъ, чтобы ихъ расширеніе при нагрѣваніи и сжатіе при охлажденіи происходили безпрепятственно.

Часы, регулируемые маятникомъ (или балансиромъ), идутъ въ теплѣ медленно, чѣмъ на холодѣ. Это частью устраняется тѣмъ, что чечевица, прикрѣпленная къ нижнему концу стержня маятника, удерживается на нижнемъ краю такимъ образомъ, что можетъ безпрепятственно расширяться вверхъ. Удлиненіе стержня въ такомъ случаѣ компенсируется расширеніемъ чечевицы. Однако, вполне устранить это вредное вліяніе нагрѣванія можно лишь при помощи такъ называемаго уравнительнаго маятника. Наиболее употребительной формой уравнительнаго маятника является рѣшетчатый маятникъ (Rostpendel), изобрѣтенный въ 1726 г. Джономъ Гаррисономъ.

Устройство этого маятника видно изъ рис. 31. Два поперечныхъ бруска *ab* и *fg* соединены двумя жельзными стержнями *R*; къ поперечному бруску *fg* прикрѣплены два цинковыхъ стержня *T*, соединяющихся на верхнемъ концѣ брускомъ *cd*. Къ послѣднему прикрѣпленъ жельзный стержень *S*, на нижнемъ концѣ котораго находится чечевица. Расширеніе трехъ жельзныхъ стержней опускаетъ чечевицу и маятникъ, слѣдовательно, удлиняется, а расширение двухъ цинковыхъ брусковъ подымаетъ чечевицу, т. е. маятникъ укорачивается. Длины металлическихъ стержней должны быть выбраны такимъ образомъ, чтобы удлиненіе, обусловленное расширеніемъ жельзныхъ стержней, было въ точности равно укорачиванію цинковыхъ. Это будетъ достигнуто въ томъ случаѣ, когда отношеніе суммы длинъ одного изъ внѣшнихъ и средняго стержней (изъ жельза) къ длинѣ одного изъ двухъ цинковыхъ стержней равно обратному отношенію

Рис. 31



Рѣшетчатый маятникъ.

коэффициентовъ расширения желѣза и цинка, т. е. чиселъ, указанныхъ для этихъ металловъ въ предыдущей таблицѣ.

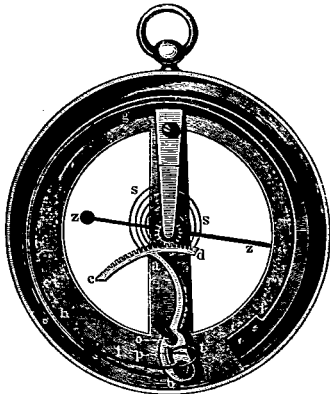
Примѣръ 1. Рельсѣ имѣеть при 20°C длину въ 6 м. Какъ велика разница его длины при $+40^{\circ}\text{C}$ и при -30°C ?

Примѣръ 2. Маятникъ со стержнемъ изъ платины имѣеть на нижнемъ концѣ круглый цинковый дискъ, прикрѣпленный указаннымъ выше способомъ. Во сколько разъ длина стержня должна превышать діаметръ линзы, чтобы разстояніе центра че-чевицы отъ точки привѣса при измѣненіи температуры оставалось неизмѣннымъ?

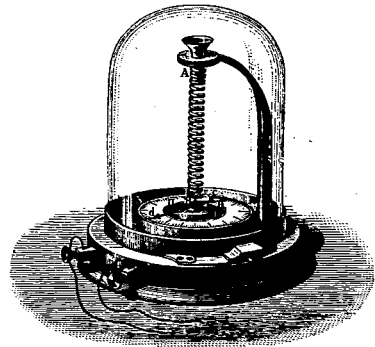
30. На неодинаковомъ расширеніи металловъ основано устройство металличе-скаго термометра, изобрѣтеннаго въ началѣ XIX вѣка Урбаномъ Іѣргенсеномъ, часовщикомъ въ Копенгагенѣ. Такой термометръ (рис. 32) въ существенномъ состоить изъ такъ называемой компенсаціонной ленты, т. е. изъ ленты, изогнутой въ видѣ круга, составленной изъ двухъ металловъ, напримѣръ, мѣди и стали (мѣдь съ внутренней стороны). На одномъ концѣ f она закрѣплена, а другимъ концомъ да-вить на короткое плечо рычага, вращающагося вокругъ оси o . При повышеніи тем-пературы лента слегка распрямляется, такъ какъ мѣдь расширяется сильнѣе стали, и

Рис. 32

Рис. 33



Металлическій термометръ.



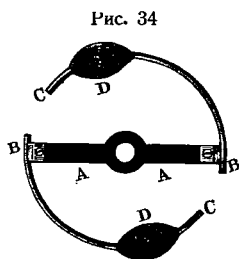
Металлическій термометръ Бреге.

короткое плечо рычага движется налѣво. При пониженіи температуры лента немного закручивается и давленіе на плечо рычага ослабѣваетъ. При помощи зубчатой дуги ed и маленькаго зубчатаго колеса движеніе рычага передается оси и связанной съ нею стрѣлкѣ. Дѣленія, по которымъ стрѣлка указываетъ температуру, какъ стрѣлка часовъ указываетъ время, наносятся по сравненію съ ртутнымъ термометромъ.

Очень чувствительные металлическіе термометры были приготовлены французскимъ механикомъ Бреге (1748—1823). Употреблявшіяся имъ компенсаціонныя ленты были составлены изъ трехъ различныхъ металловъ: серебра, золота и платины. Прокатанная между вальцами лента изъ этихъ металловъ, спаянныхъ другъ съ другомъ, сворачивается въ видѣ винтовой спирали, верхній конецъ ея закрѣпляется, а нижній снабжается легкой стрѣлкой, движущейся по кругу съ дѣленіями (рис. 33), по которымъ можетъ

быть отсчитана температура. Эти термометры очень чувствительны, но легко портятся. Видные на рисунокъ зажимы служатъ для включенія спирали въ цѣпь слабого электрическаго тока, сила котораго можетъ быть измѣрена развиваемой имъ теплотой.

Для того чтобы сдѣлать балансиръ хронометра нечувствительнымъ къ вліянію температуры, ему сообщаютъ устройство, изображенное на рис. 34. Окружность балансира прорѣзана въ двухъ противоположныхъ мѣстахъ, а дугообразныя плечи балансира составляются изъ двухъ различныхъ металловъ, изъ которыхъ внѣшній расширяется сильнѣе внутренняго. При повышеніи температуры поперечникъ *ВВ* удлиняется.



Балансиръ хронометра.

Это удлиненіе должно было бы повлечь за собой замедленіе движенія. Но оно устраняется тѣмъ, что дугообразныя плечи вслѣдствіе неодинаковаго расширенія изгибаются немного сильнѣе и приближаютъ массы *D* къ центру.

31. Опредѣленіе расширенія жидкостей не очень просто, такъ какъ жидкости не имѣютъ самостоятельной формы. Если, напримѣръ, жидкость нагрѣвается въ термометрѣ, то мы видимъ не только расширеніе жидкостей, потому что трубка, въ которой жидкость содержится, также расширяется. Видимое расширеніе, которое мы наблюдаемъ, меньше истиннаго расширенія. Необходимо по-

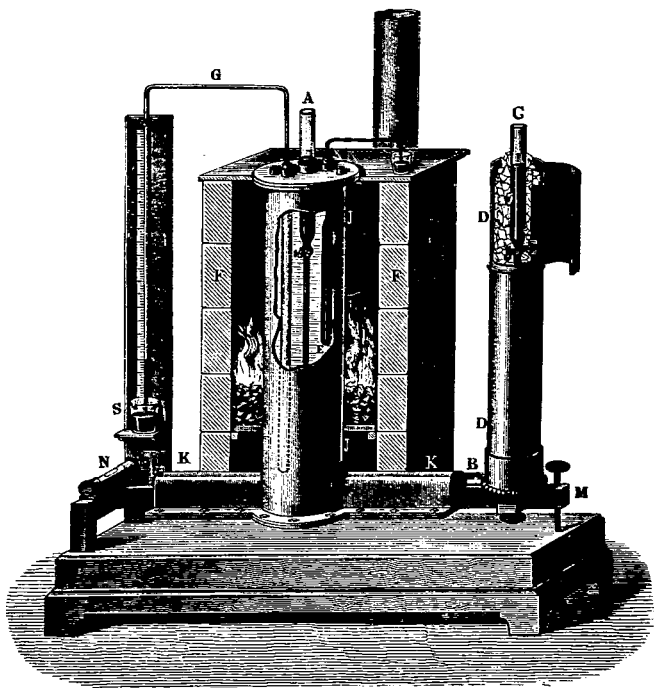
этому знать расширеніе трубки и вычислять расширеніе жидкости, уже принимая его во вниманіе. Но расширеніе трубки не можетъ быть опредѣлено, если мы не знаемъ расширенія по крайней мѣрѣ одной жидкости. Робертъ Гукъ (I, § 16b) показалъ, какъ можно обойти эти трудности. Онъ воспользовался тѣмъ обстоятельствомъ, что жидкость при болѣе высокой температурѣ имѣетъ меньшій удѣльный вѣсъ, чѣмъ при болѣе низкой, и опредѣлилъ потерю въ вѣсѣ желѣзнаго шара сначала въ смѣси воды со льдомъ, а затѣмъ въ кипящей водѣ. Отсюда можно вывести отношеніе объемовъ равныхъ вѣсовыхъ количествъ воды при двухъ различныхъ температурахъ, а слѣдовательно, и расширеніе воды. Во всякомъ случаѣ при этомъ опытѣ должно быть извѣстно расширеніе желѣза, чего не требуется при способѣ Дюлонга и Пти, основанномъ на законѣ сообщающихся сосудовъ. На рис. 35 изображенъ приборъ, которымъ пользовались упомянутые физики для опредѣленія расширенія ртути. Трубки *A* и *C* соединяются болѣе узкой трубкой *B*. Трубка *A* окружается горячимъ масломъ, температура котораго опредѣляется по воздушному термометру *G.S.* Трубка же *C* окружена тающимъ льдомъ. Обѣ трубки содержатъ ртуть, которая въ *A* стоитъ выше, чѣмъ въ *C*, такъ какъ теплая ртуть легче холодной. Высоты ртутныхъ столбовъ въ *A* и *C* точно измѣряются. Отсюда путемъ простыхъ вычисленій можно опредѣлить расширеніе ртути¹⁾. Ртуть при нагрѣваніи на 1° расширяется почти на $\frac{1}{5550}$ своего объема. До 100° ея расширеніе происходитъ вполне равномѣрно. Поэтому ртуть является весьма подходящей жидкостью для термометровъ.

¹⁾ Если обозначить высоты столбовъ ртути въ *A* и *C* черезъ *H* и *H*₁, удѣльные вѣсы теплой и холодной ртути черезъ *d* и *d*₁, то будемъ имѣть: $H:H_1=d_1:d$. Если, далѣе, обозначить объемы одинаковыхъ по вѣсу количествъ теплой и холодной ртути черезъ *v* и *v*₁, то получимъ: $v:v_1=d_1:d$. Отсюда слѣдуетъ, что $H:H_1=v:v_1$.

32. Особый интерес представляет расширение воды, являющееся исключением изъ общаго закона расширенія тѣлъ.

Уже члены Accademia del Cimento обратили вниманіе на то обстоятельство, что вода, будучи нагрѣта выше точки замерзанія, не расширяется, а сжимается. Они наблюдали это явленіе въ термометрической трубкѣ, наполненной водой. Такъ какъ имъ казалось невѣроятнымъ, чтобы вода дѣйствительно сжималась при нагрѣваніи, то для объясненія этого явленія они допускали, что вблизи точки замерзанія стекло

Рис. 35



Опредѣленіе расширенія ртути.

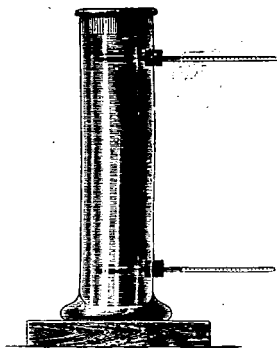
расширяется сильнѣе, чѣмъ вода, и это объясненіе держалось свыше ста лѣтъ. Лишь въ 1776 году Делюкъ обратилъ вниманіе на то, что вода дѣйствительно обладаетъ наибольшей плотностью приблизительно при 4°C .

Слѣдующій опытъ даетъ возможность опредѣлить температуру наибольшей плотности воды; этотъ опытъ былъ впервые произведенъ приблизительно одновременно графомъ Румфордомъ и И. Г. Траллесомъ (1763—1822), профессоромъ физики въ Берлинѣ. Цилиндрической сосудъ, въ стѣнку котораго вставлены два термометра вверху и внизу, наполняютъ водою и охлаждають до 0° , непрерывно слѣдя за обоими термометрами (рис. 36). Охлаждаясь, вода вначалѣ сжимается. Болѣе холодная вода есть вмѣстѣ съ тѣмъ и болѣе тяжелая, вслѣдствіе чего она опускается внизъ;

въ то же время болѣ теплая и болѣ легкая вода поднимается вверхъ. Такимъ образомъ, верхній термометръ показываетъ болѣ высокую температуру, чѣмъ нижній. Когда вода достигаетъ своей наибольшей плотности, оба термометра показываютъ одну и ту же температуру, когда же она опускается ниже этой температуры, т. е. когда наибольшей плотностью обладаетъ уже не самая холодная вода въ сосудѣ, а болѣ теплая, то нижній термометръ показываетъ болѣ высокую температуру, чѣмъ верхній. Та температура, которую показываютъ оба термометра одновременно, т. е. температура наибольшей плотности воды, есть 4°C .

Такое же уклоненіе наблюдается также и у водныхъ растворовъ солей, напримеръ, у морской воды; наибольшей плотностью послѣдняя обладаетъ при $—3.5^{\circ}\text{C}$.

Рис. 36



Расширеніе воды.

33. Неправильность расширенія воды играетъ въ природѣ весьма важную роль. Еслибы вода сжималась вплоть до своей точки замерзанія, то вся масса морской воды быстро охладилась бы до 0° и образованіе льда происходило бы не только на поверхности, но и на днѣ моря. Равнымъ образомъ и подпочвенная вода превращалась бы въ ледъ глубоко подъ землю. Но лѣтомъ подпочвенный ледъ не таялъ бы, такъ какъ вода отъ таянія льда оставалась бы въ соприкосновеніи со льдомъ и не поднималась бы кверху. Лишь верхній слой воды приобрѣлъ бы болѣ высокую температуру. При такихъ условіяхъ моря были бы вѣчно замерзшими, какъ и почва на глубинѣ, а поверхность суши представляла бы холодное и бесплодное болото.

Эти условія, однако, не имѣютъ мѣста въ природѣ благодаря лишь тому, что вода достигаетъ своей наибольшей плотности при 4°C . Холодная вода остается на поверхности, — и даже въ томъ случаѣ, когда образуется толстая ледяная кора, эта кора быстро таетъ отъ лѣтней теплоты. Дѣйствительно, какъ только ледъ покрывается слоемъ воды, вода съ температурой 0° непрерывно поднимается вверхъ, между тѣмъ какъ болѣ теплая вода опускается внизъ и вызываетъ тамъ таяніе льда.

34. Когда было установлено, что точки таянія льда и кипѣнія воды даютъ опредѣленные градусы шкалы, обратились къ точному изслѣдованію того, что происходитъ съ воздухомъ при его нагреваніи.

Такъ Гильомъ Амонтонъ (1663—1705) изслѣдовалъ, какъ увеличивается сила расширенія воздуха (упругость), когда его нагреваютъ. Отдѣливъ въ стеклянномъ шарѣ при помощи ртути извѣстное количество воздуха, онъ погрузилъ этотъ шаръ въ кипящую воду. Воздухъ расширился, вслѣдствіе чего ртуть поднялась въ узкой трубкѣ (рис. 37). Столбъ ртути своимъ давленіемъ оказываетъ значительное противодѣйствіе расширенію воздуха. Если шаръ великъ, а трубка узка, то объемъ воздуха увеличится не на много. Въ этомъ случаѣ теплота вызываетъ лишь увеличеніе упругости воздуха.

Амонтонъ пользовался этимъ приборомъ, какъ термометромъ, причѣмъ высота столба ртути въ трубкѣ служила мѣрой температуры воздуха въ шарѣ. Слѣ-

дуетъ, конечно, при этомъ имѣть въ виду и высоту барометра. Амонтонъ нашель, что давленіе воздуха увеличивается на одну третью, если вынуть шаръ изъ тающаго льда и погрузить его въ кипятокъ. Далѣе, онъ нашель, что давленіе воздуха равномерно увеличивается вмѣстѣ съ температурой. Точныя измѣренія, произведенныя съ того времени различными физиками, показали, что на каждый градусъ Цельзія давленіе закрытаго воздуха увеличивается на $\frac{1}{273}$ часть его давленія при 0° , т. е. если нагрѣть воздухъ отъ 0° до 273° , то его давленіе удвоится.

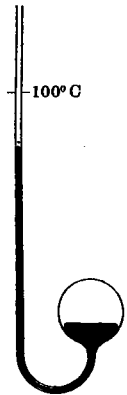
35. Вопросъ о томъ, насколько расширится воздухъ, если нагрѣвать его, оставляя при этомъ безъ измѣненія его давленіе, разрѣшается слѣдующимъ образомъ. По закону Бойля (I, § 259), объемъ даннаго количества воздуха обратно пропорціоналенъ его давленію. А такъ какъ отдѣленный воздухъ при постоянномъ объемѣ приобретаетъ при нагрѣваніи отъ 0° до 273° двойное давленіе, то при восстановленіи первоначальнаго давленія онъ долженъ занять вдвое бѣльшій объемъ. Слѣдовательно, при нагрѣваніи до 273°C воздухъ долженъ занять вдвое бѣльшій объемъ, если его давленіе остается неизмѣннымъ. Вслѣдствіе того, что расширение происходитъ равномерно, воздухъ при нагрѣваніи на каждый градусъ расширяется на $\frac{1}{273}$ часть своего объема при 0° . Въ то время какъ твердыя и жидкія тѣла при одномъ и томъ же нагрѣваніи расширяются въ различной степени, газообразныя тѣла при одномъ и томъ же нагрѣваніи расширяются всѣ одинаково, т. е. у всѣхъ у нихъ одинъ и тотъ же коэффициентъ расширенія ($\frac{1}{273}$).

36. Въ „Saggi“ изображенъ родъ термоскопа; этотъ аппаратъ, показывающій измѣненія температуры, былъ присланъ нѣмецкому іезуиту Аѳанасію Кирхеру великимъ герцогомъ Фердинандомъ II. Приборъ состоялъ изъ стеклянной трубки (рис. 38), которая была наполнена водой почти доверху. Въ водѣ находилось нѣсколько маленькихъ грушевидныхъ скляночекъ съ оттянутыми внизъ горлышками. Эти склянки были наполнены водой не до самаго верха, а заключали въ себѣ пузырьки воздуха, величина котораго была разчитана, такъ что при опредѣленной температурѣ—около 15° —склянки плавали внутри воды. При болѣе высокой температурѣ воздухъ въ нихъ расширялся и вытѣснялъ нѣкоторое количество воды изъ каждой склянки, вслѣдствіе чего она поднималась вверхъ на поверхность воды. Когда же, напротивъ, температура опускалась ниже 15° , то воздухъ сжимался и склянки опускались на дно трубки.—Одновременно съ этимъ приборомъ Кирхеромъ былъ полученъ и другой, весьма сходный съ первымъ, но отличавшійся отъ него тѣмъ, что онъ былъ совершенно наполненъ водой и запаянъ. Въ этомъ приборѣ со склянками дѣло обстоитъ наоборотъ, т. е. онѣ опускались, когда вода становилась теплѣе, и подымались, когда она охлаждалась.

Великій герцогъ предоставилъ Кирхеру самому объяснить это явленіе. Приборъ являлся, такимъ образомъ, какъ бы загадкой, которую Кирхеръ долженъ былъ разгадать, что ему и удалось. Пусть читатель попробуетъ, не удастся ли разгадать эту загадку и ему.

37. Рис. 39 представляетъ изображеніе, относящееся къ XVII столѣтію, на ко-

Рис. 37



Воздушный термометръ Амонтонна.

торомъ показано, какимъ образомъ пытались тогда использовать токъ воздуха, производимый теплотой. Подъ длинной вертикальной трубой горитъ огонь. Теплый и легкій воздухъ поднимается по трубкѣ вверхъ и приводитъ въ движеніе колесо *K*. Большая скорость этого колеса при помощи зубчатыхъ колесъ преобразовывается въ медленное движеніе, съ большой силой вращающее машину съ вальцами.

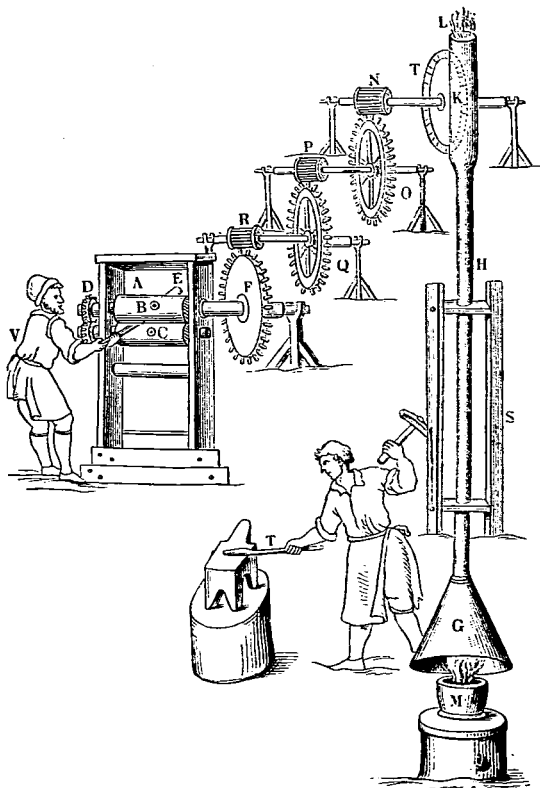
Тяга въ дымовыхъ трубахъ, а равно и согрѣваніе и вентиляція жилыхъ помѣщений также обусловлены течешемъ воздуха, вызываемымъ теплотой. Чѣмъ выше

Рис. 38



Флорентійскій термоскопъ.

Рис. 39



Воздушная тяга, производимая теплотой (изображеніе относится къ 1629 г.).

дымовая труба, тѣмъ сильнѣе въ ней тяга, тѣмъ именно длиннѣе теплый и легкій столбъ воздуха, гонимый вверхъ избыткомъ вѣса столь же длиннаго, но болѣе тяжелаго воздушнаго столба внѣ трубки.

Воздухъ въ комнатахъ согрѣвается тѣмъ, что холодный воздухъ стремится къ печи, между тѣмъ какъ теплый удаляется отъ нея. Вентиляція, имѣющая цѣлью доставлять комнатѣ свѣжій воздухъ, состоитъ въ томъ, что теплый воздухъ, уже слу-

живший для дыханія, удаляется при помощи отдушинъ вблизи потолка, между тѣмъ какъ свѣжій воздухъ входитъ въ комнату черезъ отверстія вблизи пола. Если есть надобность въ болѣе сильной вентиляціи, то отдушину, черезъ которую удаляется теплый использованный воздухъ, соединяется съ печной трубой.

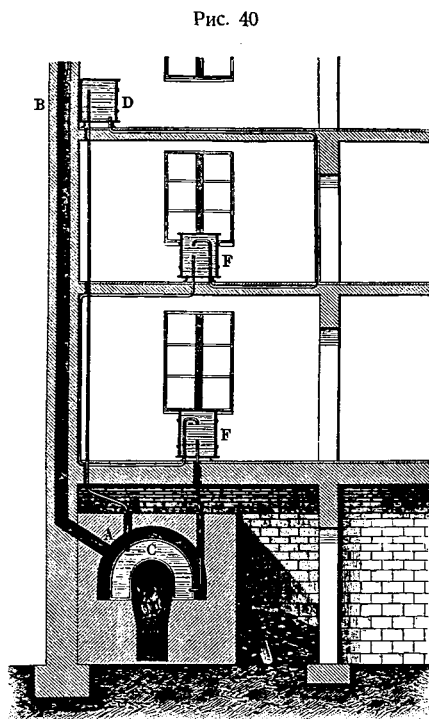
Совершенно подобнымъ образомъ возникаютъ течения и въ водѣ, когда различныя части ея неодинаково нагрѣты. На этомъ основано такъ называемое водяное отопленіе. На рис. 40 *C* представляетъ желѣзный котель, въ которомъ нагрѣвается вода.

Отъ дна котла идетъ труба въ закрытый резервуаръ *F* въ первомъ этажѣ, отсюда въ закрытый резервуаръ *F* во второмъ этажѣ, отсюда въ резервуаръ *D* въ верхнемъ этажѣ. Отъ верхняго резервуара проведена обратно въ котель труба, которая входитъ въ его верхнюю часть. Трубы, резервуары и котель наполнены водой; въ *D* оставляютъ мѣсто для расширенія, которое можетъ испытывать вода отъ нагрѣванія. Если теперь нагрѣвать воду въ котлѣ, то теплая вода устремится въ верхній этажъ; отсюда она пойдетъ черезъ *F, F* обратно въ котель; здѣсь она опять нагрѣется и т. д. О воздушныхъ теченияхъ въ атмосферѣ и о теченияхъ воды въ моряхъ будетъ сказано ниже (въ отдѣлѣ метеорологии).

38. Какъ уже было указано выше, древніе народы были знакомы съ выплавливаніемъ металловъ и производствомъ стекла. Они, слѣдовательно, знали, что твердыя тѣла отъ теплоты плавятся, т. е. становятся жидкими, а также, что жидкіе (расплавленные) металлы при охлажденіи отвердѣваютъ, и умѣли пользоваться этимъ при указанныхъ производствахъ. Плавильное дѣло играло большую роль во всей ихъ культурѣ.

Въ древности по всей вѣроятности считали, что плавленіе происходитъ оттого, что огонь (теплота) проникаетъ въ твердыя тѣла. Геронъ (I, § 209) утверждаетъ, что алмазь не можетъ быть накаленъ по той причинѣ, что частицы огня слишкомъ велики, чтобы проникнуть въ его поры. Напротивъ, поры металловъ больше и огонь можетъ проникнуть въ нихъ, накаливая металлъ. А когда жаръ достигаетъ достаточной степени, то металлы плавятся.

39. Галилей на основаніи изученія Аристотеля и Герона усвоилъ себѣ



Водяное отопленіе.

такой же взгляд на процесс плавления. Аристотель учить, что сила сцепления тѣлъ объясняется тѣмъ, что природа боится пустоты (воггог vacui). Дѣйствительно, если тѣло распадается на части, то въ первое мгновеніе должна возникнуть пустота, природа же мѣшаетъ этому.—Галилей принялъ эту мысль и развилъ ее дальнѣе. Онъ зналъ, что сила сцепленія неодинакова у различныхъ тѣлъ; а такъ какъ онъ долженъ былъ принять, что воггог vacui долженъ вліять одинаково на всѣ тѣла, то отсюда онъ заключилъ, что неодинаковое сцепленіе обусловливается неодинаковостью поръ тѣлъ. Если поры велики и если, слѣдовательно, при распадѣ тѣла образуется бѣльшая пустота, то сила сцепленія тоже велика. Если же, напротивъ, поры малы, то и воггог vacui также имѣетъ мало возможности проявиться замѣтнымъ образомъ, и сила сцепленія меньше. Въ тѣлахъ съ наибольшими порами частицы связаны другъ съ другомъ наиболѣе крѣпко.

При этомъ Галилей объяснилъ также, въ чемъ заключается разница между жидкими и твердыми тѣлами. Въ жидкостяхъ поры заполнены. Вслѣдствіе этого воггог vacui не связываетъ частицъ другъ съ другомъ и сцепленіе, такимъ образомъ, отсутствуетъ.

Когда твердое тѣло отъ теплоты плавится, то частицы тепла проникаютъ въ поры и наполняютъ ихъ. Тѣло становится жидкимъ. Когда расплавленное тѣло охлаждается, то изъ него уходитъ теплота, воггог vacui вступаетъ въ дѣйствіе и тѣло отвердѣваетъ.

Галилей, слѣдовательно, разсматривалъ теплоту, какъ нѣчто матеріальное, что можетъ въ проникать въ тѣла, то уходитъ изъ нихъ; и, основываясь на ученіи Герона о порахъ (I, § 209), онъ построилъ наглядную теорію явленій плавленія и застыванія.

40. Болѣе точное изслѣдованіе процесса плавленія было предпринято почти одновременно Accademia del Cimento и Робертомъ Бойлемъ. Эти изслѣдованія касались таянія льда и замерзанія воды.

Accademia del Cimento, какъ уже было упомянуто (§ 21), замѣтила, что тающій ледъ всегда имѣетъ одну и ту же степень тепла, которую мы называемъ точкой таянія льда или точкой замерзанія воды. Но Accademia del Cimento и Робертъ Бойль интересовались не постоянствомъ точки замерзанія, а расширеніемъ, которое имѣетъ мѣсто при замерзаніи воды.

Галилей обратилъ вниманіе на то, что ледъ легче воды, такъ какъ онъ плаваетъ въ ней. Отсюда слѣдуетъ, что фунтъ воды занимаетъ меньше мѣста, чѣмъ фунтъ льда. Accademia del Cimento старалась опредѣлить, насколько расширяется вода при замерзаніи.

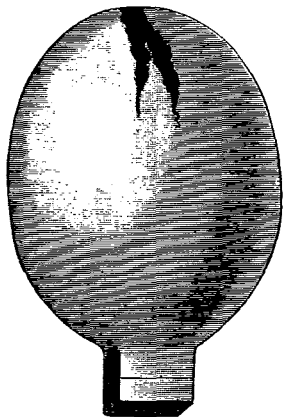
Трубка, одинъ конецъ которой закрытъ, наполняется водой и замораживается. При этомъ изъ открытаго конца трубки выступаетъ ледяная сосулька. Путемъ взвѣшиванія этой сосульки и сравненія ея вѣса съ вѣсомъ воды, первоначально находившейся въ трубкѣ, члены Академіи нанли, что трубка можетъ содержать въ видѣ льда линъ $\frac{8}{9}$ воды. Восемь фунтовъ льда занимаютъ тотъ же объемъ, что и девять фунтовъ воды, т. е. удѣльный вѣсъ льда составляетъ $\frac{8}{9}$. Болѣе точныя позднѣйшія измѣренія показали, что удѣльный вѣсъ льда нѣсколько больше, именно приблизительно $\frac{9}{10}$. Поэтому плавающая въ водѣ ледяная гора (айсбергъ) имѣетъ внѣ воды $\frac{1}{10}$ своего вѣса, остальные же $\frac{9}{10}$ ея находятся подъ водой. Такимъ образомъ, цилиндрическая ледяная гора, которая поднимается надъ водой на 50 м., подъ поверхностью воды должна идти на 450 м. Обыкновенно, нижняя часть горы бываетъ шире

чѣмъ верхняя; поэтому принимаютъ, что подъ воду айсбергъ уходитъ въ среднемъ въ пять разъ больше, чѣмъ на свою высоту надъ водой.

41. Расширеніе воды при замерзаніи происходитъ съ чрезвычайной силой. Accademia del Cimento показала это слѣдующимъ образомъ. Крѣпкій металлическій сосудъ, родъ гранаты (рис. 41 и 42), наполнялся водой при 0° , которую затѣмъ замораживали. Какъ бы крѣпокъ ни былъ сосудъ, ледъ разрывалъ его.

Въ природѣ подобныя же явленія совершаются въ большихъ размѣрахъ. Осенью вода наполняетъ щели въ скалахъ и при замерзаніи зимою она расширяется съ такой

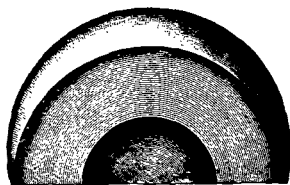
Рис. 41



Опытъ Accademia del Cimento съ замораживаніемъ воды.

силой, что горныя породы растрескиваются. То же имѣетъ мѣсто и во влажныхъ каменныхъ стѣнахъ. Вода въ скважинахъ камня замерзаетъ, и камень отъ этого трескается. Расширеніе воды при замерзаніи играетъ большую роль въ земледѣліи. Вспаханное поле предъ наступленіемъ зимы покрывается сѣтью бороздъ, которыя наполняются водою. Въ мо-

Рис. 42



Сосудъ рис. 41 въ разрѣзѣ.

розъ вода въ бороздахъ замерзаетъ; расширяясь при этомъ, она взрыхляетъ пашню. Благодаря этому весною пашня получаетъ надлежащій видъ для посѣва.

42. Робертъ Бойль производилъ почти тѣ же самые опыты, что и Accademia del Cimento, но одновременно съ этимъ онъ занимался изслѣдованіемъ того, всѣ ли жидкости отвердѣваютъ отъ холода подобно водѣ. Онъ нашелъ, что нѣкоторыя жидкости, напримѣръ, спиртъ и кислоты, не замерзаютъ въ самый сильный холодъ, каковой только онъ могъ получить при помощи своихъ охладительныхъ смѣсей.

Полученіе искусственнаго холода было извѣстно уже Делла Портѣ въ 1589 году. Онъ смѣшивалъ снѣгъ и селитру; они оказываютъ другъ на друга такое дѣйствіе, что смѣсь получается жидкой и въ то же время гораздо болѣе холодной, чѣмъ тающій ледъ. Accademia del Cimento пользовалась для опытовъ съ замораживаніемъ различными охладительными смѣсями, напримѣръ, смѣсью снѣга и поваренной соли или снѣга и спирта. Наболѣе сильное дѣйствіе оказывали снѣгъ съ нашатыремъ. Этой смѣсью достигалась температура въ 5° по флорентійскому стоградусному термометру, который показывалъ 17° въ самый сильный зимшій холодъ зимою и 80° въ самый сильный лѣтшій зной на солнцѣ.

Бойлю также были извѣстны эти охладительныя смѣси. Онъ показалъ, что полученіе холода при смѣшиваніи соли и снѣга происходитъ отъ того, что оба вещества

становятся жидкими. Теплота требуется на то, чтобы растопить снѣгъ (должны быть, заполнены поры снѣга) и чтобы превратить соль въ жидкость; эта теплота отнимается у самихъ снѣга и соли. А то обстоятельство, что смѣсь не замерзаетъ снова, несмотря на охлажденіе, объясняется тѣмъ, что получившійся растворъ соли имѣетъ очень низкую точку замерзанія.

Для того чтобы охладительная смѣсь оказывала сильное дѣйствіе, необходимо, чтобы снѣгъ и соль были смѣшаны въ опредѣленномъ отношеніи. Смѣшивая 100 частей снѣга съ 30 частями хлористаго калия или съ 25 частями нашатыря или съ 33 частями поваренной соли, можно получить температуры въ -10°C , -15°C и -21°C . Болѣе сильное охлажденіе (-35°C) можетъ быть достигнуто путемъ обливанія снѣга соляной кислотой.

43. Чѣмъ больше совершенствовался съ теченіемъ времени термометръ, тѣмъ точнѣе опредѣлялись точки плавленія различныхъ тѣлъ. Обнаружилось, что почти всѣ тѣла, подобно льду, переходятъ въ жидкое состояніе при совершенно опредѣленной температурѣ, что всѣ они имѣютъ постоянную точку плавленія.

Въ слѣдующей таблицѣ показаны точки плавленія нѣкоторыхъ тѣлъ:

ртуть	-39°C	цинкъ	$+420^{\circ}\text{C}$
ледъ	0	алюминій	700
сало	$+40$	серебро	1000
стеаринъ	46	мѣдь	1100
воскъ	68	золото	1200
сѣра	115	чугунъ	1200
олово	230	ковкое желѣзо	1600
свинець	330	платина	(свыше) 1600

Нѣкоторыя изъ перечисленныхъ тѣлъ, напримѣръ, воскъ, ковкое желѣзо, равно какъ и стекло, переходятъ изъ твердаго въ жидкое состояніе постепенно, проходя при этомъ чрезъ состояніе вязкой жидкости.

Стекло и ковкое желѣзо въ этомъ состояніи могутъ легко принимать различныя формы, а два куска желѣза могутъ быть сварены (соединены).

Другія тѣла, какъ чугунъ, олово и пр. не проходятъ чрезъ такое промежуточное состояніе. Они переходятъ изъ жидкаго въ твердое состояніе непосредственно. Формовка такихъ тѣлъ возможна путемъ литья. Для устройства формъ для отливки чугунныхъ предметовъ служитъ смѣсь изъ песка и глины (формовочная глина).

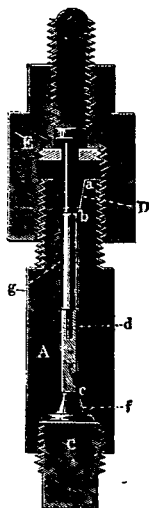
44. Становится ли тѣло предварительно мягкимъ или же оно сразу переходитъ въ жидкое состояніе — безразлично —, и въ томъ и въ другомъ случаѣ оно испытываетъ измѣненіе; разъ достигнута точка плавленія, равновѣсіе нарушено и частицы располагаются инымъ образомъ. Соотвѣтственнымъ образомъ дѣло происходитъ и съ жидкостью при обычныхъ условіяхъ, т. е. при охлажденіи она либо сразу отвердѣваетъ, либо становится предварительно вязкой. Фаренгейтъ, однако, случайно замѣтилъ, что при извѣстныхъ условіяхъ вода можетъ быть охлаждаема далеко ниже 0° , оставаясь при этомъ жидкой. Онъ наполнилъ водою до половины стеклянный шаръ съ припаянной къ нему короткой трубкой; нагрѣвъ воду до кипѣнія, онъ запаялъ конецъ трубки. Этотъ шаръ онъ выставилъ на ночь на холодъ при температурѣ 15°F (около -9.5°C) и утромъ увидѣлъ, что вода несмотря на низкую температуру осталась жидкой. Только тогда, когда онъ отломилъ конецъ трубки, часть воды

замерзла; Фаренгейтъ думалъ, что вода противостоитъ холоду по той причинѣ, что шаръ содержалъ не воздухъ, а лишь водяные пары. Однако, вскорѣ онъ убѣдился въ томъ, что въ соприкосновеніи съ воздухомъ вода тоже можетъ быть переохлаждена, если только она совершенно спокойна. Малѣйшее же движеніе, вообще говоря, вызываетъ въ этомъ случаѣ ея замерзаніе.—Позднѣе было найдено, что вода можетъ быть охлаждена безъ замерзанія даже до -20°C ; другія жидкости, напримѣръ, расплавленная сѣра, также могутъ быть охлаждены ниже точки плавленія, не отвердѣвая при этомъ.

45. Говоря выше о томъ, что точка плавленія тѣла остается постоянной, мы при этомъ подразумѣвали, что плавленіе происходитъ при обыкновенномъ давленіи воздуха. Если же оно происходитъ подъ бѣльшимъ давленіемъ, то точка плавленія измѣняется замѣтнымъ образомъ. Джэмсъ Томсонъ обратилъ вниманіе на этотъ фактъ въ 1849 году, а его братъ, знаменитый физикъ Вильямъ Томсонъ (лордъ Кельвинъ) доказалъ опытомъ, что точка таянія льда понижается при увеличеніи давленія. Онъ нашель, что подъ давленіемъ въ 8 атмосферъ вода замерзаетъ при температурѣ $\frac{1}{20}^{\circ}\text{C}$ ниже нуля, а подъ давленіемъ въ 17 атмосферъ—при температурѣ $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ ниже нуля.

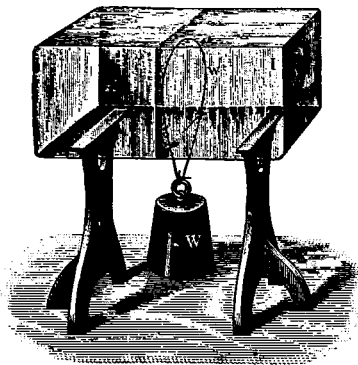
Съ значительно болѣе высокими давленіями экспериментировалъ въ 1858 году Муссонъ въ Женевѣ. Онъ замораживалъ воду въ прочной стальной трубкѣ и за-

Рис. 43



Плавленіе льда подъ давленіемъ.

Рис. 44



Зависимость точки плавленія отъ давленія.

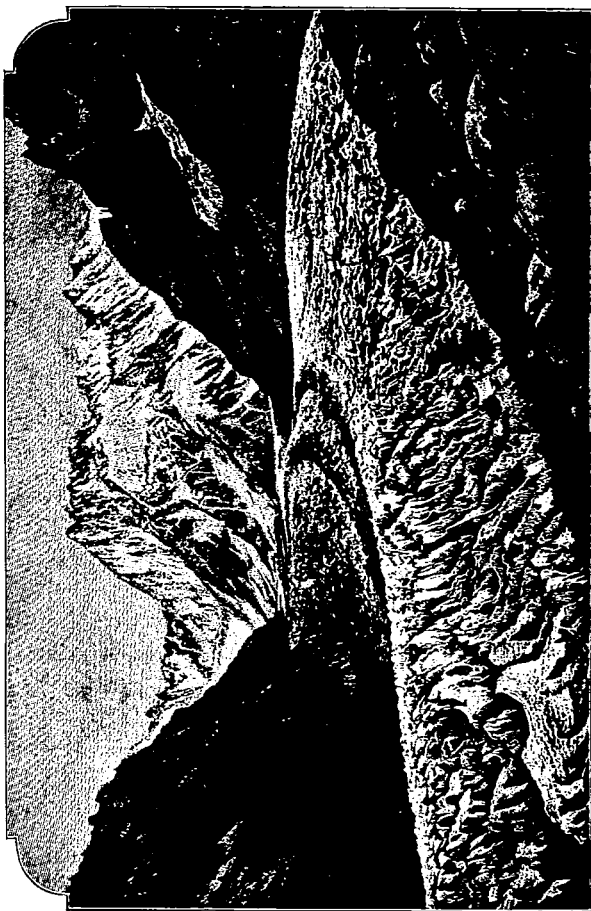
тѣмъ производилъ сильное давленіе (приблизительно въ 13 000 атмосферъ) на ледъ посредствомъ ввинчиванія поршня (рис. 43). Между поршнемъ и льдомъ онъ помѣщалъ металлическій кружокъ; по окончаніи опыта оказывалось, что кружокъ находился на днѣ трубки. Иными словами, подъ

большимъ давленіемъ ледъ обращался въ воду несмотря на то, что трубка оставалась въ охлаждающей смѣси съ температурой -20°C . Такой же опытъ можно выполнить, обернувъ вокругъ глыбы льда проволоку и привѣсивъ къ послѣдней грузъ (рис. 44). Если давленіе подъ проволокой достаточно велико, то ледъ таетъ и про-

волока проходить сквозь него. Несмотря на это льдина не разрѣзается, такъ какъ вода сейчасъ же замерзаетъ, какъ только она оказывается надъ проволокой.

46. Зависимостью точки таянія льда отъ давленія объясняется величественное явленіе природы, именно—образованіе глетчеровъ или ледниковъ, которые въ видѣ ледяныхъ потоковъ спускаются по скалистымъ ущельямъ изъ области вѣчнаго снѣга въ равнину (рис. 45). Чѣмъ больше снѣга накапливается на горахъ, тѣмъ сильнѣе давленіе,

Рис. 45



Ледникъ Mer de glace на Монбланѣ.

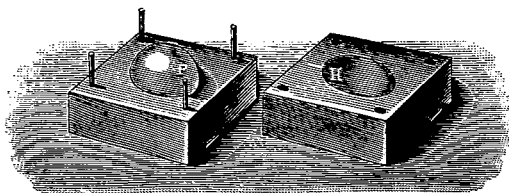
испытываемое нижними слоями. Послѣдніе въ концѣ концовъ подъ вліяніемъ давленія начинаютъ таять, но какъ только давленіе уменьшается, они тотчасъ же снова замерзаютъ. Однако, непрекращающееся давленіе сверху оказываетъ свое дѣйствіе: образовавшійся пластъ льда непрерывно подвигается впередъ, извиваясь при этомъ, подобно потоку, по расщелинамъ скалъ. Со льдомъ, находящимся подъ большимъ давленіемъ, дѣло

обстоять, какъ съ жидкостью: въ узкихъ мѣстахъ своего пути ледяной потокъ становится узкимъ, а въ широкихъ онъ снова расширяется. Дальнѣйшее сходство между водянымъ потокомъ и ледянымъ состоитъ въ томъ, что послѣдній въ серединѣ движется скорѣе, чѣмъ по краямъ. То же самое имѣетъ мѣсто и въ рѣкѣ: въ серединѣ теченіе быстрѣе, чѣмъ у береговъ и у дна, гдѣ скорость замедляется трениемъ о поверхность дна.

Англійскій физикъ Тиндалль (1820—1893) воспользовался „пластичностью“ льда для интереснаго опыта. Въ двухъ четырехугольныхъ деревянныхъ колодкахъ были сдѣланы углубленія въ видѣ полушарій (рис. 46). Наполнивъ ихъ кусками льда и затѣмъ сжавъ колодки при помощи гидравлическаго пресса, изъ кусковъ льда получили правильный шаръ.

Впрочемъ, далеко не у всѣхъ тѣлъ наблюдается пониженіе точки плавленія съ увеличеніемъ давленія. У многихъ тѣлъ имѣетъ мѣсто какъ разъ обратное явленіе.

Рис. 46



Опытъ Тиндалля съ кусками льда.

Повышеніе или пониженіе точки плавленія при увеличеніи давленія зависитъ отъ того, расширяется ли тѣло при плавленіи или сжимается. У тѣхъ тѣлъ, которыя при плавленіи расширяются (воскъ, стеаринъ, сѣра), точка плавленія съ увеличеніемъ давленія новышается, у тѣхъ же тѣлъ, которыя при плавленіи сжимаются (ледь), точка плавленія съ увеличеніемъ давленія понижается.

47. Въ теченіе зимы 1754—1755 года французскій физикъ Делюкъ, о которомъ уже упоминалось, производилъ изслѣдованія надъ таяніемъ льда. Въ чашкѣ надъ огнемъ онъ нагрѣвалъ кусокъ льда съ вмержшимъ въ него термометромъ. Температура льда, который былъ охлажденъ значительно ниже 0°, поднималась до 0°. При этой температурѣ ледъ начиналъ таять, но термометръ болѣе не поднимался до тѣхъ поръ, пока ледъ не таялъ совершенно. Такимъ образомъ, льду сообщалась теплота, а его температура оставалась неизмѣнной.

Делюкъ опубликовалъ свои наблюденія лишь въ 1772 году; тѣмъ временемъ его опередилъ Джозефъ Блэкъ (1757), сдѣлавшій гораздо болѣе обстоятельныя изслѣдованія относительно этого предмета.

Джозефъ Блэкъ родился въ 1728 году въ Бордо, гдѣ его отецъ былъ купцомъ. Родители его были по происхожденію шотландцами. По этой причинѣ, когда для ихъ сына наступила пора посѣщать школу, они отправили его въ Англію. Въ 1746 году онъ поступилъ въ университетъ въ Глазго, гдѣ изучалъ медицину и химію, особенно интересуясь послѣдней. Его учителемъ химіи былъ знаменитый врачъ докторъ Куллень. Въ 1750 году Блэкъ отправился въ Эдинбургъ. Здѣсь онъ получилъ степень доктора благодаря тому именно труду, который

сдѣлалъ его имя широко популярнымъ. Уже въ 1756 году онъ, какъ преемникъ Куллена, сдѣлался профессоромъ химіи въ Глазгоскомъ университетѣ, а позже— въ Единбургскомъ. Блэкъ былъ слабого тѣлосложенія, какъ это ясно видно по его портрету. Умеръ онъ въ возрастѣ 71 года.

Къ числу наиболѣе замѣчательныхъ его работъ принадлежатъ изслѣдованія надъ таяніемъ льда. Прежде всего онъ, подобно Делюку, обращаетъ вниманіе на то, что температура льда во время таянія остается неизмѣнной. Затѣмъ онъ вспоминаетъ

Рис. 47



Джозефъ Блэкъ.

распространенное мнѣніе о томъ, что для плавленія какого-нибудь тѣла, напримѣръ, льда, потребно весьма незначительное количество тепла, разъ достигнута точка плавленія. Самъ Блэкъ былъ другого мнѣнія объ этомъ, что онъ ясно и опредѣленно высказалъ слѣдующимъ образомъ: „Если мы будемъ наблюдать, какъ таетъ снѣгъ или ледъ въ теплой комнатѣ или на воздухѣ во время оттепели, то мы легко замѣтимъ, что ледъ, какъ бы ни была низка его температура, быстро нагрѣвается до точки таянія, послѣ чего начинается таять на поверхности. Еслибы было справедливо общепринятое мнѣніе, что ледъ, нагрѣтый до точки таянія, требуетъ для таянія крайне ничтожное количество тепла, то тогда вся масса льда должна была бы растаять въ нѣсколько минутъ или секундъ, такъ какъ теплота изъ воздуха непрерывно передается льду. Будь это въ дѣйствительности такъ, послѣдствія этого были бы часто

ужасны, такъ какъ и при существующихъ обстоятельствахъ имѣютъ мѣсто большія наводненія и сильныя потоки во время таянія большихъ массъ льда или снѣга“.

48. То обстоятельство, что для плавленія необходимо извѣстное время, находитъ свое объясненіе, по мнѣнію Блэка, въ томъ, что при плавленіи тратится теплота. Количество затраченной теплоты онъ пытался опредѣлить слѣдующимъ образомъ. Въ теплой комнатѣ были поставлены двѣ одинаковыя склянки, изъ коихъ одна была наполнена льдомъ при 0° , а другая водой такого же вѣса и также при 0° . Блэкъ считалъ, что каждая изъ склянокъ получаетъ изъ воздуха одно и то же количество теплоты. Обнаружилось, что вода въ одной бутылочкѣ нагрѣвается до 4° въ теченіе четверти часа, между тѣмъ какъ на плавленіе льда въ другой склянкѣ ушло 20 четвертей часа. Другими словами, количество теплоты, которое необходимо, чтобы растопить 1 фунтъ льда, въ 20 разъ больше того количества тепла, которое нужно для нагрѣванія 1 ф. воды отъ 0° до 4° . А такъ какъ для нагрѣванія 1 ф. воды до 4° требуется, очевидно, вчетверо больше тепла, чѣмъ для нагрѣванія этого же самаго количества воды на 1° , то теплота плавленія для 1 фунта льда будетъ $20 \times 4 = 80$ единицъ тепла, если подъ единицей тепла (калоріей) разумѣть то количество теплоты, которое требуется, чтобы нагрѣть 1 фунтъ воды на 1° С.

„Указанная теплота (теплота плавления)“, говорит Блэкъ, „идеть исключительно на то, чтобы превратить ледъ въ воду, причѣмъ получившаяся вода не будетъ теплѣе, чѣмъ раньше былъ ледъ. Другими словами, тающему льду сообщается известное количество тепла, которое уходитъ на то, чтобы привести его въ жидкое состояніе, не повышая его температуры. Теплота, такимъ образомъ, какъ бы поглощается водой или скрывается въ ней, такъ что не оказывается на термометрѣ никакого дѣйствія“.

Блэкъ опредѣлялъ теплоту плавленія льда еще и другимъ способомъ, который можетъ быть поясненъ слѣдующимъ примѣромъ. Если смѣшать 80 г воды при 22° съ 5 г снѣга при 0°, то снѣгъ таетъ, а температура воды понижается до 16°. Но 80 г воды охладилась на 6°, слѣдовательно, они потеряли $80 \times 6 = 480$ граммкалорій¹⁾. Это тепло ушло на то, чтобы растопить 5 г снѣга и нагрѣть полученные 5 г воды до 16°. Но для того чтобы нагрѣть 5 г воды отъ 0° до 16°, требуется $5 \times 16 = 80$ граммкалорій. Отнимая отъ 480 калорій 80 калорій, мы получимъ лишніе 400 калорій, которыя и пошли на плавленіе 5 г снѣга. Слѣдовательно, для плавленія одного грамма снѣга требуется 80 единицъ тепла.

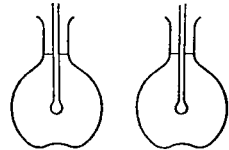
49. Подобныя же изслѣдованія, какія Блэкъ произвелъ надъ таяшемъ, могутъ быть сдѣланы и въ отношеніи замерзанія. Если охладить массу воды до 0°, то она замерзаетъ не сразу, а по прошествіи известнаго времени, когда выдѣлится то количество теплоты, которое было бы необходимо, чтобы расплавить такое же количество льда. Термометръ, вставленный въ замерзающую воду, показываетъ 0° до тѣхъ поръ, пока вся вода не превратится въ ледъ, несмотря на то, что изъ замерзающей воды все время выдѣляется теплота. Что каждая единица вѣса воды дѣйствительно выдѣляетъ при замерзаніи 80 единицъ тепла, Блэкъ показалъ при помощи слѣдующаго опыта надъ переохлажденіемъ съ особымъ термометромъ.

Обыкновенный термометръ заключаютъ въ стеклянную оболочку (рис. 49), которая наполняется водой. Прежде чѣмъ запаять стеклянный футляръ, воздухъ надъ водой въ немъ выгоняется посредствомъ кипяченія. Допустимъ, что въ футлярѣ содержится 8 г воды. Охладивъ эту воду до -10°C , ее путемъ встряхиванія превращаютъ въ ледъ. При этомъ термометръ поднимается до 0° (ср. § 44). Внимательное изслѣдованіе показываетъ, что въ ледъ превратился 1 г воды. Это находится въ соотвѣтствіи съ допущеніемъ Блэка, ибо 8 г воды нагрѣлись бтъ -10° до 0°, для чего потребовалось $8 \times 10 = 80$ единицъ тепла. Съ другой стороны, 1 г воды превратился въ ледъ и при этомъ выдѣлилось 80 единицъ тепла.

50. Опытъ Блэка показываетъ, такимъ образомъ, что при таяніи вѣсовой единицы льда въ водѣ остаются скрытыми или связанными 80 единицъ тепла, равнымъ образомъ при замерзаніи каждой вѣсовой единицы воды выдѣляется или освобождается такое же количество тепла.

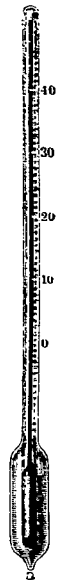
¹⁾ Граммкалоріей называется количество тепла, которое нужно для нагрѣванія 1 г воды на 1°С.

Рис. 48



Опредѣленіе теплоты плавленія по Блэку.

Рис. 49



Приборъ Блэка для опредѣленія выдѣленія тепла при замерзаніи.

Подобнымъ же образомъ дѣло происходитъ при плавленіи и застываніи всякаго иного тѣла. При плавленіи теплота связывается, а при застываніи она освобождается. Теплота плавленія льда весьма значительна въ сравненіи съ теплотой плавленія другихъ тѣлъ, что въ природѣ играетъ очень важную роль. Ранней весной, во время таяшя образовавшагося въ теченіе зимы льда, связывается огромное количество тепла. При наступленіи морозовъ осенью эта теплота снова освобождается. Благодаря этому замедляется переходъ отъ холоднаго времени года къ теплomu и обратно.

51. Одновременно съ Блэкомъ измѣреніемъ теплоты плавленія занимался Юганнъ Карлъ Вильке.

Вильке родился въ 1732 году въ Висмарѣ, гдѣ его отецъ былъ священникомъ, и откуда, въ качествѣ священника тамошней нѣмецкой общины, онъ перевелся въ Стокгольмъ. Сынъ учился сначала въ Упсалѣ, затѣмъ въ Гёттингенѣ и Ростокѣ. Позже Вильке нѣкоторое время провель въ Берлинѣ, но въ 1759 году онъ перѣхалъ въ Стокгольмъ, чтобы здѣсь читать лекціи по физикѣ. Въ 1784 году онъ сдѣлался членомъ, а позже секретаремъ шведской Академіи. Умеръ онъ въ 1796 году. Мы еще встрѣтимся съ Вильке въ другой области физики. Здѣсь же онъ долженъ быть отмѣченъ наряду съ Блэкомъ, такъ какъ эти два выдающихся изслѣдователя, изучавшіе независимо другъ отъ друга теплоту плавленія, разобрались еще въ одномъ весьма важномъ явленіи въ области теплоты.

Уже въ первой половинѣ XVIII столѣтія было извѣстно, что при смѣшеніи двухъ равныхъ количествъ воды при температурѣ соответственно 10° и 20° получается смѣсь съ температурой 15° . Вслѣдъ за этимъ Фаренгейтъ замѣтилъ, что при смѣшеніи одинаковыхъ объемовъ воды и ртути, напимѣръ, воды при 20° и ртути при 10° , температура смѣси будетъ выше средней температуры. Отсюда уже было нетрудно сдѣлать заключеніе, что вода при охлажденіи на 1° выдѣляетъ больше тепла, чѣмъ то, которое нужно, чтобы нагрѣть равный объемъ ртути на 1° , такъ какъ на нагрѣваніе ртути идетъ теплота, выдѣленная водой. Однако, этотъ выводъ изъ опыта Фаренгейта не былъ сдѣланъ. Напротивъ, скорѣе допускали, что въ равныхъ объемахъ различныхъ тѣлъ при одной и той же температурѣ содержится одно и то же количество тепла.

52. Блэкъ далъ слѣдующее объясненіе этому опыту Фаренгейта. „Допустимъ, что вода имѣла температуру въ 100°F , а ртуть въ 150°F . Средняя температура между 100° и 150° составляетъ 125° , и если смѣшать воду при 100°F съ равнымъ объемомъ воды при 150°F , то температура смѣси будетъ 125° . Теплая вода охлаждается на 25° , а холодная вода нагрѣвается на то же число градусовъ. Если же вмѣсто воды при 150° взять ртуть при 150° , то температура смѣси будетъ только 120° . Ртуть охладилась, слѣдовательно, на 30° , а вода нагрѣлась лишь на 20° . И все же количество теплоты, поглощенное водой, въ точности равно тому, которое отдаетъ ртуть. Это доказываетъ, что одно и то же количество теплоты нагрѣваетъ ртуть больше, чѣмъ равный ей объемъ воды. Ртуть требуетъ, слѣдовательно, для своего нагрѣванія на извѣстное число градусовъ меньшее количество теплоты, чѣмъ вода.

Блэкъ выражалъ это свойство ртути, говоря, что ртуть обладаетъ меньшей ёмкостью по отношенію къ теплотѣ, которая тогда еще считалась особымъ видомъ вещества. Эту теплоёмкость или удѣльную теплоту ¹⁾ впоследствии стали отно-

¹⁾ Это названіе было введено Юганномъ Гадолинѣмъ въ Або въ 1784 году.

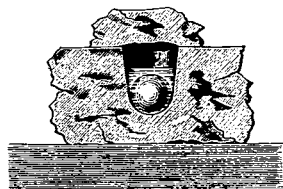
сить не къ равнымъ объемамъ вещества, а къ равнымъ вѣсовымъ количествамъ. Удельная теплота есть число единицъ тепла, необходимое для нагрѣванія вѣсовой единицы тѣла на 1°C . Удельная теплота воды принимается за 1, т. е. для нагрѣванія 1 грамма воды на 1°C требуется одна единица тепла.

53. Блэкъ далъ два метода опредѣленія удѣльной теплоты. Одинъ изъ нихъ заключается въ томъ, что небольшой шарикъ изъ изслѣдуемаго вещества нагрѣваютъ до извѣстной температуры и затѣмъ охлаждають до 0° внутри куска льда (рис. 50). Количество растаявшаго льда опредѣляется такимъ образомъ, что полученная вода всасывается губкой, которая взвѣшивается до и послѣ этого всасыванія. По количеству растаявшаго льда, вѣсу и начальной температурѣ шарика удѣльная теплота опредѣляется слѣдующимъ образомъ.

Примѣръ. Мѣдный шарикъ вѣсомъ въ 8 г нагрѣвается до 100° и затѣмъ охлаждается въ кускъ льда. При помощи взвѣшиванія опредѣляется, что растаялъ 1 г льда. Какова удѣльная теплота мѣди? Отвѣтъ: такъ какъ мѣдный шаръ, охладившійся со 100° до 0° , растопилъ 1 г льда, то онъ отдалъ 80 единицъ тѣпла. При охлажденіи на одинъ градусъ шарикъ, слѣдовательно, отдаетъ 0·8 единицъ тепла. Значитъ, одинъ граммъ мѣди при охлажденіи на одинъ градусъ отдастъ 0·1 единицы тепла, т. е. удѣльная теплота мѣди равна 0·1.

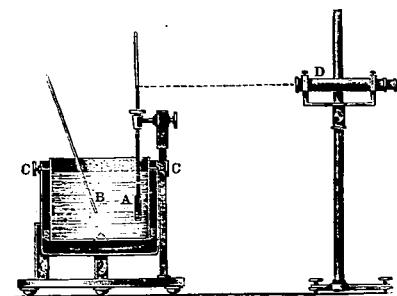
Другой способъ, которымъ пользовался Блэкъ для опредѣленія удѣльной теплоты, заключается въ томъ, что тѣло нагрѣваютъ до опредѣленной температуры и затѣмъ погружаютъ въ опредѣленный объемъ воды извѣстной температуры. Приборы,

Рис. 50



Способъ Блэка опредѣленія удѣльной теплоты.

Рис. 51



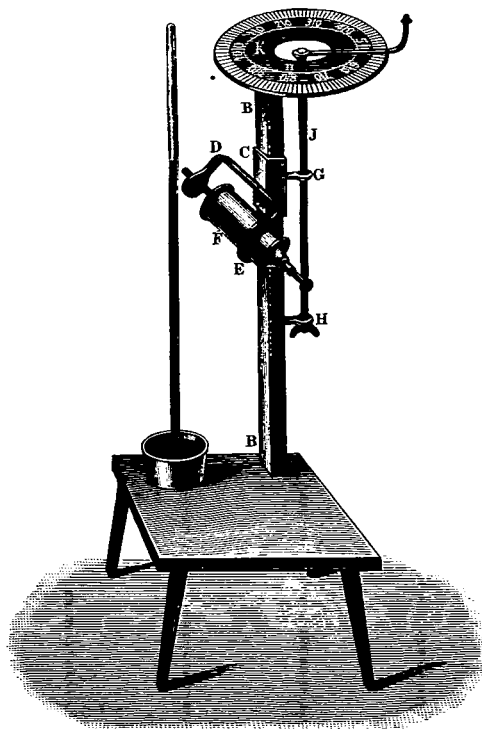
Калориметръ и катетометръ.

служащія для подобнаго рода опытовъ, называемыя калориметрами (т. е. измѣрителями теплоты), были въ послѣдствіи значительно усовершенствованы. Приборъ такого рода, употребляемый въ настоящее время, изображенъ на рис. 51. Металлическій сосудъ, отполированный снаружы, лежитъ на подставкахъ *E*, обложенныхъ пробкой или слоновой костью, и поддерживается двумя установочными винтами *C*, концы которыхъ также покрыты пробкой или слоновой костью. Сосудъ этотъ помѣщается въ другой, отполированный изнутри. Этимъ внутренній сосудъ защищается отъ потери теплоты путемъ лучеиспусканія, такъ какъ тепловые лучи, исходящія отъ внутренняго сосуда, отражаются обратно стѣнками вѣшняго. Отъ потери теплоты путемъ теплопроводности предохраняють сосудъ упомянутыми пробкой или слоновой

костью, такъ какъ эти вещества плохіе проводники тепла. Если опытъ производится быстро и температура воды мало отличается отъ температуры воздуха, то потеря тепла почти незамѣтна. Въ противномъ случаѣ необходимо внести поправку въ наблюденную температуру. Сосудъ содержитъ опредѣленное количество воды, *A* есть чувствительный термометръ, *B* мѣшалка. Раньше, чѣмъ отсчитать температуру, необходимо перемѣшать воду, чтобы быть увѣреннымъ, что температура въ калориметрѣ вездѣ одинакова.

Допустимъ, что въ калориметрѣ заключается 64 г воды комнатной температуры въ 15°С. Чтобы опредѣлить удѣльную теплоту сѣры, нагревають 10 г ея до 48° и затѣмъ бросаютъ въ воду. Температура воды при этомъ повышается на 1°. Вода и сѣра имѣютъ теперь одну и ту же температуру, а именно 16°. Вода получила отъ сѣры 64 единицы тепла, а сѣра отдала это количество теплоты, охладившись съ 48° до 16°, т. е. на 32°. Отсюда слѣдуетъ, что 1 г сѣры, охлаждаясь на 1°, отдаетъ 0·2 единицы тепла, т. е. что удѣльная теплота сѣры равна 0·2.

Рис. 52



Катетометръ Грѣя.

Если желательно получить при этихъ опытахъ очень точные результаты, то слѣдуетъ принять во вниманіе, что нагревается не только вода, но также и самый калориметръ, термометръ и мѣшалка. Чтобы внести поправки въ наблюденную температуру смѣси на потерю теплоты, необходимо въ теченіе всего опыта точно наблюдать за ходомъ измѣненія показаній термометра. Это дѣлается при помощи зрительной трубы, снабженной нерекрестными нитями (I, § 104) и передвигающейся вдоль вертикальной линейки вверхъ и внизъ.

Этотъ приборъ, называемый катетометромъ, играетъ большую роль при многихъ физическихъ измѣреніяхъ, именно, когда требуется опредѣлять съ большой точностью разности высотъ. Изобрѣтателемъ этого прибора является Стефанъ Грѣй (ум. 1736), которому, какъ мы увидимъ ниже, принадлежитъ также важное открытіе въ области ученія объ электричествѣ. Его первый катетометръ, устроенный для наблюденія показаній барометра, изображенъ на рис. 52. Приборъ *EE*, укрѣпленный на обоймѣ *C*. не зрительная труба, а микроскопъ. Перемѣщающіе обоймы вмѣстѣ съ микроскопомъ

измѣреніяхъ, именно, когда требуется опредѣлять съ большой точностью разности высотъ. Изобрѣтателемъ этого прибора является Стефанъ Грѣй (ум. 1736), которому, какъ мы увидимъ ниже, принадлежитъ также важное открытіе въ области ученія объ электричествѣ. Его первый катетометръ, устроенный для наблюденія показаній барометра, изображенъ на рис. 52. Приборъ *EE*, укрѣпленный на обоймѣ *C*. не зрительная труба, а микроскопъ. Перемѣщающіе обоймы вмѣстѣ съ микроскопомъ

производилось вращением винта *ЖЖ*, проходившаго сквозь гайку *G*. Высота хода винта была очень мала, а при помощи рукоятки, которою вращался винтъ, можно было отсчитывать по снабженному дѣлениями кругу небольшія доли оборота.

54. Удѣльную теплоту газообразныхъ тѣлъ можно измѣрить въ калориметрѣ, пропустивъ газъ черезъ змѣевикъ, окруженный водой. Пропустивъ черезъ эту трубку опредѣленное количество газа, наблюдаютъ, на сколько градусовъ поднялась температура воды. Такъ какъ производство этихъ опытовъ требуетъ довольно много времени, то необходимо очень тщательно опредѣлять потерю теплоты. Мы не можемъ здѣсь входить ближе въ подробности этого опыта. А. Реньо (ср. § 84) принадлежатъ особенно большія заслуги въ дѣлѣ опредѣленія удѣльной теплоты.

Въ слѣдующей таблицѣ приведена удѣльная теплота нѣкоторыхъ тѣлъ:

вода	1	платина	0·033
ледъ	0·5	свинецъ	0·031
жельзо	0·114	спиртъ	0·602
мѣдь	0·095	бензолъ	0·386
цинкъ	0·096	воздухъ	0·237
серебро	0·057	кислородъ	0·217
олово	0·055	азотъ	0·244
руть	0·033	водородъ	3·409 ¹⁾

Большая удѣльная теплота воды играетъ въ природѣ роль, сходную съ большой теплотой плавленія льда (§ 50). Лѣтомъ солнце нагреваетъ воду и каждый фунтъ воды, нагреваясь на одинъ градусъ, поглощаетъ единицу тепла. Эта теплота впоследствии опять возвращается холодному воздуху и въ значительной степени замедляетъ его охлажденіе.

П а р ь

55. Повседневный опытъ учить, что вода можетъ превращаться въ „воздухъ“. Влажные предметы на воздухѣ становятся сухими, а вода въ сосудахъ мало по малу исчезаетъ, превращаясь въ „воздухъ“. Древнимъ это явленіе было извѣстно такъ же хорошо, какъ и намъ. Точно такъ же они знали, что при нагреваніи превращеніе воды въ воздухъ идетъ быстро, и если довести нагреваніе до извѣстной степени, то вода начинаетъ кипѣть, т. е. превращеніе происходитъ уже не только безшумно на поверхности, но вся масса начинаетъ бурлить и клокотать, причемъ на днѣ сосуда появляются „пузыри воздуха“, которые проходятъ сквозь воду наверхъ и исчезаютъ въ воздухѣ.

Древніе, безъ сомнѣнія, имѣли крышки на своихъ кастрюляхъ и котлахъ и наблюдали, что „воздухъ“, образующійся при кипѣнн воды, въ состоянн приподымать ихъ съ большой силой.

Такимъ путемъ уже въ давно прошедшія времена узнали, что „воздухъ“, образующійся изъ воды, занимаетъ гораздо большій объемъ, чѣмъ сама вода. Если по-

¹⁾ У газообразныхъ тѣлъ слѣдуетъ различать двоякую удѣльную теплоту: удѣльную теплоту при постоянномъ давленн и удѣльную теплоту при постоянномъ объемѣ. Числа таблицы даютъ первую. Вторая меньше и относится къ первой, какъ 1:1·4.

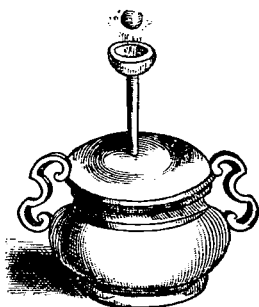
пытаться заключить этот „воздух“ въ небольшой сосудъ, то онъ будетъ производить давленіе на стѣнки сосуда. Уже Аристотель имѣлъ представленіе о томъ, что давленіе „воздуха“ при такихъ условіяхъ можетъ быть очень велико; онъ даже объяснял землетрясенія тѣмъ, что вода внутри земли внезапно превращается въ „воздух“, который съ непреодолимой силой стремится занять большее пространство и вслѣдствіе этого сотрясаетъ землю.

Аристотель, какъ и другіе древніе писатели, не дѣлаетъ различія между обыкновеннымъ воздухомъ и „воздухомъ“, образующимся изъ воды. Однако, ему было извѣстно, что этотъ послѣдній воздухъ на холодѣ снова превращается въ воду. Онъ упоминаетъ о томъ, что роса падаетъ обильнѣе всего въ холодныя ясныя ночи и что вода, полученная путемъ охлажденія „воздуха“, образовавшагося изъ морской воды, не имѣетъ соленого вкуса.

Ради практическихъ цѣлей мы будемъ въ послѣдующемъ называть воду въ газообразномъ состояніи паромъ. Когда паръ снова переходитъ въ воду, то говорятъ, что онъ конденсируется. Древніе народы знали, такимъ образомъ, что паръ при охлажденіи конденсируется.

56. Геронъ воспользовался тѣмъ, что паръ занимаетъ большій объемъ, чѣмъ вода, для устройства различныхъ приборовъ. На рис. 53 изображенъ танцующій шарикъ Герона, который поддерживается въ воздухѣ паромъ, выходящимъ изъ трубки,

Рис. 53



Танцующій шарикъ Герона.

вдѣланной въ крышку, плотно закрывающую металлическій сосудъ. Этотъ сосудъ наполняютъ до половины водой и ставятъ на огонь. Если объемъ сосуда находится въ надлежащемъ отношеніи къ величинѣ трубки, то струя пара въ состояніи поддерживать шарикъ и, ударяя болѣе или менѣе центрально въ шарикъ, заставляетъ его двигаться вверхъ и внизъ.

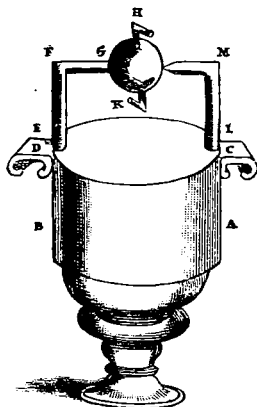
Другой паровой приборъ Герона изображенъ на рис. 54. Въ металлическомъ сосудѣ *AB*, наглухо закрытомъ крышкой, можно нагрѣвать воду до кипѣнія. Паръ стремится черезъ трубку *EFG* въ небольшой шаръ, который противоположной стороной опирается на угольникъ *LM*, такъ что можетъ вращаться вокругъ оси *FGM*. Внутренняя часть шара сообщается съ воздухомъ двумя колѣнчатыми трубками *H* и *K*. Когда вода въ сосудѣ кипитъ, паръ устремляется наружу черезъ трубки *H* и *K* и шаръ приходитъ во вращательное движеніе.

Почему возникаетъ это движеніе и ара, видно изъ прибора, изображеннаго на рис. 55. На плавающей пробковой пластинкѣ стоитъ стеклянный цилиндръ, наполненный водой. *A*—трубка для истеченія воды, снабженная краномъ. Если открытъ этотъ кранъ, то приборъ начинаетъ двигаться въ противоположную сторону. Дѣло въ томъ, что во время истеченія воды изъ трубки уничтожается боковое давленіе на ту часть стѣнки сосуда, въ которую вдѣланъ кранъ. Давленіе на противоположную часть стѣнки *A'* сосуда и приводитъ приборъ въ движеніе (ср. I, § 193). То же явленіе имѣетъ мѣсто при выстрѣлѣ изъ пушки. Послѣ выстрѣла пушка откатывается назадъ, такъ какъ давленіе внутри жерла дѣйствуетъ только назадъ.

Въ приборѣ Герона устраняется давленіе на отверстія колѣнчатыхъ трубокъ. Паровое давленіе въ противоположномъ направленіи приводитъ шаръ въ движеніе.

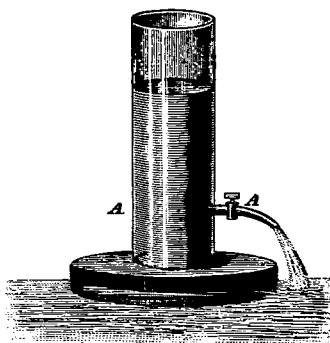
Этотъ приборъ, такъ называемый золипилъ (по-русски „шаръ Эола“), представляетъ собой лишь занимательную игрушку. Едва ли и самъ Геронъ думалъ о томъ, чтобы воспользоваться вращающимся шаромъ въ качествѣ двигателя для машинъ. Если, однако, паровой котель и топка устроены въ такомъ соотвѣтствіи съ отверстиями, что истеченіе пара происходитъ съ большой быстротой, а, значитъ, и съ большою силой, то и шаръ вращается также съ большою силой.

Рис. 54



Золипилъ Герона.

Рис. 55



Уничтоженіе бокового давленія.

Въ настоящее время строятъ паровыя машины, основанныя на принципѣ сходномъ съ принципомъ золипила Герона. Это такъ называемыя паровыя турбины. По устройству онѣ проще обыкновенныхъ паровыхъ машинъ, но пользование ими обходится дороже. Онѣ находятъ себѣ примѣненіе въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется большая скорость вращенія ¹⁾).

Геронъ былъ, слѣдовательно, недалекъ отъ открытія одного изъ наиболѣе употребительныхъ въ настоящее время видовъ паровыхъ машинъ. Но онъ во всякомъ случаѣ не имѣлъ никакого представленія о значеніи своего открытія. Еслибъ онъ думалъ о постройкѣ машинъ, дающихъ движущую силу, то, быть можетъ, онъ попытался бы усовершенствовать свой золипилъ.

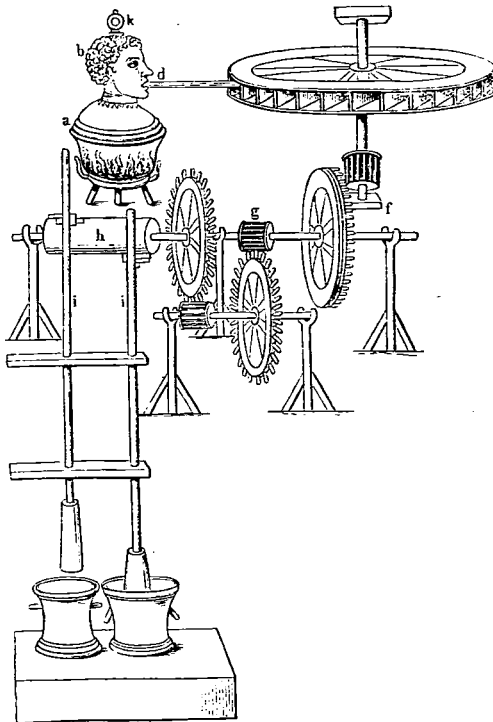
Римскій архитекторъ Витрувій, жившій въ началѣ христіанской эры, въ своей книгѣ „De architectura“ подробно описываетъ паровой шаръ Герона, но не развиваетъ этой идеи дальше. Но изъ сочиненія Витрувія римскіе техники ознакомились съ Герономъ и въ XVI вѣкѣ Чезаре Чезаріано упоминаетъ объ золипилѣ въ комментаріяхъ къ сочиненіямъ Витрувія.

За этотъ долгій промежутокъ времени въ 1500 лѣтъ сохранилось лишь немного свѣдѣній, которыя указывали бы, что свойства водяного пара продолжали привле-

¹⁾ Въ настоящее время паровыя турбины значительно усовершенствованы и уже применяются, напримѣръ, къ движенію самыхъ большихъ военныхъ и торговыхъ судовъ. *Прим. ред.*

какъ къ себѣ вниманіе. Отдѣльныя сообщенія все же указываютъ, что свойство пара производить давленіе не было забыто. Такъ разсказываютъ, что строитель церкви св. Софїи въ Константинополѣ, Антемїй (около 530 г.), желая отомстить своему сосѣду оратору Зенону, съ которымъ онъ былъ во враждѣ, построилъ въ своемъ подвалѣ паровой котель и провелъ изъ него паръ по скрытой трубкѣ въ домъ Зенона. Онъ пустилъ паръ на балки съ такой силой, что его давленіе поколебало весь домъ. Зенонъ приписалъ это землетрясенію и объявилъ, что предпочитаетъ скорѣе покинуть домъ, чѣмъ быть сосѣдомъ челоуѣка, который владѣетъ трезубцемъ Нептуна. — Вѣ-

Рис. 56



Паровая мельница Бранка (1629).

Х вѣкѣ епископъ Гербертъ, впоследствии папа Сильвестръ II, построилъ для церкви въ Реймсѣ органъ, въ который вмѣсто воздуха вдувался паръ. Далѣе, можно упомянуть, что у вендовъ была найдена статуя бога, внутренность которой наполнялась водой и которая извергала изо рта паръ, когда ее ставили на огонь.

Упомянутый выше Чезаре Чезаріано въ 1521 году издалъ комментарий къ сочиненіямъ Витрувія, въ которомъ онъ подробно говоритъ о томъ, что изъ эолипилла, т. е. изъ парового котла съ трубкой въ крышкѣ, паръ вырывается съ большой силой. Изъ его описанія заключили, что эолипиллъ служилъ въ то время военнымъ

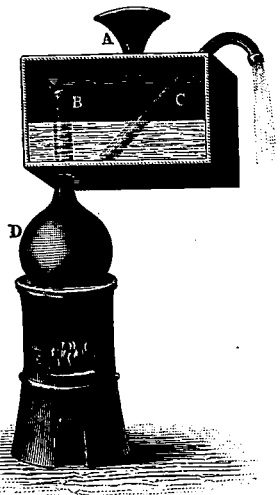
орудіемъ для метанія ядеръ или для пусканія струй воды. Нѣсколько сочиненій XVI и начала XVII вѣка указываютъ на то, что изученіе произведеній Витрувія и Герона вызвало первыя попытки примѣнить истеченіе пара въ качествѣ движущей силы.

57. Такъ, въ 1543 году капитанъ Бласко де Гарай пытался въ Барселонскомъ порту привести въ движеніе корабль при помощи колесъ, которыя двигались силой пара. Какимъ образомъ паръ, получавнійся въ больномъ котлѣ, приводилъ въ движеніе колеса, неизвѣстно. Мало вѣроятно, чтобы Гарай построилъ настоящую паровую машину. Быть можетъ, онъ заставлялъ струю пара дѣйствовать, непосредственно на лопатки колеса. Въ послѣдующее время мы встрѣчаемся съ этимъ способомъ въ такъ называемыхъ паровыхъ мельницахъ, на примѣръ, у итальянскаго инженера Джованни Бранка, издавшаго въ 1629 году книгу о машинахъ, изъ которой заимствованъ рис. 56. Здѣсь *a* паровой котель, крышка котораго имѣетъ форму человѣческой головы, держащей во рту трубку. Черезъ эту трубку паръ устремляется на лопатки колеса и приводитъ его въ движеніе. Какъ видно изъ рисунка, Бранка думалъ, что такая паровая мельница можетъ служить для приведенія въ дѣйствіе толчен. Но этотъ приборъ едвали могъ найти практическое примѣненіе, такъ какъ расходъ пара по сравненію съ произведенной работой здѣсь былъ бы слишкомъ великъ.

58. Еще до появленія книги Бранка, Делла Порта пытался измѣрить объемъ пара, получаемаго изъ опредѣленнаго объема воды. Расположеніе его опыта изображено на рис. 57. Горло бутылкообразнаго металлическаго сосуда *D* плотно вдѣлано въ дно болѣе обширнаго резервуара. При нагрѣваніи воды въ *D* образующійся паръ подымается въ резервуаръ и вытѣсняетъ воду черезъ трубку *C* наружу. Порта принималъ, что вытѣсненный объемъ воды представляетъ собою объемъ пара. Это, однако, невѣрно, такъ какъ паръ отчасти конденсируется, приходя въ соприкосновеніе съ холодной водой. Это измѣреніе объема пара не имѣетъ поэтому никакого значенія, но приборъ можетъ служить для того, чтобы подымать воду давленіемъ пара.

Къ началу XVII вѣка предложены были различныя приборы, которые должны были служить для подъема воды давленіемъ пара. Соломонъ де Ко (1576—1626), много путешествовавшій, въ 1615 году написалъ книгу о „движущихъ силахъ“, въ которой описываетъ приборъ для поднятія воды, изображенный на рис. 58. *A* есть мѣдный полый шаръ, въ который черезъ трубку съ краномъ *D* можно налить воду. Другая трубка, также снабженная краномъ, доходитъ почти до дна шара. Если наполнить шаръ до половины водой и затѣмъ нагрѣть, закрывъ кранъ *D* и, наоборотъ, открывъ *B*, то образующійся паръ давитъ на воду и гонитъ ее черезъ трубку *CA* вверхъ. Если давленіе пара достаточно велико, то вода выбрасывается на значительную высоту.

Рис. 57

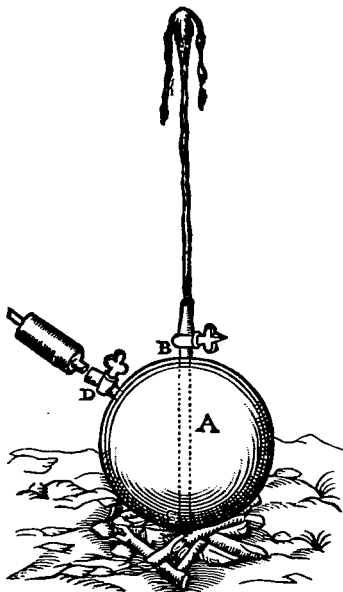


Измѣреніе объема пара по Делла Портѣ.

Книга Соломона де Ко распадается на 2 отдѣла, изъ которыхъ одинъ трактуетъ о „теоремахъ“, а другой о „машинкахъ“. Такъ какъ описанный приборъ упоминается въ первомъ отдѣлѣ, то нужно думать, что авторъ пользовался приборомъ не для дѣйствительнаго поднятія воды, а лишь описывалъ пригодное для этой цѣли приспособленіе.

59. Де Ко состоялъ при англійскомъ дворѣ въ качествѣ инженера, завѣдывавшаго водяными сооружениями въ дворцовомъ саду въ Ричмондѣ. Кромѣ того, онъ

Рис. 58



Поднятіе воды давленіемъ пара.

былъ учителемъ рисованія принцессы Елисаветы. Когда же она обручилась съ курфюрстомъ пфальцскимъ Фридрихомъ V, де Ко послѣдовалъ за ней въ Гейдельбергъ, гдѣ подъ его руководствомъ былъ устроенъ дворцовый садъ. И здѣсь онъ при устройствѣ фонтановъ повидимому не пользовался давленіемъ пара для поднятія воды.

Однако, достовѣрно извѣстно, что 30 лѣтъ спустя послѣ появленія книги де Ко, Эдуардомъ Сомерсетомъ, маркизомъ Вустерскимъ, былъ устроенъ годный для употребленія водяная насосъ, приводимый въ дѣйствіе давленіемъ пара.

Сомерсетъ принадлежалъ къ одному изъ богатѣйшихъ аристократическихъ родовъ. Подобно своему отцу, онъ былъ сторонникомъ Карла I и противникомъ Кромвелля. Они вооружили на собственные средства отрядъ въ 2000 человекъ. Но, какъ извѣстно, королевскія войска были разбиты войсками парламента. Имѣнія маркиза были конфискованы, а самъ онъ долженъ былъ бѣжать за границу. Онъ отправился во Францію, гдѣ провѣлъ нѣсколько лѣтъ. Онъ интересовался механи-

ческими приборами и машинками и во время своего пребыванія во Франціи вѣроятно занимался этими вопросами.

Въ 1656 году Сомерсетъ пріѣхалъ съ тайной политической миссіей въ Англію, гдѣ былъ узнанъ и заключенъ въ тюрьму. Лишь въ 1661 году, послѣ вступленія на престолъ Карла II, онъ получилъ свободу. Но состояніе его, которое онъ принесъ въ жертву монархіи и церковной партіи, не было возвращено ему. Онъ умеръ въ 1667 году въ нуждѣ.

Въ 1663 году Сомерсетъ опубликовалъ небольшое сочиненіе, въ которомъ описывалъ 100 открытій, отчасти сдѣланныхъ имъ самимъ, отчасти усовершенствованныхъ имъ. Онъ не даетъ точныхъ описаній этихъ изобрѣтеній, а приводитъ лишь болѣе или менѣе непонятные намеки и смѣшиваетъ невыполнимые проекты съ дѣйствительно полезными указаніями. Нѣтъ ничего удивительнаго поэтому, что его часто считали шарлатаномъ, желавшимъ обратить на себя вниманіе своими сочиненіями. И

ничего не понимавшимъ въ тѣхъ вещахъ, о которыхъ онъ писалъ. Въ этомъ сочиненіи находится слѣдующее мѣсто по поводу машины для подъема воды:

„Замѣчательный и чрезвычайно дѣйствительный способъ поднимать воду и не путемъ давленія или всасыванія, такъ какъ это, какъ выражаются естествоиспытатели, возможно лишь *intra sphaeram activitatis*, слѣдовательно, въ очень узкихъ предѣлахъ. Способъ, о которомъ здѣсь идетъ рѣчь, не ограниченъ (въ отношеніи высоты, на которую можно поднять воду) ничѣмъ, если только сосуды достаточно прочны. Я взялъ пушку съ обломаннымъ концомъ, наполнилъ ее на три четверти водой, закрылъ жерло и отверстие для зажиганія пороха и все это прочно закрѣпилъ винтами. Я нагрѣвалъ эту пушку непрерывно въ теченіе 24 часовъ и пушка разорвалась съ сильнымъ шумомъ. Я, слѣдовательно, имѣю средство устраивать мои сосуды такимъ образомъ, что они могутъ наполняться и опораживаться при помощи заключающихся въ нихъ самихъ силъ.

„Я видѣлъ, какъ вода била непрерывной струей изъ трубки вверхъ на 40 футовъ, какъ изъ фонтана. Сосудъ (закрытый), наполненный водой, обращенной въ паръ огнемъ, поднималъ холодную воду на 40 футовъ вверхъ, и рабочій, наблюдавшій за машиной, долженъ былъ лишь поворачивать два крана для того, чтобы, когда одинъ резервуаръ оставался пустымъ, другой могъ начинать дѣйствовать, пока первый снова наполнялся водой и т. д. Огонь нужно поддерживать равномернымъ. Но тотъ же работникъ могъ слѣдить за этимъ въ промежуткахъ между поворачиваніемъ обоихъ крановъ“.

Въ двухъ другихъ мѣстахъ книги (§ 98 и 100) также встрѣчается упоминаніе о машинахъ для подъема воды. Въ послѣднемъ параграфѣ, которымъ оканчивается книга, сказано: „При помощи этого замѣчательнаго способа, какой представляютъ два послѣднихъ названныхъ открытія, я послѣ долготной работы устроилъ машину для подъема воды, которая даетъ возможность ребенку поднять невѣроятное количество воды на высоту 100 футовъ, даже по трубкѣ шириной въ 2 фута; и это происходитъ такъ естественно, что машина не слышна даже въ сосѣдней комнатѣ, и такъ легко и просто, что расходы на машину, еслибы она работала въ теченіе нѣлаго года день и ночь, не достигли бы 40 шиллинговъ (около 20 рублей). Я могу безъ преувеличенія назвать эту машину величайшимъ чудомъ въ свѣтѣ.

Я имѣю поэтому право полагать, что это открытіе увѣнчаетъ мои работы и вознаградитъ меня за всѣ мои издержки, такъ что я больше не долженъ буду думать о новыхъ открытіяхъ.

Этимъ моя сотня закончена и я не хочу больше утомлять читателя, такъ какъ я намѣренъ подарить потомству сочиненіе, въ которомъ будетъ объяснено, какъ осуществить упомянутыя открытія, и къ которому будутъ приложены гравюры на мѣди съ рисунками всѣхъ соответствующихъ частей.

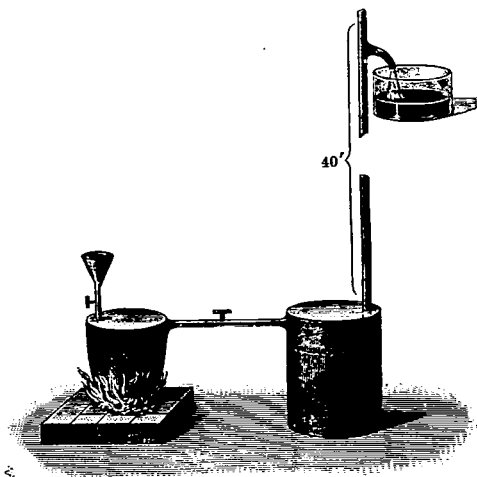
In bonum publicum et ad majorem dei gloriam“.

Къ сожалѣнію, обѣщанное сочиненіе никогда не появилось. Поэтому мы не можемъ опредѣленно сказать, какой видъ имѣла машина Сомерсета. Но по всей вѣроятности она имѣла устройство, сходное съ изображеннымъ на рис. 59.

Дѣйствовала ли эта машина на самомъ дѣлѣ? Многіе отвѣчали на это отрицательно. На Сомерсета долгое время смотрѣли, какъ на фантазера и прожектѣра. Въ бумагахъ, оставшихся послѣ него, однако, было найдено указаніе, что самъ онъ видѣлъ свою машину въ дѣйствіи. Именно, онъ написалъ благодарственную молитву Богу,

которую принесъ, „когда онъ въ первый разъ собственными глазами видѣлъ удавшійся опытъ съ машиной“. Молитва гласила слѣдующее: „О безконечный и всемогущій Богъ, Твое милосердіе не имѣетъ границъ. Твоя мудрость неизмѣрима и неисчерпаема. Благодарю Тебя прежде всего за то, что Ты создалъ меня и оказалъ мнѣ милость. Изъ глубины моего сердца приношу Тебѣ смиренную благодарность за то, что Ты далъ мнѣ проникнуть въ столь великую и столь важную для людей тайну, какъ моя машина для подъема воды. Сохрани меня, о Господи, отъ гордости знашемъ этого и многихъ рѣдкихъ и несравненныхъ открытій, приборовъ и опытовъ, смири мое надменное сердце, показавъ мнѣ мою невѣжественную, слабую и недостойную природу, искушаемую всякимъ зломъ“.

Рис. 59



Вѣроятное устройство водоподъемной машины Сомерсета.

Но и эта бумага не устроила, однако, всѣхъ сомнѣній. Думали, что Сомерсетъ до такой степени сжился съ мыслью, что задача разрѣшена, что онъ заранѣе составилъ молитву, въ которой благодарилъ Бога за рѣшеніе задачи, къ чему онъ такъ страстно стремился.

Но что машина дѣйствительно нашла практическое примѣненіе, было подтверждено еще другимъ образомъ.

Но что машина дѣйствительно нашла практическое примѣненіе, было подтверждено еще другимъ образомъ.

Сынъ великаго герцога тосканскаго Фердинанда II, принцъ Козимо, предпринялъ подъ руководствомъ Магалотти путешествіе въ чужіе края, причемъ все видѣнное въ путешествіи тщательно заносилось въ дневникъ. Путешественники побывали также въ Лондонѣ и видѣли тамъ машину Сомерсета. Въ дневникѣ сказано: „Съ той цѣлью, чтобы Его Высочество (принцъ Козимо) не потерялъ попусту дня, мы посѣтили другую часть города и видѣли тамъ въ одномъ саду вблизи дворца архіепископа Кэнтерберійскаго гидравлическую машину, изобрѣтенную лордомъ Сомерсетомъ, маркизомъ Вустерскимъ. Она подымала воду на высоту 40 футовъ и управлялась однимъ человѣкомъ. Въ очень короткое время она черезъ трубку лишь въ $\frac{1}{4}$ фута въ поперечникѣ наполняетъ водой 4 резервуара. Говорятъ, что она полезнѣе другой машины въ Сомерсетгоузѣ, приводимой въ движеніе двумя лошадьми“.

Машина лорда Сомерсета была, слѣдовательно, доступна всякому, но несмотря на это она не нашла распространенія. Этому содѣйствовали, вѣроятно, различныя причины. Ея изобрѣтатель въ 1663 году получилъ отъ парламента патентъ, который предоставлялъ ему и его наслѣдникамъ исключительное право изготовленія этой машины на 90 лѣтъ и постановлялъ, что за всякую поддѣлку и за недозволенное пользованіе ею въ теченіе часа виновный уплачивалъ штрафъ въ 5 фунтовъ стерлинговъ

(около 50 рублей). Это сдѣлало невозможнымъ всякое улучшеніе этой несовершенной машины. Затѣмъ, устройство подобнаго рода машины вообще сопряжено было въ то время съ затрудненіями. Ученые не интересовались этимъ вопросомъ. Лордъ Сомерсетъ не принадлежалъ къ ихъ кругу и его сочиненіе было слишкомъ поверхностнымъ для того, чтобы обратить на себя вниманіе англійскаго ученаго общества. Послѣ смерти Сомерсета его работы повидимому скорѣ были забыты.

60. Еще до отъѣзды Нантскаго Эдикта протестанты во Франціи подвергались сильнымъ преслѣдованіямъ и не мало выдающихся лицъ покинуло Францію, стремясь найти покой. Къ нимъ принадлежалъ и Дени Папенъ (род. въ 1647 году въ Блуа). Онъ изучалъ въ Парижѣ медицину и физику и по окончаніи курса медицины получилъ ученую степень, но впослѣдствіи всецѣло посвятилъ себя изученію физики. Большое вліяніе на него имѣлъ Гюйгенсъ, жившій въ то время въ Парижѣ (ср. I, § 161). Гюйгенсъ принялъ молодого талантливаго врача къ себѣ въ ассистенты и поручилъ ему произвести рядъ опытовъ съ безвоздушнымъ пространствомъ. Папенъ въ 1674 году издалъ сочиненіе объ этихъ опытахъ, содержащее подробное описаніе воздушнаго насоса, который употреблялся при нихъ (ср. I, § 255). Статья посвящена Гюйгенсу и изъ введенія видно,

что ученикъ и учитель, бывшій старше его, находились въ дружескихъ отношеніяхъ. Папенъ пишетъ: „эти опыты принадлежатъ Вамъ, такъ какъ почти всѣ ихъ я выполнилъ по Вашему побужденію при Вашей помощи. Но такъ какъ я знаю, что эти опыты служатъ Вамъ лишь для удовольствія и что Вы едва ли рѣшились бы ихъ опубликовать, то не боюсь, что Вы отнесетесь неодобрительно, если я сдѣлаю это“.

61. Бойль уже въ 1660 году замѣтилъ, что тепловая вода начинаетъ кипѣть, если ее помѣстить подъ колоколъ воздушнаго насоса и выкачать воздухъ. Папенъ подтвердилъ справедливость этого наблюденія и показалъ путемъ опытовъ, что температура кипѣнія жидкости зависитъ отъ давленія на ея поверхность. Если давленіе уменьшается, то точка кипѣнія понижается и, наоборотъ, при увеличеніи давленія она повышается (ср. термометръ Фаренгейта, § 23).

Эта зависимость точки кипѣнія отъ давленія находитъ важное примѣненіе въ такъ называемомъ Папиновомъ котлѣ, который Папенъ описываетъ въ сочиненіи, появившемся въ 1681 году въ Лондонѣ. За годъ до того Папенъ пріѣхалъ въ Лондонъ, гдѣ былъ дружески принятъ Бойлемъ, введшимъ его въ кругъ членовъ Royal Society.

Паровой котель Папена предназначался первоначально для выварки костей,

Рис. 60

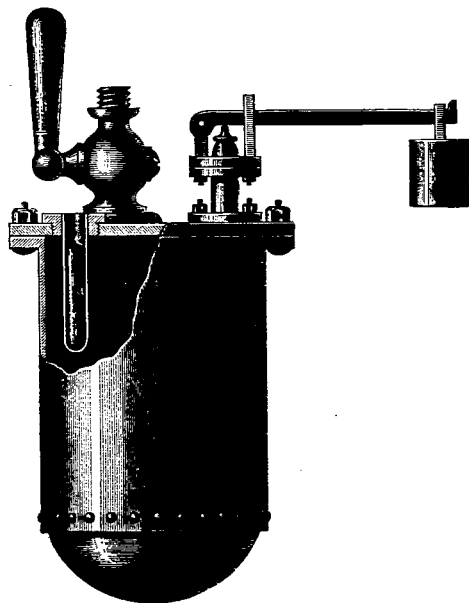


Дени Папенъ.

что требует температуры выше 100°C . Котель этотъ въ существенномъ представляетъ небольшой паровой котель (рис. 61), т. е. металлическій резервуаръ съ герметически завинчивающейся крышкой. На крышкѣ находится важнѣйшая часть всего прибора, предохранительный клапанъ,—короткая трубка, закрытая клапаномъ, на который нажимаетъ рычагъ съ грузомъ. Температура, при которой вода въ котлѣ закипаетъ, зависитъ отъ величины давления на клапанъ, а это давление опредѣляется длиной рычага и величиной груза.

Еслибы, напримѣръ, клапанъ, на который давить паръ, имѣлъ въ поперечномъ сѣченіи 1 квсм, то давление воздуха на него равнялось бы 1 кг. Паръ выходитъ лишь

Рис. 61



Папиновъ котель.

въ томъ случаѣ, если онъ въ свою очередь производить давление въ 1 кг. Это имѣетъ мѣсто при 100° —обычной точкѣ кипѣнія воды. Если же нагрузить рычагъ клапана такъ, чтобы онъ давилъ на клапанъ съ силой въ 2 кг, то паръ будетъ въ состояніи выйти лишь тогда, когда онъ окажетъ на клапанъ давление въ два килограмма. Это имѣетъ мѣсто при 120°C .

Если передвинуть грузъ дальше къ концу рычага, то клапанъ будетъ давить съ еще бѣльшей силой и давление пара должно быть еще сильнѣе, чтобы приподнять его. Поэтому съ помощью предохранительнаго клапана можно регулировать давление пара и тѣмъ предотвратить взрывъ котла. Безъ предохранительнаго клапана паровой котель является очень опаснымъ приборомъ и безъ этого приспособленія онъ не нашелъ бы того широкаго примѣненія, какое имѣетъ.

62. Въ 1680 году Папенъ сталъ членомъ Royal Society, но уже въ слѣдующемъ году онъ оставилъ Лондонъ, чтобы основаться въ Венеціи, гдѣ должна была быть учреждена Академія по образцу Royal Society. Въ 1684 году онъ снова вернулся въ Лондонъ. Во время своего вторичнаго пребыванія здѣсь Папенъ въ качествѣ Curator of Experiments (завѣдывающаго опытами) Королевскаго Общества произвелъ многочисленныя опыты. Въ это же время онъ набросалъ планъ, какъ воспользоваться давлениемъ воздуха въ качествѣ двигательной силы.

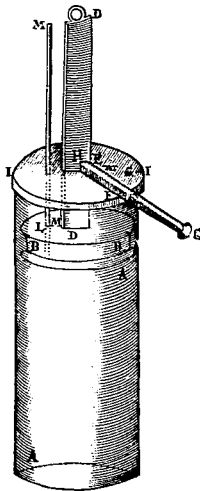
Папенъ хотѣлъ при помощи силы воды выкачивать воздухъ изъ длиннаго цилиндра,—тогда давление воздуха должно было вгонять поршень въ пустой цилиндръ съ большою силой. Онъ представилъ этотъ планъ Royal Society. Это по-

слабнее было, однако, того мнѣшя, что было бы цѣлесообразнѣе воспользоваться силою самой воды непосредственно, чѣмъ черезъ посредство сложнаго механизма съ воздушнымъ насосомъ, поршнемъ и т. д. Папенъ, ожидавшій, что его проектъ встрѣтитъ одобрение и признаше, счелъ за оскорбленіе это отрицательное отношеніе Royal Society. Въ концѣ 1687 году онъ, слѣдуя приглашенію ландграфа Гессенскаго, переселился въ Марбургъ на должность профессора математики.

Здѣсь онъ снова занялся своими планами о воздушной машинѣ. Онъ старался получить пустое пространство подъ поршнемъ цилиндра. Гюйгенсъ предлагалъ взрывать порохъ подъ поршнемъ въ то время, когда онъ находится у самого дна цилиндра. Взрывъ подымалъ бы поршень вверхъ, и такъ какъ газы, получающіеся изъ пороха, могли отчасти уйти, то подъ поршнемъ образовалось бы разрѣженное пространство и давленіе воздуха могло бы дѣйствовать на поршень. Но пороховая машина не могла имѣть практическаго значенія. Передъ каждымъ отдѣльнымъ движеніемъ поршня требовалось вводить новый зарядъ пороха въ цилиндръ, а разрѣженіе воздуха получалось очень незначительное.

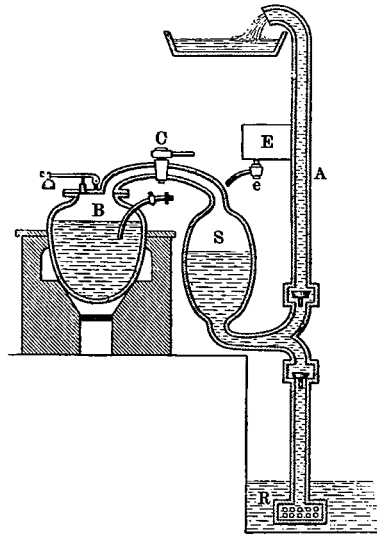
Папенъ замѣнилъ силу пороха давленіемъ пара. Устройство его прибора видно изъ рис. 62. А представляетъ желѣзный цилиндръ, въ которомъ двигался поршень

Рис. 62



Паровая машина Папена.

Рис. 63



Водоподъемная машина Сэвери.

плотно прилегая къ стѣнкамъ. Поршень, въ которомъ имѣлось сквозное отверстіе, прижимался стержнемъ къ дну цилиндра. Небольшое пространство между поршнемъ и дномъ цилиндра наполнялось водою черезъ отверстіе L, которое закрывалось стержнемъ M. Затѣмъ цилиндръ ставили на огонь. Вода обращалась въ паръ и гнала поршень вверхъ. Когда поршень достигалъ высшаго положенія, онъ задерживался крючкомъ C, который при помощи пружинки G заскакивалъ въ выемки стержня D. Когда

крючокъ зацѣплялся, огонь удаляли. Пространство подъ поршнемъ теперь было наполнено паромъ. Затѣмъ цилиндръ охлаждался обливаемъ холодной водой. Какъ только паръ конденсировался, давленіе внутри цилиндра уничтожалось и поршень подъ давленіемъ воздуха въ 1 кг на каждый квадратный сантиметръ вгонялся въ цилиндръ, какъ только удаляли тормазный крючокъ ударомъ по *C*. Папенъ думалъ сдѣлать стержень поршня зубчатымъ, чтобы, зацѣпляя за зубчатое колесо, онъ могъ приводить въ движеніе машину.

Однако, эта машина, дѣйствовавшая воздушнымъ давленіемъ (атмосферная машина), двигалась, какъ легко себѣ представить, крайне медленно. Сначала вода должна была испариться, поршень долженъ былъ подняться и зацѣпиться за тормазный крючокъ. Затѣмъ слѣдовало удалить огонь, охладить цилиндръ и наконецъ снять тормазный крючокъ, чтобы давленіе воздуха могло опустить поршень. Папенъ построилъ центробѣжные мѣха, съ помощью которыхъ онъ въ короткое время могъ разводять подъ цилиндромъ сильный огонь. Этимъ онъ достигъ того, что его машина давала одно движеніе поршня въ минуту.

Другимъ недостаткомъ машины было то, что она потребляла несоразмѣрно большое количество топлива. Поэтому машина не получила практическаго примѣненія. Ландграфъ Гессенскій такъ же, какъ и *Royal Society*, отказались содѣйствовать дальнѣйшему развитію предпріятія и Папенъ долженъ былъ на время оставить свои планы.

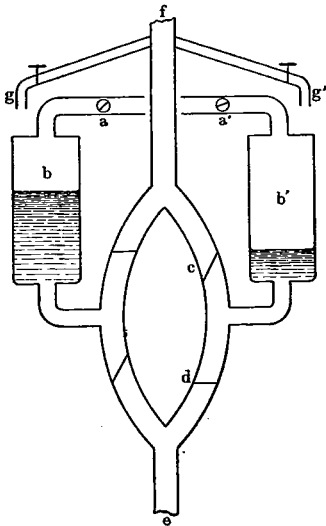
63. Тѣмъ временемъ въ Англій была построена удовлетворительная водо-подъемная машина того же рода, что и машина лорда Сомерсета. Построить ее Томасъ Сэвери, горный инженеръ въ Корнуоллѣ. Въ 1689 году онъ взялъ патентъ на свою машину, которая въ слѣдующемъ году демонстрировалась въ *Royal Society*. *B* (рис. 63) представляетъ паровой котель, соединенный трубкою *C* съ резервуаромъ *S*. Послѣдній въ свою очередь соединяется съ всасывающимъ и нагнетательнымъ насосомъ *A*. Когда машина приводится въ движеніе, кранъ *C* закрыть и резервуаръ *S*, а равно и оба насоса наполнены воздухомъ. Когда въ котлѣ образуется достаточное количество пара, кранъ *C* открываютъ. Паръ устремляется въ резервуаръ *S* и вытѣсняетъ воздухъ черезъ клапанъ нагнетательнаго насоса наружу. Затѣмъ кранъ *C* закрываютъ и резервуаръ *S* обливаютъ холодной водой (изъ *E*). Когда паръ конденсируется, его давленіе въ *S* уничтожается и клапанъ нагнетательнаго насоса закрывается давленіемъ воздуха; въ то же время вода подымается надъ клапаномъ всасывающаго насоса и переходитъ въ резервуаръ *S*. Теперь кранъ *C* снова открываютъ. Давленіе пара открываетъ верхній и закрываетъ нижній клапанъ и вода подымается надъ клапаномъ нагнетательнаго насоса. Тогда снова закрываютъ кранъ *C*, паръ въ *S* конденсируется и т. д. Эта машина нашла примѣненіе въ шахтахъ для выкачиванія воды.

64. Въ 1702 году Сэвери напечаталъ книгу, въ которой описывалъ два существенныхъ усовершенствованія въ своей машинѣ. Одно изъ нихъ состояло въ томъ, что резервуаръ *S* былъ замѣненъ двумя резервуарами *b* и *b'* (рис. 64), соединенными съ одной стороны съ котломъ, а съ другой съ отвѣтвленіями всасывающаго и нагнетательнаго насосовъ *ef*. Въ то время какъ паръ, входящій черезъ кранъ *a'*, вытѣсняетъ воду изъ одного резервуара въ трубку *f*, другой резервуаръ всасываетъ воду черезъ трубку *e* вверхъ. Затѣмъ кранъ для пара *a'* и кранъ для холодной

воды *g* закрываются, а кранъ для пара *a* и кранъ для холодной воды *g'* открываются. Теперь вода въ *b* вытѣсняется въ трубку *f*, а резервуаръ *b'* черезъ *e* всасываетъ воду вверхъ. Этимъ путемъ работоспособность машины была увеличена почти вдвое.

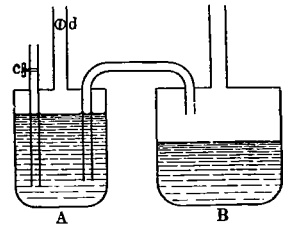
Другое усовершенствованіе заключалось во введеніи питательнаго котла. Такъ какъ вода въ котлѣ расходуется (рис. 63), то машину приходилось время отъ времени останавливать для наполненія котла. Сэвери и соединилъ собственно машинный котель *B* указаннымъ на рис. 65 способомъ съ нѣскольکو меньшимъ котломъ *A*.

Рис. 64



Паровая водоподъемная машина двойного дѣйствія Сэвери.

Рис. 65



Питательный котель Сэвери.

Если въ послѣднемъ довести воду до кипѣнія, то давленіе пара будетъ вытѣснять ее въ котель *B*. Такимъ образомъ машинному котлу вода, и притомъ нагрѣтая, могла доставляться безъ остановки машины.—Соединительная трубка между котлами имѣла кранъ, который запирался при впусканіи воды черезъ *c* въ питательный котель *A*.

Въ этой формѣ машина получила большое распространеніе. Правда, она

расходовала много топлива, такъ какъ большая часть водяного пара при соприкосновеніи съ холодной водой конденсировалась. Но машина была превосходнымъ насосомъ, а большой расходъ топлива не имѣетъ значенія въ угольныхъ копяхъ.

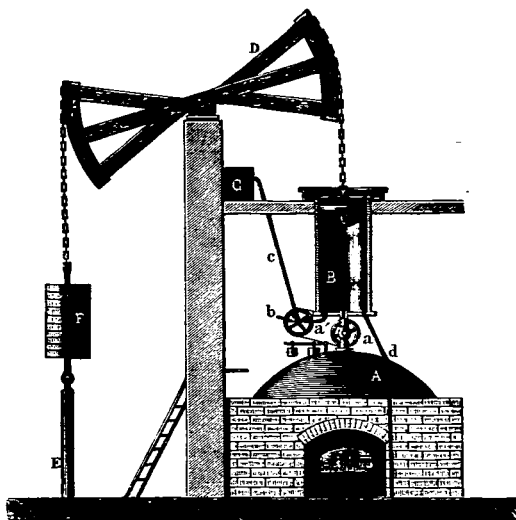
Томасъ Сэвери утверждалъ, что онъ изобрѣлъ свою машину самостоятельно. Онъ рассказываетъ, что случайное наблюденіе навело его на мысль воспользоваться конденсаціей пара для подъема воды. Онъ будто бы нагрѣлъ бутылку отъ вина, въ которой еще сохранилось немного вина, и послѣ того, какъ она наполнилась паромъ, опустил ее горлышкомъ въ холодную воду. Замѣтивъ, что вода вошла въ бутылку, онъ заключилъ, что и въ шахтахъ можно подымать воду при помощи водяного пара. Сэвери подозрѣвали въ томъ, что онъ позаимствовалъ эту идею изъ сочиненій Сомерсета. Но въ подтвержденіе правильности этого предположенія не было приведено никакого доказательства. Во всякомъ случаѣ Сэвери былъ первымъ, кто построилъ годную для работы водоподъемную машину.

65. Независимо отъ Сэвери и, быть можетъ, одновременно съ нимъ торговецъ

жельзомъ Ньюкоменъ и стекольщикъ Каули въ Дартмутъ работали надъ вопросомъ о томъ, какъ воспользоваться водянымъ паромъ въ качествѣ движущей силы. Они спросили совѣта у тогдашняго секретаря Royal Society Роберта Гука. Онъ не совѣтовалъ имъ слѣдовать идеѣ Папена, но прибавилъ, однако, что еслибы они сумѣли быстро получать безвоздушное пространство подъ поршнемъ, то этимъ задача была бы разрѣшена. Удивительно, что Гукъ не былъ лучше знакомъ со свойствомъ пара конденсироваться, такъ сказать, въ одинъ моментъ. Два работника продолжали, однако, свой трудъ и вскорѣ добились того, что могли получить патентъ на свою машину. Такъ какъ въ этомъ патентѣ шла рѣчь о полученіи безвоздушнаго пространства при помощи пара, то Сэвери долженъ былъ получить свою долю въ этомъ дѣлѣ. Въ 1705 году они получили общій патентъ на улучшенную паровую машину, изображенную на рис. 66.

А представляетъ собой вмазанный въ печь паровой котель, соединенный съ цилиндромъ *B* короткой трубкой. Трубка можетъ закрываться краномъ *a*. Поршень

Рис. 66



Атмосферная паровая машина Ньюкомена.

соединяется цѣпью съ однимъ концомъ коромысла *D*. На другомъ концѣ его находится противовѣсъ *F* и къ нему прикрѣплена штанга поршня *E*.

Первоначально на днѣ цилиндра былъ лишь одинъ кранъ и цилиндръ охлаждался обрызгиваемъ снаружи холодной водой (изъ резервуара *G*). Машина дѣйствовала слѣдующимъ образомъ. Когда поршень занималъ самое низкое положеніе, кранъ *a* открывали. Противовѣсъ *F* подымалъ поршень и пространство подъ нимъ наполнялось паромъ. Когда затѣмъ поршень доходилъ до своего высшаго положенія, кранъ *a* закрывали и открывали кранъ для холодной воды. Цилиндръ охлаждался и паръ вслѣдствіе этого конденсировался. Затѣмъ поршень вслѣдствіе давленія воздуха опу-

скался внизъ, а противовѣсъ съ штангой насоса подымался вверхъ. Тогда клапанъ *a* снова открывался, парь устремлялся въ цилиндръ и т. д. Вода, получавшаяся отъ конденсаціи пара, собиралась на днѣ цилиндра и отъ времени до времени выпускалась черезъ упомянутый кранъ.

66. Эта машина основана, слѣдовательно, на томъ же принципѣ, что и машина Папена. Движущей силой является давленіе воздуха, а парь служитъ лишь для образования пустаго пространства подъ поршнемъ. Но эта машина имѣла то большое преимущество передъ машиной Папена, что котель и цилиндръ въ ней были отдѣлены другъ отъ друга и что котель при конденсаціи пара не охлаждался. Передъ машиной Сэвери она имѣла то большое преимущество, что парь приходилъ въ соприкосновеніе не съ холодной водой, а только съ поршнемъ и цилиндромъ.

67. Лишь шесть лѣтъ спустя послѣ выдачи патента, въ 1711 году, первая машина подобнаго рода была примѣнена въ Вульвергамптонѣ. Нѣкоторую трудность представляло устройство поршня, который не пропускалъ бы пара. Ньюкоменъ и Каули старались достигъ этого, покрывая поршень слоемъ воды. Этотъ способъ дѣлать поршень герметическимъ повелъ къ важному открытію. Однажды машина пошла быстрое обыкновеннаго и при ближайшемъ разсмотрѣніи оказалось, что вода просочилась въ цилиндръ, что вызвало мгновенную конденсацію пара, какъ только кранъ для него былъ закрытъ. Это подало поводъ соединить резервуаръ холодной воды съ цилиндромъ при помощи трубки *c*; и вмѣсто того, чтобы охлаждать цилиндръ снаружи, конденсацію пара стали получать, выпуская струю холодной воды черезъ кранъ *b* въ цилиндръ, когда поршень занималъ высшее положеніе. Такимъ образомъ не только ускорился ходъ машины, но и уменьшился расходъ на нее. Цилиндръ теперь охлаждался далеко не такъ сильно, какъ раньше, и вслѣдствіе этого для его прогрѣванія теперь требовалось гораздо меньше пара.

Воду, которую вбрызгивали въ цилиндръ, нужно было, разумѣется, удалять изъ него. Ньюкоменъ и Каули разрѣшили эту задачу очень остроумнымъ, хотя не всегда легко выполнимымъ образомъ. Именно, они провели отъ дна цилиндра трубку *d* въ колодезь, въ которомъ вода находилась на глубинѣ не менѣе 32 футовъ (10 м). Черезъ эту трубку и отводилась вода, образовавшаяся при конденсаціи пара, и такъ какъ трубка дѣйствовала подобно водяному барометру, ибо въ цилиндрѣ было безвоздушное пространство, то вода стояла на одной и той же высотѣ (ср. I, § 234).

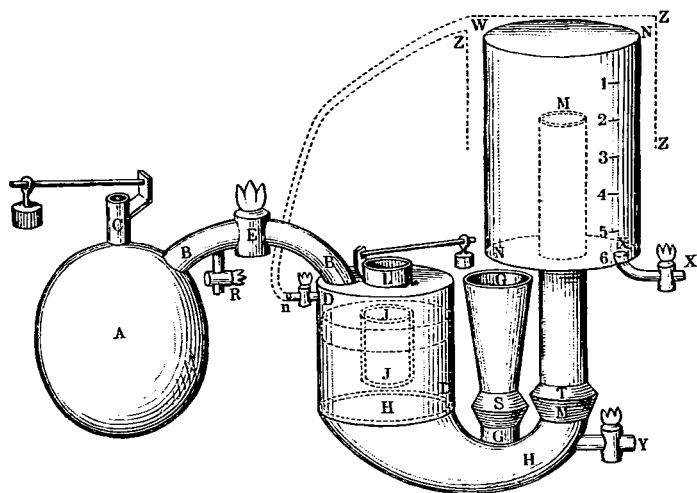
Паровые котлы первыхъ машинъ Ньюкомена и Каули не были снабжены предохранительнымъ клапаномъ Папена, какъ изображено на рисункѣ. Однако, клапанъ этотъ вошелъ во всеобщее употребленіе съ 1718 года.

68. Для хода атмосферной машины весьма важно, чтобы ея краны открывались и закрывались въ надлежащій моментъ. Кранъ для пара нужно открывать какъ разъ въ тотъ моментъ, когда поршень занимаетъ самое низкое положеніе. Точно такъ же кранъ для холодной воды долженъ быть открытъ какъ разъ въ тотъ моментъ, когда поршень занимаетъ наивысшее положеніе. Наблюденіе за кранами должно было бы всецѣло поглощать вниманіе рабочаго. При машинѣ въ Вульвергамптонѣ работа эта исполнялась молодымъ человѣкомъ по имени Гёмфри Поттеромъ. Онъ замѣтилъ, что кранъ слѣдовало поворачивать, когда коромысло занимало опредѣленное положеніе. Соединивъ при помощи бечевокъ краны съ коромысломъ, онъ достигъ того, что они

въ надлежащій моментъ открывались и закрывались сами, благодаря движению коромысла, безъ всякаго участія съ его стороны. Впослѣдствіи бечевки были замѣнены другимъ болѣе прочнымъ приспособленіемъ, осконаннымъ на томъ же принципѣ.

69. Такимъ образомъ, Ньюкоменъ и Каули осуществили первоначальный планъ Папена. Они построили атмосферную машину, снабженную поршнемъ, въ которой паръ быстро конденсировался. Папенъ построилъ между тѣмъ паровую машину, въ которой движущей силой являлось давленіе не воздуха, а пара. Въ 1705 году Папенъ получилъ отъ Лейбница рисунокъ машины Сэвери. По всей вѣроятности, онъ читалъ уже ея описанія, которыя были опубликованы въ различныхъ періодическихъ изданіяхъ въ томъ же 1705 году. Самъ онъ, однако, не говорить, что былъ знакомъ съ машиной Сэвери, но въ 1707 году онъ опубликовалъ сочиненіе о „Новомъ способѣ поднимать воду при помощи огня“, въ которомъ находится рис. 67. А представляетъ

Рис. 67



Папинова машина высокаго давленія.

паровой котель съ предохранительнымъ клапаномъ. Онъ соединенъ трубкой съ цилиндромъ, который въ свою очередь снабженъ предохранительнымъ клапаномъ и въ которомъ движется полый мѣдный поршень безъ стержня. G есть воронка съ клапаномъ, открывающимся книзу. Когда въ воронку наливается вода, она проходитъ въ цилиндръ и подымаетъ поршень вверхъ, если кранъ въ верхней части цилиндра открытъ такъ, что воздухъ можетъ выйти наружу. Когда поршень достигаетъ верхней точки, кранъ для воздуха закрывается и открывается кранъ для пара въ соединительной трубкѣ между котломъ и цилиндромъ. Паръ устремляется въ цилиндръ, давить на поршень и вытѣснить воду въ подъемную трубку M, въ которой находится клапанъ, открывающійся кверху. Затѣмъ доступъ пара прекращается (паръ отсѣкается), кранъ для воздуха открывається, въ воронку снова наливается вода и описанный процессъ повторяется. Папенъ, слѣдовательно, такъ же, какъ и Сэвери, пользовался

давлешемъ пара для подъема воды, но у него паръ не дѣйствуетъ непосредственно на воду. Онъ хорошо зналъ, что холодная вода конденсируетъ много пара, и это надлежало устранить при помощи полаго поршня, въ который вводился нагрѣтый желѣзный болтъ. Папенъ не конденсируетъ также отработавшаго (мятаго) пара, какъ это дѣлаетъ Сэвери, а даетъ ему выйти черезъ кранъ для воздуха, когда поршень подымается. Этимъ мятымъ паромъ онъ хотѣлъ воспользоваться для того, чтобы нагрѣвать воду, прежде чѣмъ вливать ее въ воронку *G*. Его машина дѣйствовала съ большой силой, такъ какъ она работала подъ большимъ давлешемъ пара. Взрыва машины нечего было опасаться въ виду того, что и котель и цилиндръ были снабжены предохранительнымъ клапаномъ.

Какъ видно изъ заглавія упомянутой статьи, машина должна была служить главнымъ образомъ для подъема воды. Папенъ, однако, носился съ планомъ воспользоваться ею, какъ машиной для передвиженія. Поэтому онъ установилъ надъ подъемной трубкой воздушную камеру *WN*, въ которой воздухъ сильно сжимался давлешемъ вводимой въ него воды. Когда затѣмъ кранъ воздушной камеры открывался, вода вытекала изъ него съ большой силой и могла приводить въ движеніе колеса съ лопатками. Папенъ хотѣлъ примѣнить эту машину, чтобы приводить въ движеніе корабли. Еще во время своего перваго пребыванія въ Англіи онъ видѣлъ на Темзѣ колесное судно, которое приводилось въ движеніе лошадиной силой и по своей скорости превосходило всѣ весельныя судна. Теперь колеса должны были приводиться въ движеніе силой пара. Не найдя въ Германіи желаемой поддержки, Папенъ рѣшился (въ 1707 году) снова переселиться въ Лондонъ. Онъ хотѣлъ взять съ собой въ Англію изготовленное въ Касселѣ (на Фульдѣ) судно. Но когда онъ прибылъ съ этимъ судномъ въ Мюнденъ, у него возникла ссора съ тамошними моряками, которые въ плаваніи парового судна по Фульдѣ усмотрѣли нарушеніе своихъ правъ и разрушили судно. Въ Лондонѣ ему также пришлось испытать неудачи. Онъ не встрѣтилъ ожидаемой поддержки со стороны *Royal Society* и вскорѣ впалъ въ нужду. Насколько извѣстно, онъ до самой смерти велъ печальное существованіе. Папенъ умеръ въ Лондонѣ, по всей вѣроятности въ 1712 г.

70. Въ исторіи паровой машины Папенъ долженъ быть отмѣченъ, какъ первый, сдѣлавшій важный шагъ въ дѣлѣ превращенія паровой машины въ общую силовую машину (моторъ), хотя его машина высокаго давленія обладала меньшей работоспособностью, чѣмъ атмосферная машина Ньюкомена и Каули. Послѣдніе взяли свою идею изъ перваго проекта Папена, въ которомъ поршень составлялъ самую существенную часть машины. И въ своей машинѣ высокаго давленія Папенъ пользуется, какъ двигательной силой, давлешемъ пара, дѣйствующимъ на поршень. Этимъ въ общихъ чертахъ и опредѣляется устройство паровой машины. Хотя Папенъ не сумѣлъ преодолѣть многихъ трудностей, представившихся при выполненіи проекта, все же онъ первый установилъ, что употребленіе поршня и примѣненіе давленія пара совмѣстно должны служить основой устройства паровой машины.

Папинова машина высокаго давленія расходовала слишкомъ много пара. Идея полаго поршня, который бы нагрѣвался желѣзнымъ болтомъ, была, очевидно, непрактична, такъ какъ машину приходилось каждый разъ останавливать, чтобы вложить вновь нагрѣтый болтъ въ цилиндръ. Кромѣ того, дѣйствіе нагрѣтаго поршня было

незначительно. При каждом движеніи поршня вода проникала въ цилиндръ и охлаждала его, такъ что входившій иаръ долженъ былъ снова нагрѣвать его.

Впрочемъ, атмосферная машина Ньюкомена и Каули также имѣла свои крупныя недостатки. Научились, правда, герметически пригонять поршень при помощи кожаной и сала, такъ что вода не могла проникать въ цилиндръ и охлаждать его, но конденсація пара подъ поршнемъ путемъ введенія воды влекла за собой большую потерю пара. Главнымъ же недостаткомъ было то, что атмосферная машина не извлекала пользы изъ давленія пара. Для того чтобы машина дѣйствовала съ большой силой, цилиндръ долженъ былъ быть широкимъ. Но чѣмъ шире былъ цилиндръ, тѣмъ больше былъ расходъ пара. Машина нашла примѣненіе въ качествѣ насоса для выкачиванія воды только въ шахтахъ. Лишь послѣ того какъ свойства пара были изслѣдованы точнѣе, паровая машина могла получить важное значеніе для всего развитія культуры, не имѣющаго себѣ равнаго въ прошломъ.

71. Народы древности, какъ уже было упомянуто, не дѣлали никакого различія между воздухомъ и паромъ. Такъ же мало они знали и о существованіи различныхъ газовъ. Но какъ Геронъ и Витрувій, такъ и Соломонъ де Ко при своихъ изслѣдованіяхъ водяного пара несомнѣнно установили, что этотъ послѣдній во многихъ отношеніяхъ отличается отъ обыкновеннаго воздуха. Однако, опредѣленное различіе между воздухомъ и паромъ было проведено лишь въ началѣ XVII вѣка Іоганномъ Баптистомъ ванъ-Гельмонтомъ. Онъ ввелъ слово „газъ“ и обозначилъ имъ воздухообразное тѣло, при охлажденіи не конденсирующееся въ жидкость. Паръ же, говорилъ онъ, представляетъ воздухообразное тѣло, способное существовать только въ теплотѣ и при охлажденіи конденсирующееся.

Сто лѣтъ спустя Галлей пытался дать объясненіе природѣ водяного пара. Онъ думалъ, что паръ состоитъ изъ маленькихъ пустыхъ водяныхъ пузырьковъ, наполненныхъ разрѣженнымъ воздухомъ. Вслѣдствіе этого паръ легче воздуха и подымается вверхъ. Современникъ Галлея, физикъ Дергемъ утверждалъ даже, что онъ видѣлъ такой пузырекъ въ хорошее увеличительное стекло. Вышеупомянутый профессоръ Вольфъ (§ 23) пытался установить, насколько разрѣженъ воздухъ въ пузырькахъ, а Христіанъ Готлибъ Кратценштейнъ (1723—1795) вычислилъ, что пузырьки имѣютъ въ поперечникѣ $\frac{1}{50000}$ дюйма. Еще въ настоящее время въ нѣкоторыхъ учебникахъ можно встрѣтить указаніе, что конденсированныя частицы воды въ облакахъ представляютъ собой подобные, наполненные воздухомъ пузырьки. Но такого рода водяные пузырьки не могутъ существовать. На сильно искривленной поверхности ихъ господствовало бы такое сильное давленіе, что они должны были бы моментально сжаться.

72. Академія наукъ въ Бордо назначила въ 1743 году премію за отвѣтъ на вопросъ, почему водяной паръ подымается вверхъ, и двумъ изъ полученныхъ сочиненій была присуждена эта премія, хотя они объясняли явленіе различнымъ образомъ. Авторъ одного изъ нихъ, упомянутый выше Кратценштейнъ, упорно держался теоріи пузырьковъ, напротивъ того, другой авторъ, Георгъ Гамбергеръ далъ совершенно новое объясненіе. Онъ сравнилъ образованіе пара въ воздухѣ съ растворомъ твердыхъ тѣлъ въ водѣ. Подобно тому какъ соль при соприкосновеніи съ водой растворяется въ ней, вода растворяется въ воздухѣ при соприкосновеніи съ нимъ. Шарль Леруа (1726—1779) развилъ эту теорію раствора дальше и обратилъ

внимание на то, что воздух въ состояніи впитать лишь ограниченный объемъ воды такъ же, какъ и вода растворяетъ только ограниченное количество соли. И подобно тому, какъ соляной растворъ, не растворяющій больше соли, называютъ насыщеннымъ, такъ и онъ говорилъ, что воздухъ, не впитывающій больше воды, насыщенъ водянымъ паромъ.

Если къ насыщенному соляному раствору прибавить соли, то она не растворится, а упадетъ на дно сосуда. Соответствующее явленіе при насыщенномъ воздухѣ заключается въ томъ, что если ввести въ него еще паръ, то онъ осадетъ въ видѣ капель. Горячая вода растворяетъ больше соли, чѣмъ холодная, и Леруа тотчасъ же вывелъ соответствующее положеніе: горячій воздухъ растворяетъ больше воды (можетъ содержать больше паровъ), чѣмъ холодный. Поэтому, если температура воздуха понижается, то нерѣдко часть водяного пара осаждается въ видѣ росы.

Когда воздухъ насыщенъ паромъ, то этотъ паръ самъ называется насыщеннымъ паромъ, такъ какъ при малѣйшемъ пониженіи температуры часть его конденсируется въ воду. Если, наоборотъ, нагрѣтъ насыщенный паръ, то онъ превратится въ такъ называемый ненасыщенный или перегрѣтый паръ, такъ какъ тогда его можно охладить безъ немедленной конденсаціи въ воду. Сначала ненасыщенный паръ превращается въ насыщенный и лишь при дальнѣйшемъ охлажденіи этого послѣдняго происходитъ конденсація его въ воду. Воздухъ всегда содержитъ водяной паръ, но въ очень мѣняющихся количествахъ и, вообще говоря, онъ не насыщенъ. При достаточномъ же охлажденіи воздуха водяной паръ осаждается, т. е. образуется роса, туманъ и облака.

73. Теорія раствора Гамбергера нашла много сторонниковъ. Она была очень проста и наглядно изображала разницу между насыщеннымъ и ненасыщеннымъ паромъ. По этой теоріи легко было также понять, почему вода испаряется гораздо быстрѣе, когда надъ ней проносится струя воздуха, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда воздухъ надъ ея поверхностью находится въ покоѣ. Въ самомъ дѣлѣ, въ послѣднемъ случаѣ воздухъ непосредственно надъ поверхностью воды тотчасъ же насыщается паромъ и испареніе вслѣдствіе этого прекращается. Въ первомъ случаѣ, напротивъ, поверхность воды все время приходитъ въ соприкосновеніе со свѣжимъ воздухомъ, который еще не насыщенъ парами и въ состояніи поэтому вобрать въ себя большее количество паровъ, чѣмъ то, которое въ немъ уже содержится.

Большое затрудненіе для этой теоріи возникло, когда Валлерій Эриксонъ (1709—1785), профессоръ химіи въ Упсальскомъ университетѣ, обратилъ вниманіе на то, что въ безвоздушномъ пространствѣ вода испаряется не только съ такой же легкостью, какъ въ воздухѣ, но даже быстрѣе. Здѣсь, слѣдовательно, не могло быть рѣчи о томъ, что вода растворяется въ воздухѣ. По этому вопросу возникъ продолжительный споръ, которому конецъ былъ положенъ лишь изслѣдованіями Дальтона о давленіи пара (§ 81).

74. Удивительно, что Папенъ, кажется, не изслѣдовалъ ближе кипѣнія, хотя ему и было извѣстно, что точка кипѣнія зависитъ отъ давленія, дѣйствующаго на поверхность воды. Папенъ зналъ, разумѣется, что температура воды во время кипѣнія не измѣняется, но не придавалъ этому явленію особеннаго значенія.

Джозефъ Блэкъ первый изслѣдовалъ это явленіе точнѣе. При нагрѣваніи воды изъ нея прежде всего уходитъ заключающійся въ ней воздухъ. Онъ поднимается

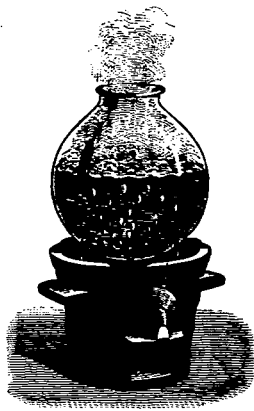
въ видѣ маленькихъ воздушныхъ пузырьковъ сквозь воду вверхъ (рис. 68). Спустя нѣкоторое время на днѣ сосуда образуется паръ. Но первые пузырьки пара не достигаютъ поверхности воды, а сжимаются по дорогѣ (рис. 69), такъ какъ вся масса воды еще недостаточно нагрѣта. Вслѣдствіе этого вода и сосудъ начинаютъ дрожать, что воспринимается нами, какъ звучащій тонъ. Вода „поетъ“. Это происходитъ непосредственно передъ наступленіемъ кипѣнія. Когда „пѣніе“ прекращается, то вода настолько горяча, что паръ въ пузырькахъ уже не конденсируется по дорогѣ, а подымается на поверхность воды. Во время кипѣнія температура не подымается,

Рис. 68



Пузырьки воздуха въ водѣ.

Рис. 69



Кипѣніе воды.

хотя огонь непрерывно отдаетъ тепло водѣ. Это старались объяснить тѣмъ, что паръ образуется только на днѣ сосуда, а остальная вода достигаетъ необходимой для парообразованія температуры, лишь приходя въ соприкосновеніе съ дномъ. Еслибы вся масса воды была нагрѣта до точки кипѣнія одновременно, то малѣйшаго притока теплоты было бы достаточно, чтобы въ одинъ моментъ превратить всю массу воды въ паръ.

Блэкъ зналъ, что явленіе кипѣнія не вполне объясняется этой теоріей. Онъ пишетъ: „Я легко могу показать, что парообразование требуетъ большого количества тепла даже въ томъ случаѣ, когда вода уже нагрѣта до такой температуры, что малѣйшее повышение ея превращаетъ воду въ паръ. Еслибы это было иначе, то вся масса воды взорвалась бы, т. е. превратилась бы въ паръ въ одно мгновеніе, и притомъ съ такой силой, которую можно было бы сравнить съ силой пороха. Но я могу показать, что требуемое большое количество теплоты поглощается паромъ во время его образованія, причѣмъ онъ не нагрѣвается настолько, чтобы это могло быть замѣчено по показанію термометра.“

„Когда котель съ водой ставятъ на огонь, то съ перваго момента и до начала кипѣнія теплота быстро переходитъ черезъ котель въ воду.“

„Допустимъ, что вода нагрѣвается въ теченіе пяти минутъ на 20° Ф. Но было замѣчено, что переходъ тепла отъ одного тѣла къ другому при прочихъ равныхъ“

условіяхъ происходитъ соотвѣтственно разности ихъ температуръ. Такъ какъ температура воды во время кипѣнія не повышается замѣтнымъ образомъ (по сравненію съ температурой пламени), то мы можемъ принять, что въ данномъ случаѣ теплота во время кипѣнія переходитъ въ воду приблизительно въ такомъ же количествѣ, какъ и до кипѣнія. Это допущеніе вполне справедливо, такъ какъ я часто наблюдалъ, что для нагрѣванія воды до 162° Ф требуется 40 минутъ, если за послѣднія пять минутъ до кипѣнія она нагрѣвалась на 20° Ф.

„Еслибы обычный взглядъ (на кипѣніе) былъ правиленъ, то вся масса воды должна была бы превращаться въ паръ въ теченіе нѣсколькихъ минутъ. Получилось бы огромное расширеніе, достаточно сильное для того, чтобы взорвать на воздухъ домъ.

Сколько я помню себя, во мнѣ всегда жило смутное представленіе о томъ, что обычное пониманіе процесса парообразованія несовмѣстимо съ фактами, и я думаю, что это казалось и многимъ другимъ, наблюдавшимъ кипѣніе воды. Но это представленіе не было достаточно ясно, пока я не сдѣлалъ своего опыта надъ таяніемъ льда“ (§ 48).

Блэку было ясно, что опредѣлить расходъ тепла при испареніи гораздо труднѣе, чѣмъ при таяніи. Онъ думалъ, что методъ наблюденія времени не дастъ хорошаго результата. Но когда одинъ винокуръ сообщилъ ему, что онъ достовѣрно знаетъ, сколько жидкости можетъ дать его перегонный аппаратъ въ часъ при полной исправности, то Блэкъ всетаки попытался рѣшить эту задачу такимъ путемъ.

75. Прежде всего онъ убѣдился въ томъ, что если вода доведена до кипѣнія и поставлена на равномерный огонь, то въ равные промежутки времени получается одинаковое количество пара. Затѣмъ онъ опредѣлилъ время, которое было необходимо для того, чтобы извѣстная масса воды, равномерно нагрѣваемая, начала кипѣть, и время, которое требовалось для того, чтобы вода на томъ же пламени совершенно испарилась.

Примѣръ. Для фунта воды при 10° С требуется одна четверть часа, чтобы закипѣть, и шесть четвертей часа отъ начала кипѣнія, чтобы совершенно испариться. Чтобы нагрѣть 1 ф. воды отъ 10° С до точки кипѣнія, требуется 90 единицъ тепла. Въ четверть часа, слѣдовательно, огонь передаетъ водѣ 90 единицъ тепла. Въ теченіе шести четвертей часа, пока продолжалось кипѣніе, вода получила $90 \times 6 = 540$ единицъ тепла. Онѣ пошли исключительно на то, чтобы превратить въ паръ одинъ фунтъ воды.

Блэкъ нашелъ не 540 единицъ, а значительно меньшее число. Что эта теплота идетъ дѣйствительно на превращеніе воды въ паръ, Блэкъ доказалъ простымъ, но остроумнымъ опытомъ. Онъ нагрѣлъ воду въ закрытомъ сосудѣ (Папиновомъ котлѣ) значительно выше 100° С, затѣмъ снялъ сосудъ съ огня и далъ пару выйти. Такъ какъ теперь температура воды была выше 100° С, то согласно прежнему взгляду на процессъ кипѣнія, вся масса воды должна была бы превратиться въ паръ, если только для него было достаточно мѣста. Но этого не случилось. Напротивъ, съ выходомъ пара температура воды упала до 100° С. Образовалось лишь такое количество пара, которое соотвѣтствовало количеству тепла, поглощенному водой на нагрѣваніе выше 100° С. Этотъ прекрасный опытъ хорошо дополняетъ опытъ Блэка съ переохлажденнымъ термометромъ Фаренгейта (§ 49).

Джэмсъ Ваттъ, бывший въ дружескихъ отношеніяхъ съ Блэкомъ, произвелъ описанный опытъ слѣдующимъ образомъ:

Въ открытомъ Папиновомъ котлѣ онъ кипятилъ воду такимъ образомъ, что испареніе понижало уровень воды на одинъ дюймъ въ каждые полчаса. Затѣмъ онъ прекращалъ кипяченіе и прибавлялъ столько воды, сколько ея испарилось; потомъ снова ставилъ котель на огонь, горѣвпій ровнымъ пламенемъ съ прежней силой. Когда кипѣніе начиналось, онъ закрывалъ кранъ, служившій для выхода пара, и оставлялъ котель въ такомъ положеніи въ теченіе получаса. Послѣ этого онъ открывалъ кранъ, выпускалъ паръ въ продолженіе двухъ минутъ и уровень воды снова понижался на одинъ дюймъ.

Такимъ образомъ теплота, поглощенная водой въ теченіе получаса, могла, смотря по обстоятельствамъ, превратиться въ паръ одно и то же количество воды медленно въ теченіе получаса или же быстро въ теченіе двухъ минутъ. Для превращенія въ паръ опредѣленнаго количества воды (при 100°C) всегда необходимо одно и то же количество тепла.

76. Приведенное Блэкомъ доказательство того, что на испареніе расходуется теплота, т. е. что при немъ получается охлажденіе, подтверждалось различными прежними наблюденіями. Такъ Бойль наблюдалъ, что тепловатая вода, которая закипаетъ подъ колоколомъ воздушнаго насоса и вслѣдствіе этого быстро испаряется, въ то же время быстро охлаждается. Учитель Блэка, профессоръ Кулленъ (§ 47), производившій раз-

Рис. 70



Холодъ при испареніи ээира.

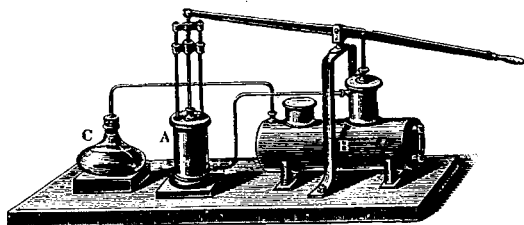
личные опыты надъ тепловыми явленіями, указалъ на то, что летучая жидкость всегда холоднѣе окружающей среды. Онъ наблюдалъ, напримѣръ, что ээиръ подъ колоколомъ воздушнаго насоса испарялся такъ быстро, что его температура падала ниже точки замерзанія воды. И безъ воздушнаго насоса можно заморозить воду путемъ испаренія ээира. Въ тонкостѣнную пробирку наливаютъ немного воды и ставятъ ее въ сосудъ, содержащій ээиръ (рис. 70). Ээиръ заставляють быстро испаряться, вдвывая въ него воздухъ. Каждый воздушный пузырекъ наполняется парами ээира и поэтому охлаждаетъ его, такъ какъ при испареніи расходуется

теплота, которая въ данномъ случаѣ заимствуется изъ самого ээира. Спустя короткое время ээиръ, а вслѣдствіе этого и вода, охлаждается настолько, что послѣдняя замерзаетъ. Вода можетъ замерзнуть и въ силу собственнаго испаренія, если только позаботиться о томъ, чтобы воздухъ и паръ не дѣйствовали на поверхность воды. На этомъ основана машина для приготовленія льда, построенная инженеромъ Э. Карре.

Колба *C* (рис. 71) при помощи изогнутой трубки соединяется съ свинцовымъ цилиндромъ *B*, содержащимъ крѣпкую сѣрную кислоту, которая жадно поглощаетъ водяные пары. Кромѣ того, свинцовый цилиндръ соединяется трубкой съ воздушнымъ насосомъ *A*. Когда насосъ приводится въ дѣйствіе, давленіе воздуха въ сосудѣ съ сѣрной кислотой и въ колбѣ уменьшается и вслѣдствіе этого вода сильно испаряется и охлаждается. Поглощеніе водяного пара сѣрной кислотой ускоряется тѣмъ, что рычагъ воздушнаго насоса приводитъ въ движеніе приспособленіе, которымъ кислота непрерывно перемѣшивается.

77. Блэкъ показалъ также, что въ парѣ дѣйствительно содержится большое количество теплоты, которая ушла на парообразование и которая снова обнаруживается,

Рис. 71



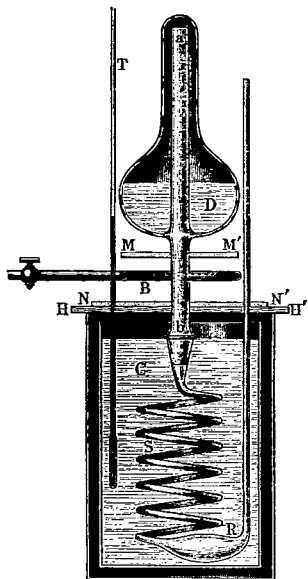
Машина Карре для приготоленія льда.

когда паръ конденсируется въ воду. Онъ указывалъ на то, какъ легко обжечься паромъ. Небольшая струя пара изъ чайника можетъ покрыть руку пузырями ожога даже въ томъ случаѣ, когда пара такъ мало, что въ конденсированномъ состояніи онъ составляетъ едва четверть капли. Тысяча капель кипящей воды не могутъ произвести того же дѣйствія. Чтобы опредѣлить теплоту при конденсаціи, Блэкъ испарялъ фунтъ воды и пропускалъ паръ чрезъ спирально изогнутую трубку, погруженную въ воду. Паръ конденсировался и выдѣлялъ теплоту. Эта теплота равнялась теплотѣ испаренія. Итакъ, паръ при своемъ образованіи связываетъ теплоту, а при конденсаціи выдѣляетъ то же самое количество тепла.

Теплоту при конденсаціи различные физики опредѣляли послѣдствіи при помощи различныхъ методовъ. Приборъ, устроенный для этого Берглю, изображенъ на рис. 72. Колбообразный стеклянный сосудъ *D* сверху закрытъ. Въ дно этого сосуда впаяна открытая съ обоихъ концовъ стеклянная трубка. Нижній конецъ ея прншлифованъ къ спирали *S*. Спираль заканчивается резервуаромъ *R*, къ которому приделана загнутая кверху стеклянная трубка. Спираль *S* и резервуаръ *R* помѣщаются въ калориметръ (ср. § 53), содержащемъ точно взвѣшенное количество воды, температура которой опредѣляется термометромъ *T*. Сосудъ *D* также отчасти наполненъ водой. Вѣсъ этого сосуда и воды опредѣляется до опыта, причемъ также отмѣчается температура. Затѣмъ *D* нагревается пламенемъ горѣлки *B*, покрытымъ сѣткой *MM'*. Вода начинаетъ кипѣть и паръ черезъ трубку *ab* входитъ въ спираль *S*, гдѣ и конденсируется. Вода скопляется въ резервуарѣ *R*. Когда часть воды испарилась и снова конденсировалась, опытъ прекращаютъ и отмѣчаютъ температуру воды въ калориметрѣ. Количество теплоты, освобождающееся при конденсаціи единицы вѣса воды, опредѣляется простымъ вычисленіемъ.

Примѣръ. Калориметръ содержитъ 200 г воды при температурѣ въ 15° С. Перегоняютъ 2·5 г воды и термометръ подымается на $7\cdot65^{\circ}$ С. Такимъ образомъ, 200 г воды въ калориметрѣ поглотили 1530 единицъ тепла, которыя получились вслѣдствіе обращенія въ жидкость 2·5 г пара и отъ охлажденія получившейся воды со 100° до $22\cdot65^{\circ}$, т. е. на $77\cdot35^{\circ}$ С. Охлаждаясь на $77\cdot35^{\circ}$, 2·5 г воды отдаютъ 193·375 единицъ тепла. Такимъ образомъ, теплота, выделяемая при обращеніи въ жидкость 2·5

Рис. 72



Измѣреніе теплоты, выделяемой при обращеніи пара въ жидкость.

граммовъ пара, равна $1530 - 193\cdot375 = 1336\cdot625$ единицамъ тепла. Слѣдовательно, теплота обращенія въ жидкость 1 г пара равна $536\cdot65$ единицамъ. Въ дѣйствительности теплота конденсаціи или „связанная“ (скрытая) теплота водяного пара нѣсколько больше, именно 536. Это число вѣрно только для испаренія при 100° . При болѣе низкихъ температурахъ теплота испаренія больше (при 0° , напримѣръ, 606), а при болѣе высокихъ температурахъ меньше (при 200° , напримѣръ, 464).

Большая величина скрытой теплоты водяного пара дѣлаетъ возможными варку пищи и отопленіе при помощи пара. Сравнительно небольшое количество пара содержитъ большое число единицъ тепла и въ небольшомъ паровомъ котлѣ, въ которомъ давленіе можетъ быть незначительно, можно обращать въ паръ большія массы воды. Для нагрѣванія 536 литровъ воды на 1° требуется только 1 кг пара.

78. Изслѣдованія Бойля о связанной теплотѣ сильно заинтересовали Джэмса Ватта, который независимо отъ Бойля нашель, что для испаренія воды требуется большое количество тепла.

Джэмсъ Ваттъ родился въ 1736 году въ Гриннокѣ, гавани Глазго. Его отецъ принадлежалъ къ числу уважаемыхъ гражданъ города. Онъ былъ кораблестроителемъ, отчасти машиностроителемъ и занимался также торговлей. Долгое время онъ жилъ зажиточно, но вслѣдствіи потерянъ свое состояніе, благодаря неудачнымъ спекуляціямъ. Кромѣ Джэмса въ семьѣ было еще двое дѣтей, мальчикъ и дѣвочка, которые умерли въ дѣтскомъ возрастѣ. Джэмсъ росъ слабымъ ребенкомъ и развивался въ умственномъ отношеніи быстрѣе, чѣмъ въ физическомъ, какъ это нерѣдко бываетъ съ одаренными болѣзненными дѣтьми. Ему часто совѣтовали самому развлекать себя и, такъ какъ онъ былъ живымъ и любознательнымъ мальчикомъ, то рано научился читать сознательно, прислушиваясь къ разговорамъ взрослыхъ и въ особенности научился великому искусству задавать вопросы. Всегда что-нибудь поглощало его вниманіе. Въ особенности это относилось къ механическимъ приборамъ, къ которымъ онъ выказывалъ большой интересъ еще маленькимъ мальчикомъ. Читая описанія машинъ, онъ старался построить ихъ самъ, что ему нерѣдко и удавалось. Читалъ онъ преимущественно описанія природы и естественную исторію. Очень рано въ немъ развилось пониманіе

красоты природы и онъ тратилъ свободное время на прогулки по окрестностямъ. Ему хотѣлось видѣть собственными глазами все, о чемъ онъ читалъ въ книгахъ, а свои впечатлѣнія онъ умѣлъ описывать съ такой живостью, что всѣ слушавшіе его сами ощущали ту радость, которую онъ при этомъ переживалъ.

Такъ какъ Ваттъ не получилъ правильнаго образованія и былъ предоставленъ самому себѣ, то онъ занимался самыми различными вещами: ботаникой, минералогіей и геологіей, медициной, химіей, физикой, исторіей и поэзіей. Повсюду онъ старался основательно разобраться въ предметѣ и предпринималъ тщательныя изслѣдованія, насколько то позволяли его средства. Прочитавъ, напримѣръ, описаніе человѣческаго черепа, онъ досталъ его, чтобы изучить его строеніе путемъ собственного наблюденія.

18 лѣтъ отъ роду онъ рѣшилъ сдѣлаться механикомъ. Въ 1754 году Ваттъ поступилъ въ ученіе къ механику и оптику въ Глазго. Но здѣсь онъ могъ научиться немногому, такъ какъ его работа состояла главнымъ образомъ въ исправленіи очковъ и т. п. Онъ оставался въ Глазго только годъ, а затѣмъ отправился въ Лондонъ. Здѣсь ему было трудно попасть въ какую-нибудь мастерскую. Цеховыя правила требовали семилѣтняго ученія, на что онъ не хотѣлъ согласиться, такъ какъ зналъ, что можетъ научиться этому ремеслу въ гораздо болѣе короткое время. Наконецъ онъ былъ принятъ въ мастерскую Моргана, въ которой работалъ въ теченіе года. Въ одинъ годъ изъ него вышелъ способный, вдумчивый механикъ, которому поручались самыя тонкія работы; онъ ознакомился съ большинствомъ физическихъ и изобрѣтательныхъ приборовъ.

По истеченіи этрго срока Ваттъ, послѣ короткаго пребыванія въ Глазго, хотѣлъ устроиться механикомъ въ Лондонъ, но этому онъ снова помѣшали цеховыя правила. У него не было аттестата объ ученіи, и потому онъ былъ лишень права открыть собственную мастерскую. Несмотря на это, онъ всетаки ее открылъ, такъ какъ былъ назначенъ университетомъ хранителемъ коллекцій и университетскимъ механикомъ.

79. Какъ профессоръ, такъ и студенты скоро замѣтили, что университетскій механикъ не только хорошо понимаетъ свое дѣло, но обладаетъ большими познаніями и въ различныхъ другихъ областяхъ. Энергія, съ какой онъ стремился къ разрѣшенію всякой задачи, за которую брался, возбуждала удивленіе. Онъ не успокаивался до тѣхъ поръ, пока не находилъ рѣшенія, хотя бы оно требовало много работы и хотя бы ему пришлось изучать иностранныя языки, чтобы ознакомиться съ литературой даннаго предмета.

Одной изъ его первыхъ самостоятельныхъ работъ по физикѣ было изслѣдованіе о давленіи или упругости пара при различныхъ температурахъ. Поводомъ къ этой работѣ послужили соображенія о роли пара въ модели машины Ньюкомена, которая находилась въ университетской коллекціи. При этомъ Ваттъ открылъ, что образованіе пара

Рис. 73



Джэмсъ Ваттъ.

связано съ затратой теплоты. Но эти соотношенія были уже мастерски разъяснены Бойлемъ. Зато о связи между давленіемъ пара и температурой почти ничего не было извѣстно. Знали только, что это давленіе увеличивается вмѣстѣ съ температурой. При своихъ изслѣдоваціяхъ Ваттъ пользовался двумя различными методами, смотря по тому, была ли температура пара выше или ниже 100°C . При температурахъ выше 100° онъ измѣрялъ давленіе пара съ помощью Папинова котла. Температура измѣрялась, описаннымъ выше образомъ, а давленіе вычислялось по нагрузкѣ предохранительнаго клапана (§ 61).

При температурахъ ниже 100°C Ваттъ мѣрялъ давленіе пара при помощи ртутнаго барометра. Онъ вводилъ немного воды въ Торричеллеву пустоту и поддерживалъ получавшійся паръ при опредѣленной температурѣ. Давленіе пара измѣрялось непосредственно по пониженію столба ртути.

Рис. 74



Джонъ Дальтонъ.

На результатахъ измѣреній, произведенныхъ Ваттомъ, мы не будемъ долге останавливаться, хотя они были гораздо точнѣе, чѣмъ измѣренія И. Г. Циглера, опубликованныя въ 1769 году въ Винтертурѣ. Мы перейдемъ немедленно къ измѣреніямъ Джона Дальтона и Анри Виктора Реньо.

80. Джонъ Дальтонъ, родившійся въ Игльсфильдѣ (Кѣмберландъ) въ 1766 году, принадлежалъ къ бѣдной квакерской семьѣ. По окончаніи школы въ родномъ городѣ онъ сдѣлался помощникомъ учителя, а затѣмъ перѣхалъ въ Кендалъ къ двоюродному брату, который руководилъ тамъ средней школой. Дальтонъ сдѣлался учителемъ въ этой школѣ, но въ то же время находилъ время продолжать свое образованіе. Онъ особенно интересовался

математикой и физикой. Въ 1785 году онъ самъ сталъ во главѣ школы. Около этого времени онъ началъ публиковать самостоятельныя математическія работы. Каждый день онъ производилъ правильныя метеорологическія наблюденія, которыя потомъ продолжалъ до конца своей жизни. Въ 1793 году онъ сдѣлался учителемъ математики въ „колледжѣ“ въ Манчестерѣ. Когда школа въ 1799 году была переведена въ Йоркѣ, Дальтонъ отказался отъ своего мѣста и остался въ Манчестерѣ, гдѣ до своей смерти (1844) занимался частными уроками. Къ его ученикамъ принадлежалъ впоследствии столь знаменитый Дж. П. Джауль. Дальтонъ жилъ скромно, но и съ ничтожными средствами сдѣлалъ цѣлый рядъ въ высшей степени важныхъ открытій. Сюда относятся его изслѣдованія о давленіи пара, о давленіи смѣси газовъ и прежде всего его химическія работы, которыя привели къ установленію атомистической теоріи. Онъ сдѣлался членомъ Royal Society, Парижской Академіи и многихъ другихъ ученыхъ обществъ. Въ послѣдніе годы своей жизни онъ пользовался пенсіей отъ государства.

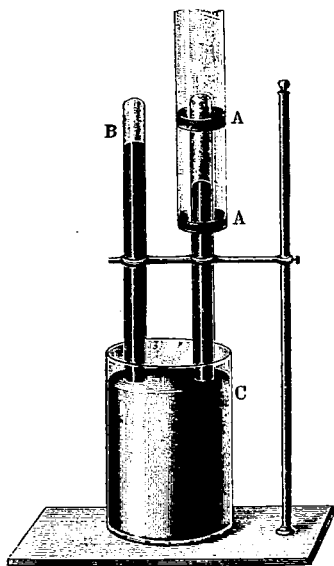
81. Свои наблюденія надъ давленіемъ пара при температурахъ ниже 100°C Дальтонъ, подобно Ватту, производилъ при помощи барометра. Онъ помѣщалъ трубку

барометра въ болѣе широкую, которая при помощи двухъ пробковыхъ кружковъ *АА* (рис. 75) плотно держалась на барометрической. Промежутокъ между трубками наполнялся водою определенной температуры. Затѣмъ при помощи пипетки онъ вводилъ немного воды въ барометрическую трубку. Безвоздушное пространство надъ ртутью наполнялось водянымъ паромъ, который своей упругостью понижалъ столбъ ртути. Дальтонъ замѣтилъ при этомъ, что при насыщеніи паромъ пространства надъ ртутью трубку можно погружать въ сосудъ *С* глубже и пространство, занятое паромъ, можетъ уменьшаться безъ увеличенія давленія.

Напротивъ, часть пара при этомъ переходитъ въ воду. Насыщенный паръ, слѣдовательно, нельзя сжимать подобно воздуху. Малѣйшее уменьшеніе объема влечетъ за собой конденсацію.

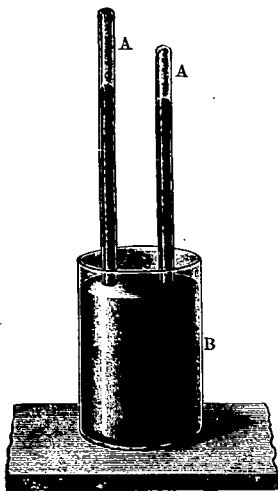
Но совсѣмъ иное происходитъ съ ненасыщеннымъ паромъ. Дальтонъ вводилъ въ Торричеллиеву пустоту (*А*, рис. 76) немного воды, именно столько, чтобы тамъ могло испариться еще нѣкоторое количество воды и чтобы, слѣдовательно, безвоз-

Рис. 75



Давленіе насыщеннаго пара.

Рис. 76



Давленіе насыщеннаго пара.

душное пространство было наполнено ненасыщеннымъ паромъ. Этотъ ненасыщенный паръ производитъ на ртуть извѣстное давленіе, которое, однако, меньше давленія, производимаго насыщеннымъ паромъ при той же температурѣ.

Если теперь погрузить трубку въ ртуть глубже, то объемъ пара сдѣлается меньше, а давленіе больше, но конденсаціи не произойдетъ. При болѣе точномъ изслѣдованіи Дальтонъ нашелъ, что ненасыщенный паръ дѣйствуетъ подобно воздуху, т. е. что его объемъ уменьшается въ томъ же отношеніи, въ какомъ увеличивается давленіе.

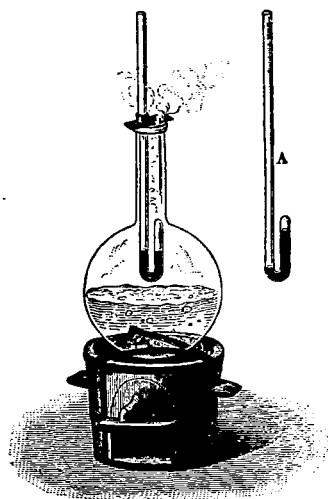
Если погрузить трубку въ ртуть достаточно глубоко, то ненасыщенный паръ переходитъ, наконецъ, въ насыщенный. Съ наступленіемъ этого момента дальнѣйшее уменьшеніе объема не влечетъ за собой увеличенія давления, а только вызываетъ обращеніе части пара въ воду.

Дальтонъ, такимъ образомъ, нашелъ, что водяной паръ является насыщеннымъ, когда онъ производитъ наибольшее давление, возможное при данной температурѣ.

82. Въ одномъ изъ своихъ опытовъ Дальтонъ наполнилъ пространство между барометрической и наружной трубками (рис. 75) кипящей водой. Насыщенный паръ въ безвоздушномъ пространствѣ нагрѣвался такимъ образомъ до 100°C и производимое имъ давление было такъ велико, что ртуть опускалась въ трубкѣ до ея уровня въ сосудѣ С. Отсюда слѣдуетъ, что давление пара при 100°C равно атмосферному давлению, и Дальтонъ вывелъ общее заключеніе, что точкой кипѣнія всякой жидкости является та температура, при которой упругость ея пара равна внѣшнему давленію, дѣйствующему на поверхность жидкости. Этимъ объясняется, почему точка кипѣнія измѣняется съ измѣненіемъ атмосфернаго давления (или давления пара въ котлѣ) и почему теплая вода подь колоколомъ воздушнаго насоса начинаетъ кипѣть, если разрѣдить воздухъ.

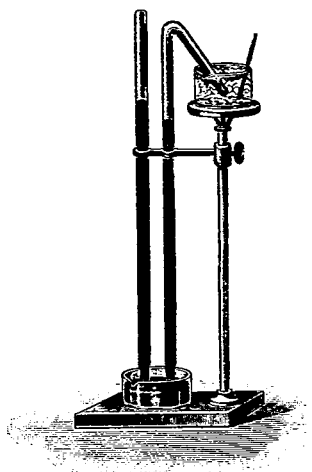
Опытъ съ опредѣленіемъ давления пара при точкѣ кипѣнія можно легко произвести при помощи U-образной трубки, содержащей соотвѣтствующее количество ртути, надъ которой въ короткомъ закрытомъ колѣнѣ находится немного воды (рис. 77).

Рис. 77



Упругость пара при температурѣ точки кипѣнія.

Рис. 78

Упругость пара при температурѣ ниже 0° .

Если вставить эту трубку въ сосудъ съ кипящей водой, то ртуть будетъ стоять въ обоихъ колѣнахъ на одинаковой высотѣ. Отсюда слѣдуетъ, что давление насыщеннаго пара, образующагося въ закрытомъ колѣнѣ, равно атмосферному.

83. Вода испаряется также при температурахъ ниже 0° . Дальтонъ показалъ это, поставивъ рядомъ двѣ барометрическія трубки, изъ которыхъ одна была такъ устроена, что ея безвоздушное пространство могло быть окружено охлаждающей смѣсью. Въ эту послѣднюю трубку вводилась вода, которая наполняла пространство надъ ртутью паромъ. Этотъ паръ производилъ на ртуть давленіе въ соотвѣтствіи съ его температурой. Давленіе, правда, не было велико, но ясно замѣтно даже при очень сильномъ охлажденіи.

Что ледъ испаряется и при температурахъ ниже 0° , легко видѣть изъ того, что мокрое бѣлье легко высыхаетъ даже на морозѣ, а также изъ того, что гладкая поверхность льда, на которой проводятъ (не глубокиа) царапины, черезъ нѣкоторое время снова становится гладкой, какъ зеркало.

84. Давленіе пара при температурахъ выше 100° С было очень точно измѣрено упомянутымъ выше физикомъ Реньо.

Анри Викторъ Реньо родился въ Аахенѣ въ 1810 году. Онъ получилъ естественнонаучное образованіе въ Политехнической школѣ въ Парижѣ. До 1840

года онъ занимался преимущественно химіей, а затѣмъ главнымъ образомъ физическими измѣреніями. Реньо былъ гешіальный изслѣдователь, который умѣлъ такъ устроить свои приборы и такъ ставить свои опыты, что неизбѣжныя ошибки дѣлались почти незамѣтными. Въ исторіи естественныхъ наукъ онъ занимаетъ мѣсто въ первомъ ряду, какъ несравненный экспериментаторъ; главнымъ образомъ его работы способствовали тому, что законы, казавшіеся вѣрными при обыкновенныхъ условіяхъ температуры, давленія и т. д., перестали разсматриваться какъ абсолютно истинныя законы природы (ср. I, § 259). Кромѣ его измѣренія давленія пара слѣдуетъ упомянуть его опредѣленія удѣльнаго вѣса газовъ, расширенія газовъ и жидкостей отъ теплоты, скрытой теплоты водяного пара, влажности воздуха, сжимаемости газовъ и жидкостей и скорости звука.

Еще и до настоящаго времени нѣкоторые результаты, полученные Реньо въ различныхъ областяхъ, являются лучшими, какіе имѣются. Важнѣйшія работы его появились между 1847 и 1862 годами.

Реньо былъ преподавателемъ химіи и физики въ различныхъ учрежденіяхъ, послѣднимъ изъ которыхъ былъ Collège de France. Въ горномъ вѣдомствѣ онъ также занималъ долгое время важную должность. Съ 1854 года онъ былъ директоромъ Фарфоровой фабрики въ Севрѣ. Онъ умеръ въ 1878 году въ Отейлѣ.

85. Для измѣренія упругости пара при температурахъ выше 100° С Реньо

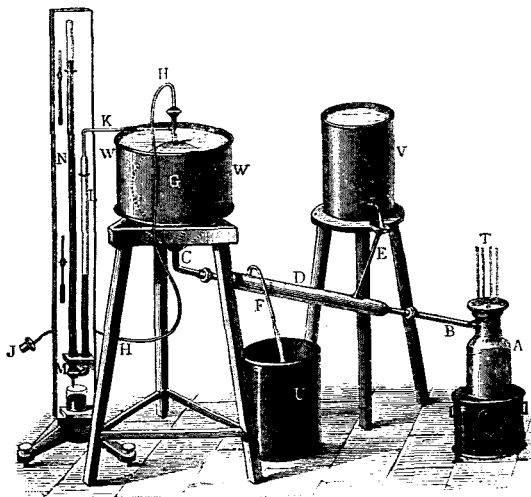
Рис. 79



Анри Реньо.

воспользовался тѣмъ обстоятельствомъ, что температура жидкости повышается, пока жидкость не начинаетъ кипѣть. Съ этого момента температура не мѣняется во все время кипѣнія. Приборъ, которымъ Реньо пользовался при своихъ изслѣдованіяхъ, изображенъ на рис. 80. Маленькій паровой котель *A* герметически закрытъ. Въ его крышку вставлены четыре трубки, закрытыя на нижнемъ концѣ; двѣ изъ нихъ доходятъ почти до дна, а двѣ до середины котла. Въ каждой изъ этихъ трубокъ, которая наполнена ртутью, находится термометръ. Котель соединенъ трубкой *B* съ шаромъ *G*, находящимся въ сосудѣ съ водой. Шаръ *G* сообщается съ открытымъ ма-

Рис. 80



Измѣреніе упругости шара при температурахъ выше 100° C.

нометромъ *N* и съ воздушнымъ насосомъ; съ послѣднимъ, который не изображенъ на рисункѣ, онъ соединяется посредствомъ трубки *HJ*. Этимъ насосомъ воздухъ накачивается въ шаръ. Давленіе воздуха на поверхность воды и на ртуть въ манометрѣ одинаково и величина этого давленія отсчитывается по манометру. Когда въ котлѣ образуется паръ, то онъ постепенно повышаетъ давленіе. Но это устраняется тѣмъ, что паръ конденсируется въ трубкѣ *B*, окруженной холодильникомъ *D*. Благодаря конденсаціи пара давленіе на поверхность воды не повышается. При помощи четырехъ термометровъ, изъ которыхъ два указываютъ температуру воды, а два — температуру пара, можно слѣдить за измѣненіями температуры въ котлѣ. Сначала температура въ котлѣ повышается. Какъ только вода закипаетъ, т. е. какъ только упругость пара становится равной давленію атмосферы на поверхность воды, всѣ четыре термометра продолжительное время показываютъ одну и ту же температуру. Вода въ котлѣ можетъ продолжать кипѣть безъ повышенія температуры. Образующійся въ котлѣ паръ снова конденсируется въ охлаждаемой трубкѣ.

При помощи такого опыта можно, слѣдовательно, узнать, какъ велика упругость насыщеннаго пара при указываемой термометрами температурѣ. Именно, эта упру-

гость пара такъ же велика, какъ и давленіе воздуха на поверхность воды, которое отсчитывается по манометру.

Такимъ же путемъ можно опредѣлить упругость пара другихъ жидкостей.

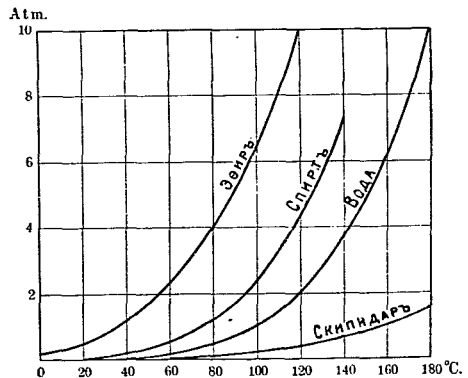
Въ слѣдующей таблицѣ указана упругость водяного пара, паровъ виннаго спирта и ээира для различныхъ температуръ въ миллиметрахъ ртутнаго столба (I, § 234):

Температура (С).	Водяной парь.	Парь спирта.	Парь ээира.
20°	—	3·2	68·9
0°	4·6	13·0	184·0
+ 20°	17·4	44·0	433·0
+ 40°	54·0	134·0	907·6
+ 60°	148·9	350·0	1725·0
+ 80°	354·9	813·0	3023·0
+ 100°	760·0	1698·0	4953·0
+ 120°	1 491·3	3 232·0	7719·0
+ 140°	2717·6	5675·0	—
+ 160°	4651·6	—	—
+ 180°	7446·4	—	—
+ 200°	11689·0	—	—

Упругость пара увеличивается, слѣдовательно, гораздо быстрѣе, чѣмъ температура. На рис. 81 изображено графически увеличеніе упругости съ повышеіемъ температуры для водяного пара, паровъ спирта, ээира и терпентиннаго масла. На горизонталяхъ нанесена температура, а на вертикаляхъ соотвѣтствующее давленіе пара въ атмосферахъ (I, § 243). Пары ээира давятъ съ силой шести атмосферъ при 95°, пары виннаго спирта при 131° и пары воды при 159°.

86. Благодаря опытамъ Дальтона старая теорія, по которой парь считался растворомъ воды въ воздухѣ, должна была быть отвергнута. Именно, Дальтонъ нашель, что парь въ воздухѣ имѣеть ту же плотность, что и въ безвоздушномъ пространствѣ. Воздухъ не играетъ никакой существенной роли при образованіи пара. Насыщенный парь при опредѣленной температурѣ имѣеть одно и то же давленіе независимо отъ того, находится ли онъ въ воздухѣ или въ безвоздушномъ пространствѣ. Но въ безвоздушномъ пространствѣ парообразование происходитъ быстрѣе, чѣмъ въ воздухѣ. Частицы пара и воздуха могутъ, какъ оказывается, содержаться въ одномъ и томъ же пространствѣ, не вліяя другъ на друга. Теорія раствора поэтому должна быть, очевидно, оставлена. Количество пара, заключающееся въ опредѣленномъ объ-

Рис. 81



Кривыя упругости паровъ.

емѣ, зависитъ только отъ температуры, но не отъ присутствія воздуха. Давленіе смѣси воздуха и пара, какъ нашель Дальтонъ, равно суммѣ давленій воздуха и пара.

То же относится, какъ показалъ Дальтонъ, къ давленію смѣси различныхъ газовъ. Если взять равные объемы различныхъ газовъ при неодинаковомъ давленіи и помѣстить ихъ въ одномъ объемѣ, равномъ по величинѣ объему каждаго отдѣльнаго газа, то давленіе смѣси будетъ равно суммѣ давленій отдѣльныхъ газовъ. Этотъ законъ не абсолютно вѣренъ, ибо тогда оказался бы абсолютно точнымъ и законъ Бойля, чего въ дѣйствительности нѣтъ. Если представить себѣ сосудъ, содержащій опредѣленный газъ и сообщающійся съ другимъ сосудомъ такой же ёмкости, въ которомъ заключенъ другой газъ той же упругости, что и первый, то послѣ смѣшенія каждый изъ газовъ занимаетъ двойной объемъ; и еслибы законъ Дальтона былъ вѣренъ, то и законъ Бойля долженъ былъ бы быть абсолютно вѣрнымъ, т. е. каждый изъ двухъ газовъ обладалъ бы упругостью, равной половинѣ первоначальной.

87. Джэмсъ Ваттъ подробно изслѣдовалъ свойства водяного пара. Онъ изслѣдовалъ, какъ уже упомянуто, поглощеніе тепла при испареніи, а также зависимость упругости пара отъ температуры. Болѣе точно эти измѣренія были произведены, какъ мы видѣли, позднѣйшими изслѣдователями. Но Ваттъ стремился также установить законы конденсаціи пара. Для него было ясно, что машина Ньюкомена расходовала слишкомъ много пара и что это обусловливалось именно введеніемъ холодной воды въ цилиндръ при каждомъ движеніи поршня. Когда затѣмъ паръ снова входилъ въ цилиндръ, онъ долженъ былъ снова прогрѣвать его; такимъ образомъ на это уходило значительное количество пара. Ватту было, разумѣется, ясно, что паръ подъ поршнемъ долженъ быстро конденсироваться, такъ какъ иначе ходъ машины былъ бы слишкомъ медленнымъ. Онъ старался поэтому достигъ быстрой конденсаціи пара безъ охлажденія цилиндра. Сначала онъ замѣнилъ желѣзный цилиндръ деревяннымъ, температура котораго мѣняется не такъ быстро. Но деревянный цилиндръ мѣнялъ свою форму и поэтому поршень не герметически закрывалъ пространство для пара. Ваттъ поэтому снова вернулся къ желѣзному цилиндру и соединилъ его трубкой съ особымъ резервуаромъ. Чтобы выпускать паръ изъ цилиндра, въ соединительной трубкѣ открывался кранъ, такъ что паръ распредѣлялся между цилиндромъ и резервуаромъ. И если въ резервуарѣ находилась холодная вода, то почти весь паръ, заключавшійся въ цилиндрѣ, конденсировался въ воду.

Ваттъ нашель, что давленіе (а, слѣдовательно, и количество) пара опредѣляется только самой низкой температурой, господствующей гдѣ-либо въ пространствѣ, занятомъ паромъ. Такимъ образомъ, если нагрѣтый и наполненный паромъ цилиндръ соединить съ холоднымъ резервуаромъ, то упругость пара въ цилиндрѣ мгновенно пріобрѣтаетъ ту величину, которая соотвѣтствуетъ температурѣ холоднаго резервуара. Ваттъ показалъ это, наполнивъ паромъ сосудъ, соединенный съ закрытой жестяной трубкой, и опустивъ эту трубку въ холодную воду. Паръ конденсировался такъ совершенно, что давленіе воздуха сплюснуло жестяную трубку.

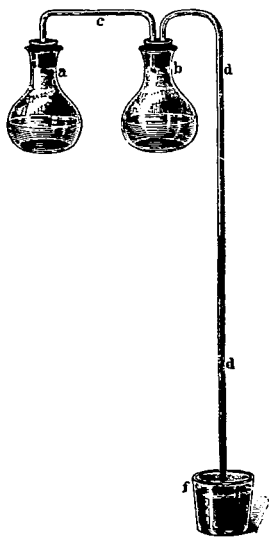
Это дѣйствіе, вызываемое охлажденіемъ, наблюдается очень ясно на приборѣ, представленномъ на рис. 82, устройство котораго ясно изъ самого рисунка. Двѣ колбы содержатъ жидкость, напимѣръ, эвиръ, который удобенъ для этого опыта благодаря своей низкой температурѣ кипѣнія. Эвиръ сначала нагрѣвается до кипѣ-

ція погруженіемъ колбъ въ горячую воду. Когда воздухъ выгнанъ, трубка *A* опускается въ сосудъ съ ртутью. Когда колба охлаждается, то ртуть подымается въ трубкѣ.

Опустимъ теперь колбу *a* въ холодную воду; послѣ того какъ ртуть въ трубкѣ *d* установится на высотѣ, соотвѣтствующей давленію, эвиръ въ колбѣ *b* доводится до кипѣнія погруженіемъ въ горячую воду. Несмотря на образованіе пара, давленіе въ пространствѣ, наполненномъ имъ, не измѣняется. Образующійся въ *b* паръ конденсируется въ *a* и высота ртутнаго столба остается неизмѣненной.

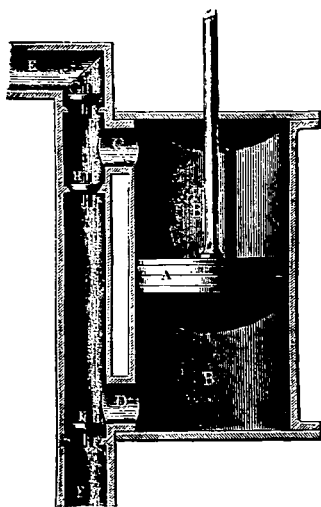
88. Ваттъ назвалъ холодный резервуаръ конденсаторомъ (по-русски часто холодильникъ). Съ его помощью онъ могъ удалять паръ изъ цилиндра, не охлаждая послѣдняго. Низкая температура въ холодильникъ поддерживалась тѣмъ, что въ него безпрестанно накачивалась холодная вода насосомъ, который приводился въ движеніе самой машиной. Другой насосъ—для теплой воды—выкачивалъ воду изъ холодиль-

Рис. 82



Конденсаторъ.

Рис. 83



Движеніе поршня давленіемъ пара.

ника. Насосъ этотъ называютъ также воздушнымъ насосомъ, такъ какъ онъ удаляетъ изъ холодильника, кромѣ воды, также и воздухъ, постоянно проходящій въ холодильникъ вмѣстѣ съ холодной водой и паромъ. Третій насосъ накачивалъ теплую воду въ котель, чѣмъ достигалась значительная экономія топлива.

Дѣйствіе этой усовершенствованной атмосферной машины Ньюкомена, какъ ее назвалъ Ваттъ, слѣдующее. Когда поршень занимаетъ нисшее положеніе, сообщеніе съ холодильникомъ прерывается и паръ впускается въ цилиндръ. Поршень подымается вверхъ и, когда онъ занимаетъ высшее положеніе, впускъ пара прекращается и снова устанавливается сообщеніе съ холодильникомъ. Паръ входитъ въ него, а поршень вслѣдствіе давленія воздуха опускается.

89. Затѣмъ Ваттъ обратилъ вниманіе на то, что источникомъ значительной потери пара является еще и то обстоятельство, что при каждомъ движеніи поршня въ цилиндръ проникаетъ холодный воздухъ, охлаждающій его.

Онъ рѣшилъ поэтому совершенно отказаться отъ работы давленія воздуха и заставить поршень двигаться исключительно давлешемъ пара. Изъ своихъ изслѣдованій надъ упругостью пара онъ зналъ, что эта упругость при температурѣ выше 100°С значительно превышаетъ давленіе воздуха. Онъ закрылъ цилиндръ герметически прилегающей крышкой, черезъ которую проходилъ плотно пригнанный поршневою стержень. Паръ входитъ черезъ *E* (рис. 83), когда клапанъ *G* открытъ, а клапанъ *H* закрытъ. Въ этотъ моментъ паръ двигаетъ поршень внизъ. Пространство подъ поршнемъ сообщается съ холодильникомъ, такъ какъ клапанъ *K* открытъ. Когда поршень доходитъ до dna цилиндра, клапаны *G* и *K* закрываются, а клапанъ *H* открывается. Теперь цилиндръ отдѣленъ какъ отъ котла, такъ и отъ холодильника, и такъ какъ паръ находится по обѣ стороны поршня (*H* открытъ), то движеніе поршня происходитъ безпрепятственно. Противовѣсъ на коромыслѣ (ср. § 65) поднимаетъ поэтому поршень вверхъ. *H* закрывается, *G* и *K* открываются, пространство надъ поршнемъ снова наполняется паромъ, а отработавшій паръ черезъ *K* уходитъ въ холодильникъ.

Этимъ атмосферная машина была преобразована въ настоящую паровую машину. Подобная машина можетъ сильно дѣйствовать и въ томъ случаѣ, когда поршень имѣетъ небольшое поперечное сѣченіе, такъ какъ давлешіе пара легко можетъ быть увеличено во много разъ въ сравненіи съ давленіемъ воздуха. Внутренность цилиндра въ подобной машинѣ не приходитъ въ соприкосновеніе съ воздухомъ. Чтобы предохранить цилиндръ отъ охлаждения, Ваттъ сдѣлалъ въ немъ двойныя стѣнки и наполнилъ промежутокъ паромъ (паровая оболочка).

90. Опыты съ этой машиной такъ заняли Ватта, что онъ отказался отъ должности университетскаго механика. Тѣмъ временемъ онъ женился и потому долженъ былъ заботиться объ увеличеніи своихъ доходовъ. Онъ принималъ на себя землемѣрныя и инженерныя работы, но въ свободное время постоянно занимался своею машиной, имѣя только одну модель ея. Въ это время онъ познакомился съ богатымъ человѣкомъ, докторомъ Робѣкомъ, при содѣйствіи котораго ему удалось построить большую машину. Ваттъ и Робѣкъ получили въ 1769 году патентъ на машину Ватта и въ томъ же году одна такая машина была установлена въ шахтахъ въ Киннейлѣ. Но докторъ Робѣкъ вскорѣ долженъ былъ отказаться отъ товарищества, такъ какъ потерялъ свое состояніе въ другихъ предпріятіяхъ. Ваттъ снова занялся другими работами. Онъ руководилъ углубленіемъ гавани въ Глазго и работалъ при постройкѣ Каледонскаго канала въ сѣверной Шотландіи, который соединяетъ Атлантическій океанъ съ Сѣвернымъ моремъ.

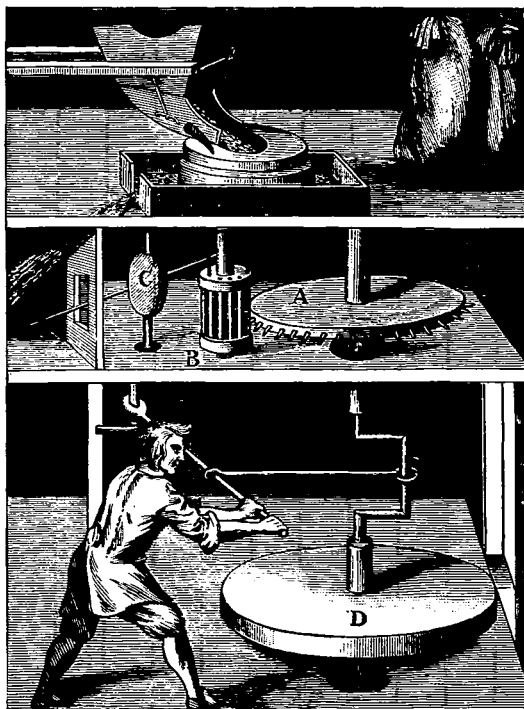
Въ 1773 году Матью Бультонъ, состоятельный торговецъ желѣзными товарами въ Сого близъ Бирмингама, изъявилъ желаніе снова заняться улучшеніемъ паровой машины вмѣстѣ съ Ваттомъ. Ваттъ принялъ его предложеніе и переселился въ Бирмингамъ. Патентъ, срокъ котораго между тѣмъ истекъ, былъ возобновленъ и вскорѣ въ Сого стояла готовая къ употребленію большая машина Ватта.

Новая машина сначала, однако, не встрѣтила хорошаго приѣма у владѣльцевъ копей, такъ какъ стоила значительно дороже, чѣмъ машина Ньюкомена. Ваттъ и Бультонъ предлагали поэтому установить свою машину бесплатно, требуя себѣ въ вознагражденіе третью часть того угля, который можно было сэкономить, поставивъ новую машину на мѣстѣ машины Ньюкомена. Это условіе оказалось для нихъ очень выгоднымъ. Одна шахта, напримѣръ, давала имъ ежегодно около 25000 рублей.

91. Въ слѣдующіе годы Ваттъ направилъ всѣ свои силы на усовершенствованіе своей машины. Первоначально она получила примѣненіе лишь для насосовъ, гдѣ требуется только движеніе вверхъ и внизъ и гдѣ сила необходима только въ то время, когда поршень опускается, такъ какъ противовѣсъ на коромыслѣ снова подымаетъ его. Ваттъ понялъ, что машина пріобрѣтетъ совсѣмъ другое значеніе, если ему удастся видоизмѣнить ее такъ, чтобы она могла производить вращательное движеніе. Въ этомъ случаѣ она могла бы приводить въ движеніе всякую рабочую машину, соединенную съ валомъ.

Какъ превратить движеніе взадъ и впередъ въ движеніе вращательное, было извѣстно давно. На рис. 84, представляющемъ копію съ рисунка XVI столѣтія, видно, какъ человѣкъ приводитъ въ движеніе мельницу, двигая взадъ и впередъ одинъ рычагъ.

Рис. 84



Мельница по рис. XVI столѣтія.

Движеніе передается второй штангой, шатуномъ, валу мельницы, который въ мѣстѣ соединенія съ шатуномъ изогнутъ колѣнномъ (ср. I, § 222). Легко видѣть, что существуютъ два положенія колѣнчатого вала, при которыхъ шатунъ только тянетъ его или давить на него, не производя вращенія. Эти два положенія называются мертвыми точками и для того, чтобы мельница могла идти равномѣрно, необходимо, чтобы

машина сама переходила чрезъ эти мертвыя точки. Для этой цѣли служить тяжелый дискъ D , такъ называемое маховое колесо. Разъ валъ вмѣстѣ съ этимъ колесомъ, имѣетъ извѣстную скорость, то движеніе сохраняется, даже если движущая сила на мгновеніе перестаетъ дѣйствовать, такъ какъ ее замѣняетъ энергія движенія (ср. I, § 182). Но маховое колесо служить не только для того, чтобы выводить машину изъ мертвыхъ точекъ; оно имѣетъ также цѣлью сдѣлать движеніе равномернымъ, когда движущая сила переменна, какъ это почти всегда бываетъ, если ось движется при посредствѣ колѣнчатого вала. Если разложить силу на двѣ составляющія, изъ коихъ одна направлена по касательной, а другая по радіусу, то первая составляющая представитъ ту часть силы, которая производитъ вращеніе, а вторая ту часть, которая производитъ давленіе на ось. Первая составляющая равна нулю въ мертвыхъ точкахъ и достигаетъ наибольшей величины посрединѣ между ними. Такимъ образомъ, во время вращенія величина этой силы постоянно то увеличивается, то уменьшается и движеніе, производимое этой силой, было бы неравномернымъ, еслибы дѣйствіе махового колеса не обращало его въ равномерное. Когда движущая сила уменьшается, маховое колесо дѣйствуетъ ускоряющимъ образомъ, а когда сила увеличивается, оно замедляетъ движеніе. Для того чтобы маховое колесо могло правильно работать, оно должно имѣть величину и массу въ соотвѣтствіи со скоростью вращенія и съ измѣненіями движущей силы. Маховое колесо не можетъ, конечно, поддерживать движеніе равномернымъ, если движущая сила или сопротивленіе все время увеличиваются или уменьшаются.

Чтобы использовать свою машину для вращенія вала, Ваттъ устроилъ на каждомъ концѣ коромысла по цилиндру съ поршнемъ такъ, что поршни поочередно подымались вверхъ, и рычагъ приводилъ въ движеніе валъ съ маховымъ колесомъ при помощи шатуна и кривошина.

Ваттъ пришелъ, однако, къ убѣжденію, что цѣлесообразнѣе пользоваться только однимъ поршнемъ, но двигать его и вверхъ и внизъ давленіемъ пара. Это повело къ устройству машинъ двойного дѣйствія.

92. Въ этой машинѣ паръ доставляется цилиндру такъ называемымъ золотникомъ. Въ настоящее время существуетъ много различныхъ золотниковъ, но всѣ они представляютъ собой видоизмѣненія золотника Ватта.

Къ одной сторонѣ цилиндра прикрѣплена коробка золотника DE (рис. 85). Въ ней золотникъ, имѣющій форму чашки или раковины (или ящика безъ крышки. *Пер.*). движется при помощи особаго стержня взадъ и впередъ такимъ образомъ, что своимъ отшлифованнымъ краемъ скользитъ по стѣнкѣ коробки. Коробка золотника соединена съ цилиндромъ двумя каналами de и fg , изъ коихъ одинъ ведетъ въ верхнюю, а другой въ нижнюю часть цилиндра. При своемъ движеніи взадъ и впередъ золотникъ закрываетъ попеременно то одно, то другое изъ двухъ отверстій d и f и золотниковая коробка поочередно соединяется съ пространствомъ то надъ шландромъ, то подъ нимъ.

Посрединѣ между двумя отверстиями d и f находится третье отверстие O , которое находится всегда подъ золотникомъ и которымъ пространство подъ золотникомъ, т. е. попеременно то одна, то другая часть цилиндра, соединяется съ холодильникомъ.

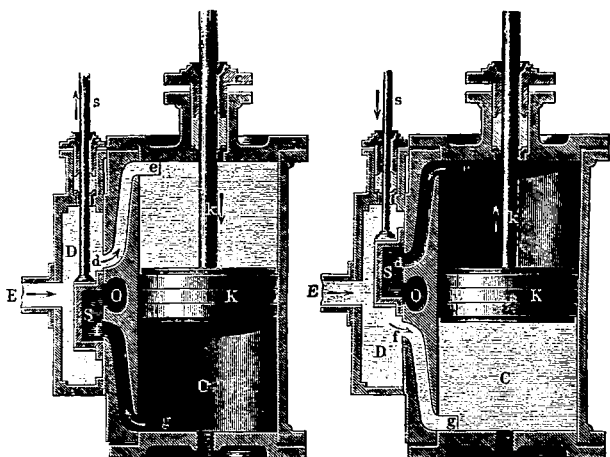
При извѣстномъ положеніи золотника (рис. 86) паръ входитъ въ нижнюю часть

цилиндра, а изъ верхней выходитъ через O въ холодильникъ и тамъ конденсируется. Еще-прежде, чѣмъ поршень достигаетъ своего высшаго положенія, золотникъ опускается настолько, что оба отверстія d и f закрываются имъ, и потому паръ не можетъ входить въ цилиндръ. Когда же поршень достигаетъ своего высшаго положенія, то для входа пара въ пространство надъ поршнемъ открывается путь de (рис. 85), а паръ подъ поршнемъ уходитъ въ холодильникъ черезъ каналъ gf , отверстие котораго теперь покрыто золотникомъ. Прежде еще, чѣмъ поршень достигнетъ низшаго положенія, отверстія d и f оба закрываются, а когда поршень совершенно опустится внизъ, верхняя часть цилиндра снова соединится съ холодильникомъ, а нижняя часть съ золотниковой или парораспределительной коробкой и т. д.

Такимъ образомъ, золотникъ дѣлаетъ краны излишними. Однако, подобно тому, какъ краны должны закрываться въ надлежащее время, перемѣненія золотника также

Рис. 85

Рис. 86



Цилиндръ машины двойного дѣйствія съ золотникомъ.

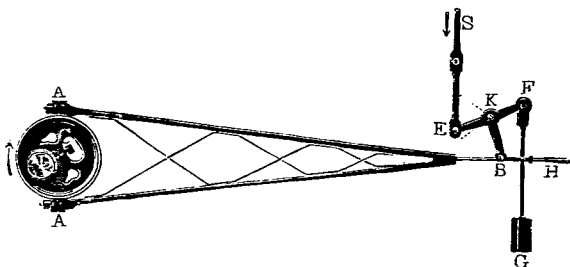
должны происходить въ опредѣленное время, т. е. когда поршень находится въ опредѣленномъ положеніи.

Ваттъ приводилъ золотникъ въ движеніе тѣмъ, что на валъ машины, вращавшійся при помощи кривошипа, насаживалъ кругъ, центръ котораго не совпадалъ съ центромъ вала (рис. 87). Этотъ кругъ, называемый эксцентрикомъ, охватывается кольцомъ, скрѣпленнымъ со стержнями A и A . Послѣдніе дѣйствуютъ на ломаный рычагъ BKE , вращающійся вокругъ точки K . Когда валъ дѣлаетъ половину оборота, что соотвѣтствуетъ половинѣ пути поршня, то широкая часть эксцентрика переходитъ на другую сторону (на рисунокъ лѣвую), точка B перемѣщается влѣво, а плечо KE рычага движется вверхъ и стержень S , слѣдовательно, подымается. При дальнѣйшемъ движеніи вала кольцо, а стержень S возвращаются въ первоначальное положеніе. При каждомъ движеніи поршня стержень S движется, такимъ образомъ, вверхъ и внизъ, и если стержень S связанъ съ золотникомъ, то и послѣдній при каждомъ движеніи поршня дѣлаетъ одно движеніе вверхъ и внизъ. Помѣщая

эксцентрикъ на валѣ въ надлежащемъ положеніи, можно достигнуть того, что движеніе золотника будетъ согласоваться надлежащимъ образомъ съ движеніемъ поршня.

93. Какъ было сказано, маховое колесо не можетъ мѣшать слишкомъ быстрому или медленному ходу машины; оно можетъ выравнивать только кратковременныя измѣненія скорости. Поэтому, если сопротивление, преодолеваемое машиной, уменьшается, то поршень подъ давленіемъ пара движется быстрѣе, а вмѣстѣ съ нимъ дви-

Рис. 87



Эксцентрикъ.

жется быстрѣе и маховое колесо. Напротивъ, когда сопротивление увеличивается, поршень и маховое колесо движутся медленнѣе. Если, слѣдовательно, машина должна двигаться приблизительно равномѣрно, независимо отъ того, будетъ ли сопротивление уменьшаться или увеличиваться, то необходимо регулировать также притокъ пара. Для этой цѣли Ваттъ пользовался коническимъ маятникомъ, который въ то время употреблялся для регулированія хода мельницъ.

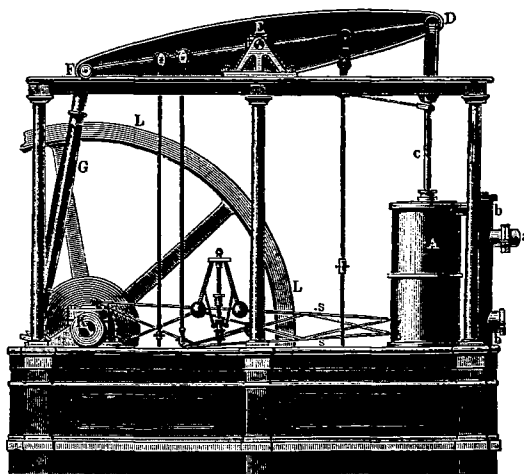
При помощи двухъ коническихъ зубчатыхъ колесъ движеніе вала передается вертикальной оси *a* коническаго маятника (рис. 90). Если паръ начинаетъ притекать въ ббльшемъ количествѣ и машина движется быстрѣе, то шары этого центробѣжнаго регулятора расходятся другъ отъ друга. Вслѣдствіе этого обоймица *h* и связанный съ нею стержень *b* нѣсколько приподымаются и клапанъ (створчатый клапанъ) въ паропроводной трубкѣ (подъ золотниковой коробкой *K*) поворачивается такимъ образомъ, что притокъ пара уменьшается. Когда притокъ пара уменьшается, шары приближаются къ оси и створчатый клапанъ поворачивается въ противоположную сторону, т. е. такъ, что притокъ пара увеличивается. Такимъ образомъ, машина сама регулируетъ двигательную силу (паръ) и дѣлаетъ скорость возможно равномѣрною. Но поддерживать скорость машины совершенно неизмѣнной центробѣжный регуляторъ не можетъ, такъ какъ шары должны больше или меньше отодвигаться отъ оси, чтобы регулированіе было возможно. А это измѣненіе положенія шаровъ возможно только при нѣкоторомъ измѣненіи скорости.

94. Болѣе подробно устройство машины двойного дѣйствія Ватта видно на рис. 88 и 89. Первый представляетъ общій видъ машины, второй — разрѣзъ нижней ея части. Паръ черезъ трубку *a* входитъ справа въ распределительную коробку, а изъ нея въ цилиндръ *A*. При положеніи золотника и поршня, изображенномъ на рисункѣ, паръ входитъ въ верхнюю часть цилиндра и поршень движется внизъ. Осъ *K*, вмѣстѣ съ маховымъ колесомъ *L*, приводится въ движеніе при помощи коро-

мысла DF и тяги G . Пространство подъ поршнемъ соединяется съ конденсаторомъ e , въ который черезъ трубку g постоянно накачивается холодная вода. Насосъ q накачиваетъ холодную воду въ резервуаръ, окружающій конденсаторъ. Отсюда насосъ h подымаетъ воду черезъ трубку ll къ нагнетательному насосу m , который подаетъ воду въ котель. Золотникъ движется эксцентрикомъ e черезъ посредство штангъ ss , а притокъ пара регулируется центробѣжнымъ регуляторомъ f .

95. Для приведенія въ дѣйствіе своей машины Ваттъ пользовался давленіемъ пара всего въ 1 или въ 2 атмосферы. Конденсаторъ уничтожалъ давленіе пара внутри цилиндра почти совершенно, такъ что при движеніи поршня на него дѣйствовало почти все давленіе пара. Движенію поршня противодѣйствовало только такое давленіе пара, которое соотвѣтствуетъ температурѣ, господствующей въ конденсаторѣ.

Рис. 88



Машина низкаго давленія Ватта.

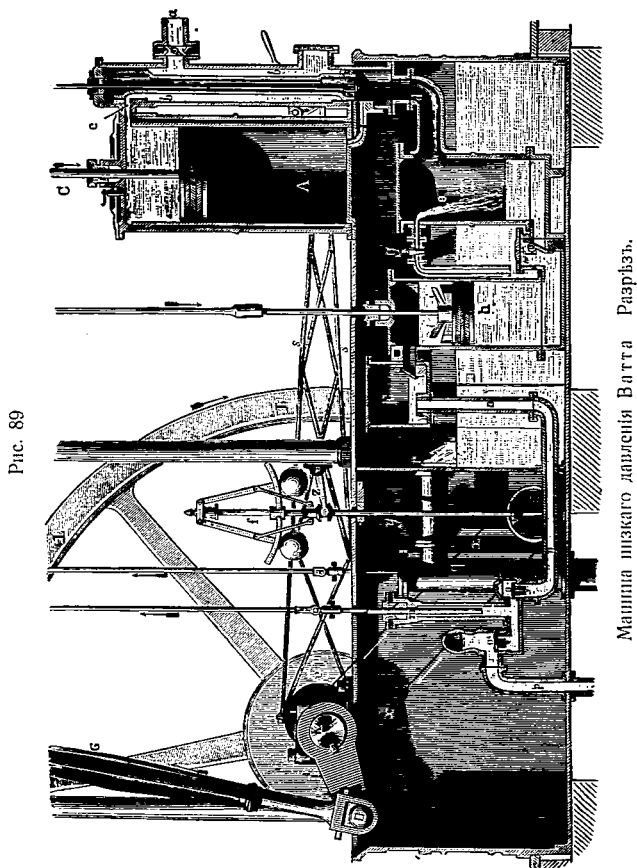
Зная эту температуру, можно найти соотвѣтственное давленіе въ таблицѣ на стр. 75. Такая машина низкаго давленія имѣетъ различныя преимущества передъ машиной, приводимой въ движеніе паромъ болѣе высокаго давленія. Она значительно прочнѣ послѣдней и въ ней почти совершенно исключена опасность взрыва котла.

Но при небольшомъ давленіи поршень долженъ имѣть большое поперечное сѣченіе, а въ силу этого приходится расходовать много пара. Кромѣ того, машина должна быть снабжена конденсаторомъ и различными насосами. Поэтому она имѣетъ довольно сложное устройство и занимаетъ много мѣста.

Ваттъ конечно зналъ, что можно обойтись и безъ конденсатора, выпуская паръ прямо въ воздухъ. Но въ такомъ случаѣ давленіе пара должно быть значительно больше, такъ какъ теперь поршень долженъ преодолевать давленіе атмосферы. Такая машина работаетъ безъ пустоты, т. е. безъ свободнаго отъ пара пространства подъ поршнемъ.

Во многих случаях, однако, болѣе простая машина съ высокимъ давлешемъ, такъ называемая машина высокаго давленія, заслуживаетъ предпочтенія передъ болѣе сложной машиной низкаго давленія.

Устройство машины высокаго давлешя можно видѣть изъ рис. 90. Паропроводная трубка и распредѣлительная коробка на этомъ рисункѣ не видны, такъ какъ онѣ закрыты цилиндромъ. Стержень золотника *s* и трубка *z*, чрезъ которую выхо-

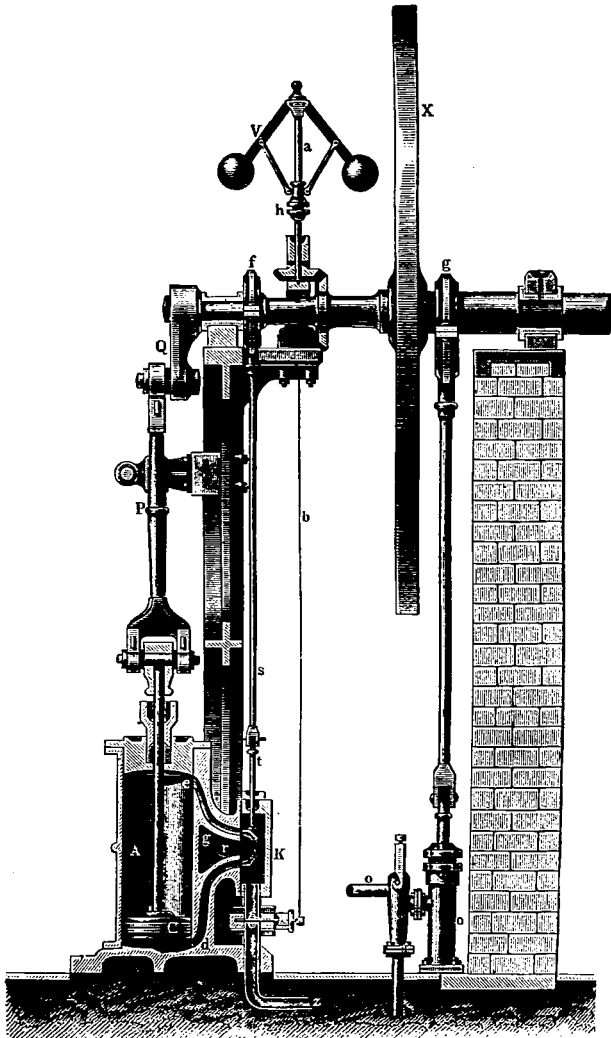


дитъ отработавшій паръ, напротивъ того, видны, равно какъ эксцентрикъ и регуляторъ. Прикрѣпленная къ верхнему концу поршневого стержня поперечина скользитъ между двумя штангами, которыя и направляютъ ее. Стержень поршня дѣйствуетъ на шатунъ *P*, а послѣдній на кривошипъ или мотыль *Q*.

96. Работа, которую можетъ производить паровая машина, очевидно зависитъ отъ давленія, дѣйствующаго на поршень, и отъ скорости, съ которою послѣдній движется. Такъ какъ машиной Ватта часто пользовались для производства работъ, которыя раньше дѣлались при помощи лошадей, то вошло въ обыкновеніе выражать

рабочую способность паровой машины въ лошадиныхъ силахъ. Одинъ англійскій пивоваръ, желая замѣнить лошадиную тягу паровой машиной, занялся изслѣдовашемъ того, какое количество работы можетъ производить одна лошадь въ теченіе одной

Рис. 90



Машина високаго давленія.

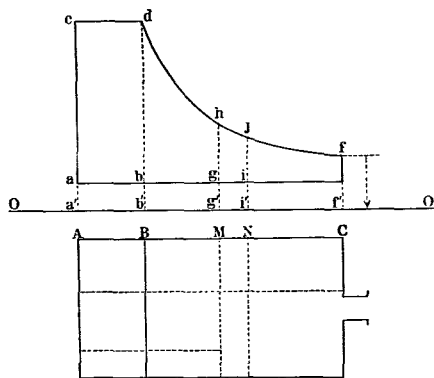
секунды. Онъ запрягъ въ свой приводъ сильную лошадь и, заставивъ ее усиленно работать, привелъ въ дѣйствиe насосъ. Онъ нашель, что лошадь подымала въ одну

секунду 470 фунтовъ воды на высоту одного фута, такъ что въ одну секунду она производила работу въ 470 фунтофутовъ (I, § 226). Въ настоящее время подъ лошадиной силой разумѣютъ ту силу, которая производитъ въ одну секунду 75 килограмметровъ работы.

97. Джемсъ Ваттъ хорошо ознакомился со свойствами пара. Это сказалося, какъ въ примѣненіи конденсатора, такъ и въ томъ, какъ онъ использовалъ для движенія поршня еще и энергію расширенія пара.

Какъ было уже сказано, для приведенія въ дѣйствіе своей машины Ваттъ пользовался давленіемъ всего около $1\frac{1}{2}$ атмосферы. Если паръ поступаетъ въ цилиндръ все время, пока сохраняется соединеніе съ конденсаторомъ, то его энергія расходуется бесполезно, такъ какъ паръ выходитъ изъ цилиндра раньше, чѣмъ была использована вся его упругость. Чтобы избѣгнуть этой потери, Ваттъ устроилъ золотникъ такимъ образомъ, что онъ прекращалъ доступъ пара (отскаль паръ) раньше,

Рис. 91



Давленіе пара въ цилиндрѣ.

Пока поршень движется въ цилиндрѣ отъ *A* до *B* (рис. 91), паръ дѣйствуетъ полнымъ своимъ давленіемъ. Затѣмъ паръ отскакается и поршень продолжаетъ двигаться лишь силой расширенія пара. При движеніи поршня въ остальной части цилиндра сила расширенія пара постепенно уменьшается согласно закону Бойля (ср. § 81). Моментъ, когда паръ отскакается и когда начинаетъ дѣйствовать расширеніе, опредѣляется такъ, чтобы поршень достигалъ конца цилиндра съ небольшимъ излѣшкомъ давленія по одну сторону. Работа, произведенная единичнымъ движеніемъ поршня въ машинѣ съ расширеніемъ, конечно, меньше, чѣмъ въ машинѣ безъ расширенія, такъ какъ во время расширенія поршень находится подъ дѣйствіемъ быстро убывающаго давленія. Въ верхней части рисунка линіи *ac* и *bd* представляютъ величины давленія пара при движеніи поршня подъ полнымъ давленіемъ отъ *A* до *B*. Затѣмъ паръ отскакается и отъ *B* до *C* поршень движется только дѣйствіемъ расширенія, т. е. дѣйствіемъ быстро убывающаго давленія. Если представить величину давленія пара для всѣхъ положеній поршня перпендикулярами, напримѣръ, для точекъ *M* и *N* перпендикулярами *gh* и *ij*, какъ это сдѣлано для *A* и *B*, а затѣмъ соединить концы всѣхъ этихъ перпендикуляровъ, то получится кривая линія *dhjf*, которая паглядно изображаетъ убываніе дѣйствующей на поршень силы.

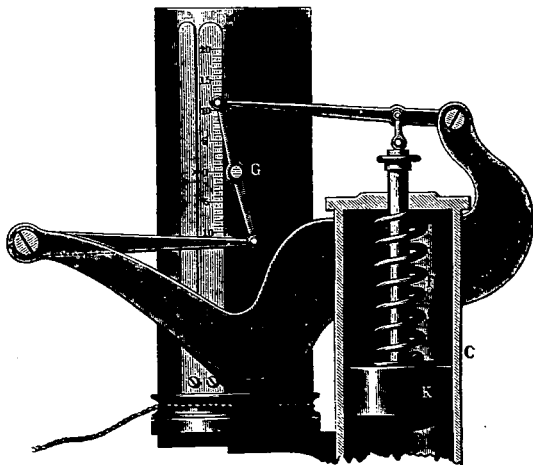
Машина съ расширеніемъ производитъ, правда, меньшее количество работы, чѣмъ машина, дѣйствующая паромъ равномѣрной упругости безъ расширенія, но, съ другой стороны, при той же производительности она требуетъ гораздо меньше пара, чѣмъ машина безъ расширенія. Поэтому теперь пользуются исключительно машинами съ расширеніемъ.

98. Для измѣренія давленія пара при различныхъ положеніяхъ поршня Ваттъ построилъ такъ называемый индикаторъ, изображенный на рис. 92 въ его современной формѣ.

Небольшой цилиндръ *C* съ поршнемъ *K* соединяется съ цилиндромъ машины посредствомъ трубки, снабженной краномъ. Поршень *K* виситъ на спиральной пружинѣ *f* и стержень этого поршня соединяется съ рычагомъ, котораго средняя часть снабжена пишущимъ остриемъ *G*; это перо можетъ двигаться только вверхъ и внизъ, касаясь поверхности цилиндра, обернутаго бумагой.

Пока кранъ между индикаторомъ и цилиндромъ машины закрытъ, давленіе пара не дѣйствуетъ на поршень *K*. Индикаторъ находится въ положеніи, указанномъ на рисункѣ, и перо *G* стоитъ на нуль дѣлѣй. Невидимая на рисункѣ пружина

Рис. 92



Индикаторъ Ватта.

удерживаетъ цилиндръ, къ которому прижимается перо *G*, неподвижно въ указанномъ положеніи. Но при помощи виднаго внизу шнурка этотъ цилиндръ можетъ поворачиваться вокругъ своей оси несмотря на пружину. Этотъ шнурокъ такъ соединенъ съ поршневымъ стержнемъ машины, что при движеніи поршня впередъ цилиндръ вращается въ одну сторону, а при обратномъ ходѣ поршня указанной пружиной поворачивается въ первоначальное положеніе.

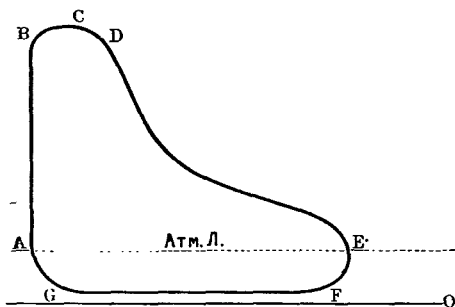
При закрытомъ кранѣ поршень *K*, а также и перо находятся въ покоѣ и послѣднее чертитъ на бумагѣ горизонтальную лію. Когда же цилиндръ индикатора соединяется съ паровымъ цилиндромъ машины, то пружина *f* сжимается и перо *G* подымается. Такъ какъ пружина сжимается пропорціонально давленію пара, то перемѣщеніе поршня *K*, а значитъ, и перемѣщеніе пера могутъ служить мѣрою величины давленія пара.

Но если паровая машина работаетъ съ расширеніемъ, то перо *G* чертитъ уже не прямую лію, такъ какъ давленіе пара мѣняется все время, какъ только начинается расширеніе (ср. § 97). Теперь перо чертитъ сомкнутую кривую лію, изображенную на рис. 93. Такой чертежъ даетъ машина низкаго давленія.

Пунктирная горизонтальная линия представляет ту линию, которую чертит перо, пока парь не вступилъ въ индикаторъ. Эта линия называется „атмосферной линіей“, такъ какъ давленіе подъ поринемъ при этомъ равняется давленію атмосферы. Точка *A* соотвѣтствуетъ началу движенія поршня. Въ это мгновеніе входитъ парь и перо пишетъ линію *AB*. На короткое время давленіе пара остается неизмѣннымъ п перо чертитъ линію *BC* (линію пара). Затѣмъ золотникъ начинаетъ отсѣкать парь. Парь отсѣкается совершенно, когда перо достигаетъ точки *D*.

Во время расширенія перо чертитъ линію отъ *D* до *E*. Затѣмъ золотникъ устанавливаетъ соединеніе съ конденсаторомъ и перо описываетъ линію *EE* (линію истеченія), пока парь выходитъ изъ цилиндра. Затѣмъ поршень идетъ обратно и давленіе (рѣчь идетъ о машинѣ съ конденсаторомъ) остается меньше давленія атмосферы. Его величина зависитъ отъ температуры конденсатора (§ 95), но остается неизмѣн-

Рис. 93



Діаграмма индикатора машины низкаго давленія.

ной, пока соединеніе съ послѣднимъ не будетъ прервано золотникомъ. Это происходитъ въ точкѣ *G*. Теперь поршень долженъ сжать остатокъ пара въ цилиндрѣ и перо пишетъ линію *GA*. Затѣмъ парь снова вступаетъ въ цилиндръ, начинается новое движеніе поршня и перо снова описываетъ ту же линію, если, конечно, давленіе пара въ котлѣ не измѣнилось.

99. Кривая линія *ABCDEFG* (рис. 93), діаграмма индикатора, прежде всего даетъ величины давленія пара при различныхъ

положеніяхъ поршня. Если извѣстно, что разстояніе отъ линіи *OO* до атмосферной линіи соотвѣтствуетъ давленію въ одинъ килограммъ на квадратный сантиметръ, то можно опредѣлить величину давленія пара для любой точки діаграммы, измѣривъ разстояніе этой точки отъ *OO*.

Но эта діаграмма даетъ больше, нежели только величину давленія пара. А именно, площадь фигуры на діаграммѣ является мѣрою величины работы, которую парь отдаетъ поршню во время одного его движенія, дѣйствуя на одну его сторону. При этомъ нужно имѣть въ виду, что при обратномъ ходѣ поршень долженъ преодолѣвать извѣстное давленіе, такъ какъ конденсаторъ не вполне уничтожаетъ давленіе пара.

Разсмотримъ одно изъ положеній поршня, напримѣръ, положеніе, соотвѣтствующее точкѣ *m* (рис. 94). Въ этомъ случаѣ на поршень въ направленіи движенія дѣйствуетъ давленіе *mP*. Но на другую сторону поршня дѣйствуетъ встречное давленіе *mR*, соотвѣтствующее давленію пара въ конденсаторѣ. Такимъ образомъ, движущая сила въ положеніи *m* есть $mR - mR = RR$.

Когда поршень нѣсколько перемѣстится, напримѣръ, передвинется до точки *n*, то движущая сила будетъ $nS - nT = TS$. Если точки *M* и *N* лежатъ достаточно близко другъ къ другу, то *RP* и *TS* равны и фигура *RPST* представляетъ прямоугольникъ, площадь котораго равна произведенію *RP* на *mn*.

Но работа, которую парь передает поршню при его движеніи отъ m до n , равна произведенію давленія на пройденный путь. Движущая же сила (давленіе) здѣсь равна RP , а путь равенъ mn . Такимъ образомъ, указанная работа выражается произведеніемъ $RP \times mn$ и прямоугольникъ $PPST$ является мѣрой той работы, которую поршень получаетъ отъ пара при своемъ движеніи отъ m до n .

Если весь путь, пройденный поршнемъ отъ A до E , раздѣлить на небольшія части, какъ MN , и начертить соответственные прямоугольники, то легко видѣть, что сумма этихъ прямоугольниковъ, т. е. площадь діаграммы, является мѣрой работы, полученной поршнемъ при его движеніи отъ одного крайняго положенія до другого.

100. Діаграмма машины высокаго давленія отличается отъ діаграммы машины низкаго давленія главнымъ образомъ тѣмъ, что она вся лежитъ выше атмосферной линіи (рис. 95), такъ какъ противо-дѣйствующее давленіе въ такой машинѣ всегда больше атмосфернаго.

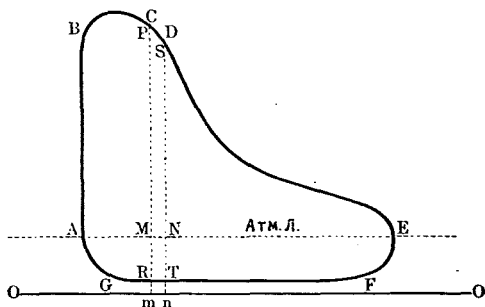
Если выразить давленіе пара въ килограммахъ, а движеніе поршня въ метрахъ, то величина работы получится въ килограмметрахъ.

Дѣйствительное количество работы, такъ называемое полезное дѣйствіе машины, однако, меньше того, которое получается по индикатору и которое обозначается названіемъ индикаторной работой. Именно, часть этой работы пропадаетъ вслѣдствіе тренія между частями машины.

Но важна не только величина, важна также и форма діаграммы. Въ самомъ дѣлѣ, по ней можно видѣть, герметично ли пригнаны золотникъ и поршень, правильно ли положеніе золотника. Если діаграмма имѣетъ ненормальную форму, то это означаетъ, что въ машинѣ есть недостатки, которые должны быть устранены. Поэтому испытаніе съ помощью индикатора играетъ важную роль при установкѣ и при контролѣ золотника.

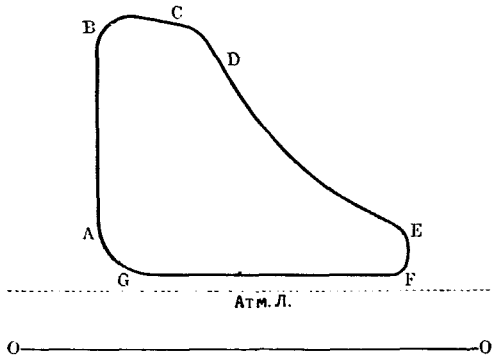
101. Находящаяся въ употребленіи въ настоящее время паровая машина въ существенномъ есть машина Ватта съ золотникомъ, кривошипомъ, маховикомъ и регуляторомъ. Само собою разумѣется, въ соответствіи съ различными примѣненіями машина въ отдѣльныхъ частяхъ измѣнялась и улучшалась, но въ главной основѣ она

Рис. 94



Разсчетъ діаграммы индикатора.

Рис. 95



Діаграмма индикатора машины высокаго давленія.

остаётся прежней. Впрочемъ, конденсаторъ находитъ примѣненіе только въ очень большихъ неподвижныхъ машинахъ, а также во всѣхъ судовыхъ машинахъ.

Такова была гениальная неустанная работа этого человѣка, обратившая силу пара въ послушнаго слугу человѣка. Работа Ватта имѣла основное значеніе. За нимъ послѣдовалъ цѣлый рядъ людей, продолжавшихъ надстраивать на возведенномъ, имъ основаніи.

Вначалѣ едвали можно было догадываться, какое многостороннее примѣненіе должна была найти машина Ватта. Она является неисчерпаемымъ источникомъ энергіи, а разъ въ распоряженіи имѣется энергія въ неограниченномъ количествѣ, то дѣятельности человѣка неминуемо должны открываться новыя области, чтò въ свою очередь должно оказывать благотворное вліяніе на развитіе культуры.

Въ товариществѣ Ватта съ Бультономъ на послѣднемъ лежала коммерческая сторона дѣла, такъ что Ваттъ могъ спокойно отдаваться своимъ научнымъ работамъ. Въ 1790 году Ваттъ купилъ себѣ имѣніе въ Гэтфильдѣ близъ Бирмингэма и его домъ являлся сборнымъ пунктомъ для большого круга близкихъ и далекихъ друзей. Ваттъ былъ драгоценнымъ совѣтникомъ, такъ какъ онъ въ высокой степени обладалъ даромъ входить въ положеніе другого и проникаться его мыслями и находить рѣшеніе трудныхъ вопросовъ. Его научная дѣятельность повела его и въ другія области физики, въ которыхъ мы позднѣе съ нимъ встрѣтимся.

Ваттъ умеръ въ 1819 году. Въ Весминстерскомъ аббатствѣ ему былъ воздвигнутъ памятникъ съ надписью слѣдующаго содержанія: „Не для увѣковѣченія имени, которое должно жить, пока цвѣтутъ мирныя искусства, но для того, чтобы показать, что люди научились почитать тѣхъ, кто больше всего заслуживаетъ ихъ благодарности, король, его министры и множество дворянъ и горожанъ Королевства воздвигли этотъ памятникъ Джэmsу Ватту, который приложилъ изощренное научнымъ изслѣдованіемъ дарованіе къ улучшенію паровой машины, умножилъ богатства своей страны, возвысилъ власть человѣка и достигъ выдающагося положенія между знаменитѣйшими учеными и истинными благодѣтелями міра. Родился въ Гриннокѣ 1736, умеръ въ Гэтфильдѣ, въ Стаффордширѣ, 1819“.

102. Еще задолго до того, какъ Ваттъ избрѣлъ свою усовершенствованную паровую машину, дѣлались различныя попытки воспользоваться паромъ, какъ движущей силой для кораблей. Работы Папена по этому предмету не выходили далеко за предѣлы проектовъ. Только послѣ того, какъ стала извѣстна машина Ньюкомена, за рѣшеніе этой задачи взялись съ различныхъ сторонъ. Джонатанъ Гульсъ въ 1736 году взялъ въ Англій патентъ на паровую колесную лодку; ось колеса приводилась въ движеніе при помощи передаточнаго ремня или паса отъ машины Ньюкомена. Но колесо двигалось слишкомъ неравномѣрно и машина расходовала слишкомъ много угля, чтобы эта лодка могла пріобрѣсти какое-нибудь практическое значеніе. Идея заставить машину двигать колеса съ лопастями, впрочемъ, вовсе не была новой. На старинныхъ римскихъ медаляхъ изъ временъ до Р. X. находятъ иногда изображенія военныхъ кораблей съ лопастными колесами, а въ Китаѣ лодки съ четырьмя лопастными колесами были въ употребленіи съ древнѣйшихъ историческихъ временъ.

Колеса съ лопастями можно разсматривать, какъ рядъ веселъ, давящихъ на воду послѣдовательно одно за другимъ; передъ нѣсколькими отдѣльными веслами колесо имѣетъ то большое преимущество, что его можно двигать при помощи одной

осн. Это позволяеть пользоваться для движенія корабля во время штиля иными движущими силами помимо мускульной силы человѣка. Въ средніе вѣка и даже еще въ XVIII вѣкѣ преступники присуждались къ „галерамъ“, т. е. должны были служить въ качествѣ гребцовъ на военныхъ судахъ. Но для увѣреннаго движенія сколько-нибудь большого судна требовалась команда въ нѣсколько сотъ человѣкъ. Поэтому пытались для этой цѣли пользоваться силой животныхъ, которыхъ ставили на приводъ, двигавній колесо съ лопастями. Но, конечно, къ этому средству можно было прибѣгать только на спокойной водѣ, такъ какъ при бурномъ состояніи моря работа животныхъ становилась невозможной вслѣдствіе колебаній судна.

Легко понять, что какъ для военнаго, такъ и для торговаго флота было весьма существенно имѣть въ распоряженіи движущую силу, независящую отъ вѣтра. Пока передвиженіе по морю зависѣло исключительно отъ вѣтра, не было возможности опредѣлять продолжительность морскихъ путешествій и при неблагоприятномъ вѣтрѣ

Рис. 96



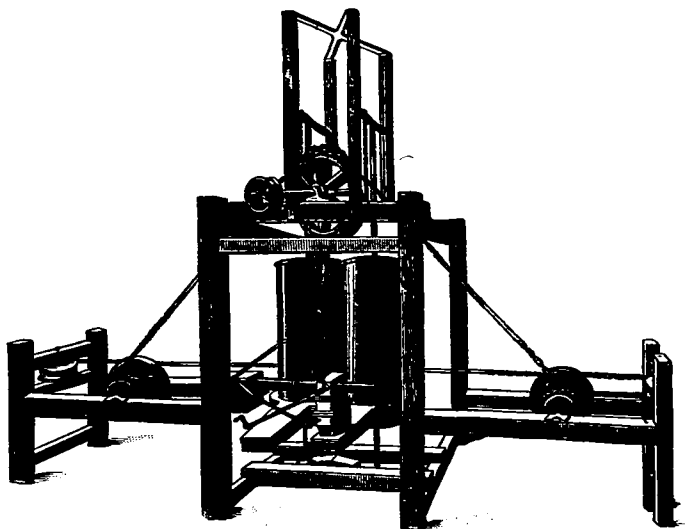
Паровая лодка Саймингтона.

движеніе прекращалось даже на болѣ короткихъ разстояніяхъ. Французская Академія предложила премию за изслѣдованіе того, какія средства существуютъ для движенія судовъ безъ помощи вѣтра; для состоянія паровой машины въ первой половинѣ XVIII вѣка характерна оцѣнка этой машины въ двухъ работахъ, представленныхъ Академіи. Математикъ Даніель Бернулли (1700—1782) не призналъ пара подходящей движущей силой для кораблей, такъ какъ машина Ньюкомена дѣйствовала недостаточно сильно, чтобы двигать съ надлежащей быстротой болѣе значительное судно. Бернулли былъ правъ постолько, поскольку были вообще негодны имѣвшіяся въ то время паровыя машины. Но былъ правъ и авторъ другого сочиненія аббатъ Готье, который утверждалъ, что паровая машина есть единственное извѣстное средство, могущее быть примѣненнымъ къ движенію кораблей съ надеждой на успѣхъ. Ему

удалось также показать, что въ предложенномъ случаѣ даже менѣ сильныя атмосферныя машины имѣли большія преимущества передъ человѣческой мускульной силой. Галера съ 26 веслами на каждой сторонѣ, изъ коихъ каждое требовало пяти чело-вѣкъ, должна была имѣть 520 гребцовъ—2 смѣны по 260 чело-вѣкъ. Издержки на содержаще такой команды были больше издержекъ на уголь и машины, а 520 чело-вѣкъ требовали больше мѣста, чѣмъ уголь и машины. Готье пришелъ къ заклю-ченію, что движущей силой для кораблей можно считать только силу пара.

103. Увѣренность Готье нашла себѣ подтвержденіе въ машинѣ Ватта. Но прочно и практично соединить машину Ватта съ колесомъ съ лопастями удалось только послѣ многихъ тщетныхъ попытокъ. Цѣлому ряду французовъ, несмотря на утомительную и напряженную работу, не удалось выйти изъ стадіи опытовъ; то же происходило и въ Шотландіи. Здѣсь молодой инженеръ Вильямъ Саймингтонъ построилъ паровую лодку (рис. 96), машина которой изображена на рис. 97. Эта машина имѣла два цилиндра, помѣщавшихся на палубѣ судна. Стержни поршней дви-

Рис. 97



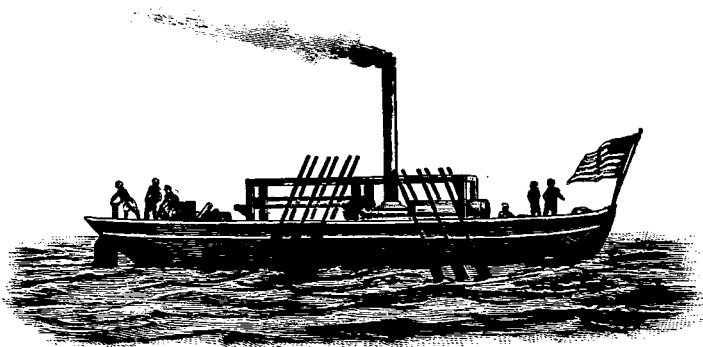
Машина паровой лодки Саймингтона.

гали каждый одну поперечину вверхъ и внизъ въ рамѣ, а эти поперечины тянули концы цѣпи, лежавшей въ одномъ изъ жолобовъ двойного блока. По другому жо-лобу этого блока проходила безконечная цѣпь, перекинута, сверхъ того, черезъ два другіе блока, изъ которыхъ одинъ находился передъ цилиндрами, а другой позади нихъ. Эти блоки были свободно насажены на оси двухъ колесъ съ лопастями (см. рис. 96 и 97), но благодаря особому задерживающему крючку блоки передавали свое движеніе осямъ и, слѣдовательно, колесамъ только въ одномъ направленіи. Когда машина приводилась въ дѣйствиіе, оси начинали вращаться, когда двойной блокъ дви-гался въ одномъ направленіи. Когда же онъ двигался въ обратномъ направленіи, то

задерживающіе крючки не дѣйствовали, оси же продолжали вращаться по инерціи, разъ судно находилось въ движеніи. Въ небольшой лодкѣ, для которой не требовалось значительной движущей силы, можно было пользоваться этой сложной машиной, но для большихъ судовъ она не годилась, такъ какъ постоянное измѣненіе давленій слишкомъ быстро изнашивало цѣпи и оси.

104. Наконецъ, нашлось нѣсколько человѣкъ въ Новомъ Свѣтѣ, которымъ удалось рѣшить задачу. Джонъ Фичъ, часовщикъ изъ Филадельфіи, первый пытался привести въ движеніе лодку при помощи весель, которыя двигались посредствомъ машины двойного дѣйствія. Въ 1789 году на такой лодкѣ (рис. 98) дѣлались пробныя поѣздки по рѣкѣ Делавару. Эта лодка имѣла шесть паръ весель и двигалась со скоростью восьми англійскихъ миль въ часъ. Однако, Фичъ скоро увидѣлъ, что его

Рис. 98



Весельная лодка Фича.

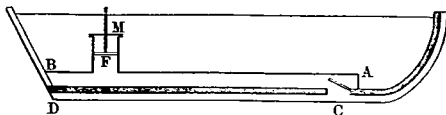
лодка имѣла значительные недостатки. Ему хотѣлось продолжить свои опыты и, не найдя поддержки въ Америкѣ, онъ въ 1782 году поѣхалъ въ Европу. Благодаря посредничеству Бриссо, онъ имѣлъ случай заинтересовать своими проектами членовъ Конвента въ Парижѣ. Но скорѣ послѣ того Бриссо потерялъ свое значеніе (впослѣдствіи онъ былъ гильотинированъ вмѣстѣ съ Жирондистами) и Фичъ, ничего не добившись, вернулся въ Америку. Въ отчаяніи отъ своего безвыходнаго положенія онъ покончилъ жизнь самоубійствомъ, утопившись.

105. Совершенно инымъ путемъ пытался рѣшить задачу о движеніи судна Рѣмзи. Рѣмзи накачивалъ воду въ корабль и затѣмъ при помощи сильнаго нагнетательнаго насоса въ задней части корабля снова выпускалъ ее. Вслѣдствіе этого корабль долженъ двигаться впередъ (ср. § 56). Въ *C* (рис. 99) вода входитъ черезъ клапанъ *A*, пока поршень *F* подымается, а въ *B* при опусканіи поршня она вытѣсняется черезъ клапанъ, открывающійся наружу. Рѣмзи поѣхалъ въ Англію, гдѣ и умеръ, не доживъ до выполненія своего плана. Однако, его работа косвеннымъ образомъ принесла большую пользу, такъ какъ она побудила Роберта Фультона взяться за его работы о пароходномъ движеніи.

106. Робертъ Фультонъ родился отъ бѣдныхъ ирландскихъ родителей въ 1765 году въ Малой Британіи (Пенсильванія). Сперва онъ нѣсколько времени нахо-

дился въ ученіи у ювелира. Однако, онъ бросилъ это ремесло, чтобы заняться, согласно своей склонности, живописью. 17 лѣтъ отъ роду онъ уже былъ въ состояніи содержать своимъ искусствомъ себя и свою мать—вдову, онъ зарабатывалъ даже такъ хорошо, что могъ купить своей матери маленькое помѣстье. Въ 1786 году Фультонъ, снабженный хорошими рекомендаціями, пріѣхалъ въ Англію, чтобы здѣсь заняться своимъ дальнѣйшимъ образованіемъ. Однако, убѣдившись въ томъ, что въ

Рис. 99



Лодка Рёмзи.

работахъ по примѣненію силы пара къ движенію судовъ. Фультонъ предложилъ замѣнить проектированные Рёмзи насосы колесами съ лопастями. Когда вскорѣ послѣ того Рёмзи умеръ, Фультонъ попытался заинтересовать своими планами капиталистовъ, что ему, однако, не удалось. Съ 1790 до 1804 года онъ жилъ частью

Рис. 100



Робертъ Фультонъ.

въ Англіи, частью во Франціи, представляя правительствамъ этихъ двухъ странъ проекты сооруженія каналовъ, морскихъ минъ и подводныхъ лодокъ. Свои мины онъ называлъ торпедами. Онѣ состояли изъ мѣдныхъ ящиковъ, наполненныхъ порохомъ, которые при помощи его подводной лодки Наutilus можно было ставить на любомъ мѣстѣ. Одно время Наполеонъ очень интересовался изобрѣтеніями Фультона. Однако, послѣ того какъ нѣсколько попытокъ взорвать на воздухъ англійскія военныя суда не удались, онъ бросилъ это дѣло. 107. Впрочемъ, несмотря на множество другихъ проэктовъ, Фультонъ не забывалъ своего парового судна. Въ 1801 году онъ сѣзидилъ въ Шотландію, чтобы здѣсь ознакомиться съ паровой лодкой, которую построилъ упомянутый выше Саймингтонъ и которая была снабжена машиной двойного дѣйствія. Саймингтонъ описываетъ поощреніе Фультона слѣдующимъ образомъ: „Въ то время какъ я былъ занятъ своими опытами (надъ паровымъ судномъ), меня посѣтилъ г. Фультонъ, который разсказалъ мнѣ, что онъ живетъ въ Сѣверной Америкѣ, куда и собирается вернуться черезъ нѣсколько мѣсяцевъ. Но услышавъ о нашихъ опытахъ съ паровой лодкой, онъ счелъ невозможнымъ покинуть эту страну, не поговоривъ раньше со мною, не увидѣвъ лодки, если возможно, и не получивъ о ней указаній, какія я пожелалъ бы дать. Въ самомъ дѣлѣ, если это изобрѣтеніе имѣло большое значеніе для Великобританіи, то еще гораздо болѣе значеніе оно имѣло бы для Америки съ ея множествомъ судовыхъ рѣкъ. Чтобы удовлетворить его желаніе, я приказалъ развести огонь и про-

живописи онъ не достигнетъ большихъ результатовъ, Фультонъ бросилъ искусство и обратился къ технику, особенно къ постройкѣ машинъ.

Въ 1788 году Фультонъ встрѣтился въ Лондонѣ съ Рёмзи. Последній убѣдилъ его принять участіе въ

работамъ по примѣненію силы пара къ движенію судовъ. Фультонъ предложилъ замѣнить проектированные Рёмзи насосы колесами съ лопастями. Когда вскорѣ послѣ того Рёмзи умеръ, Фультонъ попытался заинтересовать своими планами капиталистовъ, что ему, однако, не удалось. Съ 1790 до 1804 года онъ жилъ частью въ Англіи, частью во Франціи, представляя

правительствамъ этихъ двухъ странъ проекты сооруженія каналовъ, морскихъ минъ и подводныхъ лодокъ. Свои мины онъ называлъ торпедами. Онѣ состояли изъ мѣдныхъ ящиковъ, наполненныхъ порохомъ, которые при помощи его подводной лодки Наutilus можно было ставить на любомъ мѣстѣ.

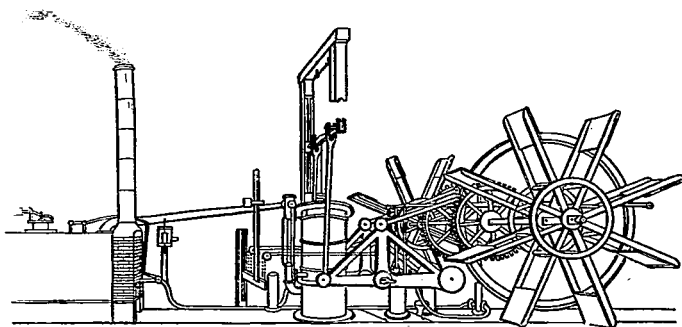
Одно время Наполеонъ очень интересовался изобрѣтеніями Фультона. Однако, послѣ того какъ нѣсколько попытокъ взорвать на воздухъ англійскія военныя суда не удались, онъ бросилъ это дѣло.

107. Впрочемъ, несмотря на множество другихъ проэктовъ, Фультонъ не забывалъ своего парового судна. Въ 1801 году онъ сѣзидилъ въ Шотландію, чтобы здѣсь ознакомиться съ паровой лодкой, которую построилъ упомянутый выше Саймингтонъ и которая была снабжена машиной двойного дѣйствія.

ѣхалъ съ нимъ по каналу разстояше въ 4 англійскихъ мили въ одномъ и въ другомъ направленіи. Мы употребили на эту поѣздку 1 часъ 20 минутъ. Слѣдовательно, мы двигались со скоростью 6 миль въ часъ. Фультонъ былъ очень пораженъ. Во время поѣздки онъ попросилъ позволенія сдѣлать нѣсколько замѣтокъ о паровомъ суднѣ. Я ничего не могъ имѣть противъ этого, такъ какъ желалъ, чтобы дѣло это стало извѣстно въ возможно болѣе широкихъ кругахъ, и такъ какъ въ Англии я былъ огражденъ патентомъ. Кромѣ того, въ Америкѣ я во всякомъ случаѣ не могъ получить патента. Фультонъ сдѣлалъ свои рисунки и я далъ ему откровенные отвѣты на его различные вопросы о машинахъ“.

Фультонъ и въ самомъ дѣлѣ имѣлъ намѣреніе вернуться въ Америку. Французское правительство отказало ему въ поддержкѣ для опытовъ и у него не было никакихъ основаній жить въ Парижѣ дальше. Поэтому онъ отправился къ американскому консулу Роберту Ливингстону, чтобы проститься съ нимъ. Послѣдній раніе также занимался сооруженіемъ парового судна и, когда узналъ о планахъ Фультона, убѣдилъ послѣдняго остаться въ Парижѣ. Ливингстонъ былъ готовъ доставить средства, нужныя для производства рѣнительнаго опыта съ паровымъ судномъ. Фультонъ ознакомился со всѣми прежними попытками и, какъ это ни удивительно, пришелъ къ результату, что наилучшей является система весель Фича. Однако, оказалось, что этотъ планъ въ большихъ размѣрахъ невыполнимъ, и потому онъ построилъ колесное паровое судно, которое совершило свою первую поѣздку въ 1803 году. Это судно было длиною въ 100 футовъ и шириною въ 10 футовъ. Дѣло

Рис. 101



Паровая машина „Клермонта“

возбудило большой интересъ и часть членовъ Академіи приняла участіе въ пробной поѣздкѣ. Фультонъ объявилъ, что онъ готовъ сообщить свои планы правительству за умѣренную сумму; однако, его предложеніе было отклонено. Наполеонъ, которому очень досаждали всякіе прожектеры, не позаботился вникнуть въ дѣло глубже. Прими онъ предложеніе Фультона, его жизнь не закончилась бы, можетъ быть, на островѣ Св. Елены.

108. Между тѣмъ Ливингстонъ послалъ Конгрессу извѣстіе объ удачномъ исходѣ опытовъ и добился удлиненія срока патента, взятаго имъ раньше, на 20 лѣтъ, начиная съ 1803 года. У Фультона и Ватта была заказана сильная машина двой-

ного дѣйствія, немедленно по изготовленіи посланная въ Нью-Йоркъ. Два машиниста изъ Сого прѣхали въ Америку, чтобы наблюдать за установкой машины.

Лѣтомъ 1807 года Фультонъ поставилъ эту машину на крѣпкое судно въ 160 футовъ длины и въ 16 футовъ ширины. Эта машина изображена на рис. 101. Фультонъ самъ сдѣлалъ всѣ чертежи для постройки машины. Машина имѣла два цилиндра и каждый изъ двухъ поршней дѣйствовалъ на особое коромысло, помѣщавшееся возлѣ цилиндра. Движеніе коромысла передавалось на ось колесъ посредствомъ шатуна и кривошипа. Особое преимущество этой машины состояло въ простотѣ устройства и въ прочности соединенія ея съ осью колесъ. Каждый изъ поршней помогалъ кривошипу другого переходить черезъ мертвую точку, такъ что машину можно было легко приводить въ движеніе.

11 августа 1807 года „Клермонтъ“ — такъ судно было названо по имѣнію Лл-виингстона — предпринялъ свое знаменитое путешествіе по рѣкѣ Гѣдзонъ изъ Нью-Йорка до Олбени. Разстояніе въ 36 географическихъ миль было пройдено въ 32 часа. Послѣ этого судно поддерживало правильное сообщеніе между двумя названными городами.

Этимъ былъ проломленъ ледъ въ дѣлѣ пароходнаго сообщенія и человѣчество вступило въ обладаше однимъ изъ важнѣйшихъ средствъ развитія культуры XIX вѣка.

Рис. 102



Датскій почтовый пароходъ „Каледонія“.

Фультонъ дожилъ только до начала того огромнаго развитія, котораго вскорѣ достигло пароходное сообщеніе. Уже въ 1815 году онъ умеръ, достигнувъ едва 50 лѣтъ.

Въ Европѣ первое паровое судно, совершавшее правильное плаваніе, начало ходить по рѣкѣ Клайду въ 1812 году. Строителемъ этого судна былъ одинъ знакомый Фультона, шотландскій механикъ Генри Белль. Первое болѣе значительное путешествіе по открытому морю было предпринято на Ламаншѣ (изъ Дѣндженесса въ Гавръ) въ 1816 году капитаномъ Эндріелемъ.

На Рейнъ и Эльбъ первые (англійскіе) пароходы появились въ 1818 году. Въ слѣдующемъ году между Копенгагеномъ и Килсмъ сталъ ходить почтовый пароходъ „Каледонія“. Первое путешествіе черезъ Атлантическій океанъ сдѣлалъ пароходъ „Саванна“ въ 1818 году. На переходъ отъ Саванны до Ливерпуля онъ употребилъ 26 сутокъ, но подъ парами онъ шелъ только 18 сутокъ, остальные же 8 сутокъ подъ парусами. Однако, правильное пароходное сообщеніе между Старымъ и Новымъ Свѣтомъ установилось только съ 1838 года.

109. Важнѣйшее улучшение въ пароходномъ сообщеніи послѣ Фультона составляло введеніе винта вмѣсто колесъ.

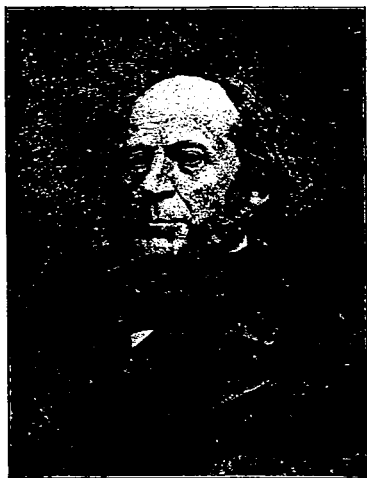
Уже Даніель Бернулли (§ 102) предлагалъ пользоваться для движенія судовъ винтомъ. Если винтъ, вращающійся въ неподвижной гайкѣ, совершаетъ полный оборотъ, онъ перемѣщается на разстояніе, равное высотѣ его хода (ср. I, § 135, прим. 5). Если гайка винта не вполнѣ неподвижна, такъ что сама дѣлаетъ часть оборота въ то время, какъ винтъ дѣлаетъ полный оборотъ, то перемѣщеніе винта будетъ меньше высоты винтового хода. Но если только гайка не движется вмѣстѣ съ винтомъ, движеніе послѣдняго должно производить перемѣщеніе винта вдоль оси. Бернулли вывелъ отсюда заключеніе, что винтъ, помѣщенный у ахтерштевня судна (въ кормовой части), вращаясь ниже поверхности воды, долженъ приводить судно въ движеніе. Въ самомъ дѣлѣ, окружающую винтъ воду нужно разсматривать, какъ отчасти неподвижную (или отчасти подвижную) гайку. Вода оказываетъ извѣстное сопротивленіе движенію винта и сама не воспринимаетъ скорости винта. Вслѣдствіе этого винтъ перемѣщается и перемѣщаетъ съ собою судно. Предложеніе Бернулли сначала не имѣло практическаго значенія, такъ какъ не было въ распоряженіи движущей силы, посредствомъ которой можно было бы приводить винтъ въ достаточно быстрое вращеніе.

Только со времени появленія паровой машины Ватта можно было думать о винтѣ, какъ о средствѣ передвиженія судовъ. Еще въ началѣ XIX вѣка дѣлались различныя попытки замѣнить винтомъ пароходныя колеса съ лопастями, но только шведу Джону Эрикссону удалось преодолѣть практическія затрудненія, такъ что его справедливо можно назвать изобрѣтателемъ пароходнаго винта.

110. Джонъ Эриксонъ родился въ 1803 году въ Лангбансгюттанъ (Вермландъ), гдѣ его отецъ былъ рудокопомъ. Вмѣстѣ со своимъ, старшимъ на одинъ годъ, братомъ Нильсомъ онъ получилъ образованіе въ военно-инженерномъ училищѣ, но уже въ 1826 году онъ покинулъ училище и уѣхалъ въ Англію. Здѣсь онъ скоро приобрѣлъ извѣстность своимъ паровымъ экипажемъ (§ 117) и въ 1833 году выступилъ публично со своей такъ называемой машиной съ нагрѣтымъ воздухомъ (калорической машиной). Она основана на томъ, что, если отдѣлить извѣстное количество воздуха отъ вѣшняго, то, будучи нагрѣто, оно можетъ производить давленіе достаточное для того, чтобы двигать поршень, какъ это дѣлаетъ паръ. Эриксонъ хотѣлъ использовать теплоту въ этой машинѣ лучше, чѣмъ это возможно въ машинѣ высокаго давленія, въ которой отработавшій паръ, содержащій въ себѣ много тепла, поглощеннаго при его образованіи, уходитъ въ воздухъ, такъ что это тепло пропадаетъ. Если движущую силу будетъ производить вмѣсто пара нагрѣтый воздухъ, то теплота, израсходованная на обращеніе воды въ паръ, сбережется. — Однако, въ отдѣленной массѣ воздуха можно получить только сравнительно незначительное давленіе

даже при сильномъ нагрѣваніи. Такъ, водяной паръ при 150°C обладаетъ упругостью пяти атмосферъ, воздухъ же только при 273°C производитъ давленіе въ двѣ атмосферы (ср. § 34). Такъ какъ вообще нельзя выходить за предѣлы температуры въ 200° — 300° , не вредя машинѣ, то поршень машины съ нагрѣтымъ воздухомъ долженъ быть гораздо больше, чѣмъ у паровой машины. Это обстоятельство весьма затрудняло приложеше машины съ нагрѣтымъ воздухомъ въ крупной промышленности.

Рис. 103



Джонъ Эрикссонъ.

Зато въ мелкой промышленности, гдѣ требуется лишь незначительная движущая сила, эта машина въ пятидесятихъ годахъ нашла широкое распространение. Позднѣе она была вытѣснена газовыми и керосиновыми двигателями. Эрикссонъ, энергичная и изобрѣтательная натура, въ семидесятихъ годахъ строилъ большіе планы относительно своей машины съ нагрѣтымъ воздухомъ. Машину должна была приводить въ дѣйствіе теплота солнца при посредствѣ вогнутыхъ зеркалъ; поэтому ею можно было бы пользоваться преимущественно въ тропическихъ странахъ. Но эта солнечная машина до настоящаго времени не нашла сколько-нибудь замѣтнаго примѣненія.

Большую часть своей жизни Эрикссонъ провелъ въ Америкѣ. Въ 1829 году онъ былъ побѣжденъ на конкурсѣ паровыхъ экипажей (§ 117) Стефенсономъ, а англійскіе авторитеты въ области меха-

ники дали отрицательный отзывъ о его пароходномъ винтѣ. Нѣкоторые даже пытались набросить тѣнь на это изобрѣтеніе и заявляли, что первый построенный имъ винтовой пароходъ, оказавшійся превосходнымъ судномъ, „въ основѣ невѣренъ, невѣрно выполненъ и очевидно не имѣетъ никакой цѣны, такъ что ни одинъ разумный человѣкъ не возьмется за постройку кораблей, которые должны были бы двигаться этимъ способомъ“. Въ виду этого Эрикссонъ по совѣту одного друга рѣшился (въ 1839 году) переѣхать въ Америку, гдѣ надѣялся найти лучшей пріемъ для своихъ идей. Здѣсь его винтъ сейчасъ же нашелъ признаніе и, когда первый винтовой фрегатъ „Прайнстонъ“ въ 1843 году блестяще побѣдилъ въ состязаніи превосходный колесный пароходъ „Грэтъ Вестернъ“, побѣда винта надъ колесомъ была рѣшена. Въ теченіе немногихъ лѣтъ винтъ былъ введенъ даже въ нѣсколькихъ европейскихкихъ военныхъ флотахъ.

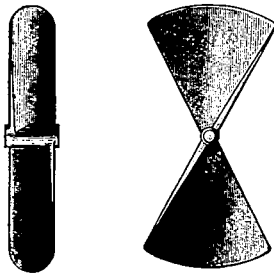
111. Пароходный винтъ состоитъ не изъ полного оборота винтовой поверхности, а изъ двухъ—четырехъ отдѣльныхъ „перьевъ“. Форма этого винта, именно винта о двухъ перьяхъ, а равно и способъ его прикрѣпленія къ судну видны на рисункахъ 104 и 105. Винтъ имѣетъ значительныя преимущества передъ колесомъ съ лопастями. Онъ занимаетъ гораздо меньше мѣста, чѣмъ послѣднее, и всегда остается подъ водой, даже когда вѣтеръ кладетъ судно на бокъ. У колеснаго парохода при такихъ

условіяхъ одно колесо подымается надъ водою, тогда какъ другое настолько же больше погружается въ воду. Для военныхъ судовъ винтъ очень важенъ, потому что непріятельскіе снаряды съ трудомъ могутъ вредить ему. Для коммерческихъ и пассажирскихъ судовъ винтъ имѣетъ то преимущество, что онъ не мѣшаетъ при причалѣ, какъ колесные кожухи. Благодаря отсутствію кожуховъ сопротивленіе воды движенію винтового парохода меньше, чѣмъ движенію колеснаго, и, наконецъ, форма винтового парохода не мѣшаетъ употребленію парусовъ, какъ это имѣетъ мѣсто на колесномъ пароходѣ.

Съ другой стороны, колеса съ лопастями имѣютъ передъ винтомъ то преимущество, что на спокойной водѣ они позволяютъ лучше использовать движущую силу, чѣмъ винтъ. Поэтому на озерахъ и рѣкахъ колесные пароходы находятся въ большомъ употребленіи и теперь.

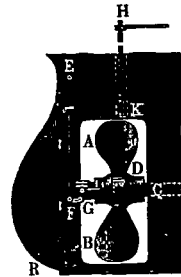
Кромѣ упомянутыхъ открытіи Эрикссона, его имя извѣстно по особому роду броненосныхъ судовъ, построенныхъ имъ. Это такъ называемые мониторы—мало

Рис. 104



Пароходный винтъ.

Рис. 105



Помѣщеніе винта у ахтерштегвѣя судна.

возвышающіяся надъ водою суда, вооруженныя однимъ или двумя тяжелыми орудіями. Первый мониторъ Эрикссона прославился тѣмъ, что въ американскую междуусобную войну онъ обезпечилъ Сѣвернымъ Штатамъ побѣду при Гамптонъ-Редѣ. Здѣсь броненосныя суда были въ бою въ первый разъ, причемъ обнаружилось, что мониторъ былъ значительно сильнѣе броненоснаго судна Южныхъ Штатовъ „Мерримакъ“.

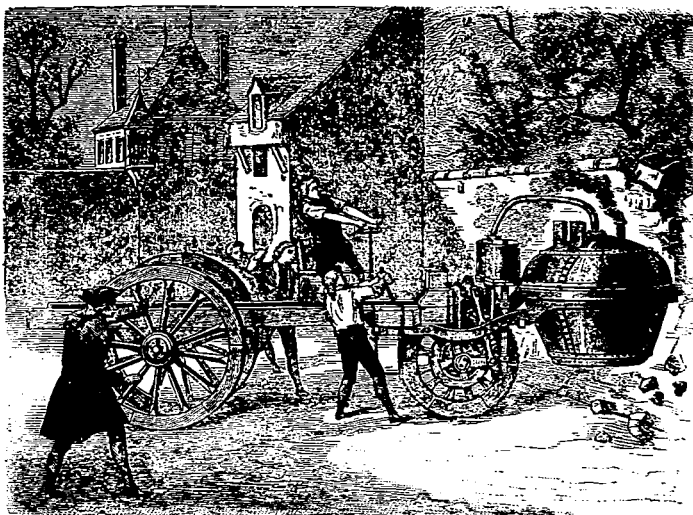
Эрикссонъ умеръ въ Нью-Йоркѣ въ 1889 году. Его тѣло было перевезено въ Швецію, которая еще раньше почтила его научными отличіями, а въ 1899 году воздвигла ему памятникъ въ Гётеборгѣ.

112. Пригодные паровые экипажи вошли въ употребленіе лишь двадцатью годами позже паровыхъ судовъ. Въ проектахъ недостатка не было, но они разбивались о то обстоятельство, что машина Ватта съ конденсаторомъ и съ необходимымъ для ея работы большимъ запасомъ воды была слишкомъ тяжела для экипажа. Въ вопросѣ о движеніи парового экипажа можно было говорить только о машинѣ высокаго давленія. Первый опытъ съ такою машиной былъ сдѣланъ Кюньо (1725—1804), поставившимъ себѣ задачу примѣнить силу пара для передвиженія пушекъ. Ему удалось заинтересовать этимъ дѣломъ французскаго военнаго министра. Его первая повозка (рис. 106) была готова въ 1770 году и свою первую пробную поѣздку со-

вершила во дворѣ арсенала. Она сохраняется въ Парижѣ еще и понынѣ. На ней была машина простого дѣйствія съ двумя цилиндрами. Котель имѣлъ внутреннюю топку. На рисункѣ видно, какъ соединялся котель съ машиной, а машина съ передними колесами повозки. Оказалось, что машина могла прекрасно везти повозку. Ее даже разогрѣли такъ хорошо, что она двинулась слишкомъ быстро и наѣхала на ограду двора. У Кюнью не было приспособлений для управленія машиной и повозкой и это вѣроятно было причиной того, что съ этой паровой повозкой больше не дѣлалось никакихъ опытовъ.

113. Машина высокаго давленія раньше всего вошла въ употребленіе въ Сѣверной Америкѣ, гдѣ ее изобрѣлъ Оливеръ Ивансъ (1755—1819). Послѣдній

Рис. 106



Паровая повозка Кюнью.

былъ гениальный механикъ, съ именемъ котораго связано еще нѣсколько другихъ открытій. Его машина высокаго давленія оказалась хорошей, а его паровой экипажъ управлялся такъ легко, что онъ могъ рѣшиться ѣздить въ немъ по улицамъ Филадельфіи. Несмотря на это, онъ не пошелъ съ этой повозкой дальше опытовъ. Но косвеннымъ образомъ его работы все же оказались полезными для дальнѣйшаго развитія паровыхъ экипажей. Его планы были приняты двумя англійскими механиками Тревитгикомъ и Вивіаномъ, которые ввели машину высокаго давленія въ Англій. Въ 1801 году они получили патентъ на паровой экипажъ, изображенный на рис. 107 и предназначенный для движенія по обыкновеннымъ дорогамъ. А представляетъ паровой котель, *B* топку и *C* цилиндръ. Длинный стержень поршня движется вдоль рамы *D*. Шатунъ приводитъ въ движеніе кривошипъ *E*, который вращаетъ зубчатое колесо *F*. Послѣднимъ движеніе передается зубчатому колесу *H*, насаженному на

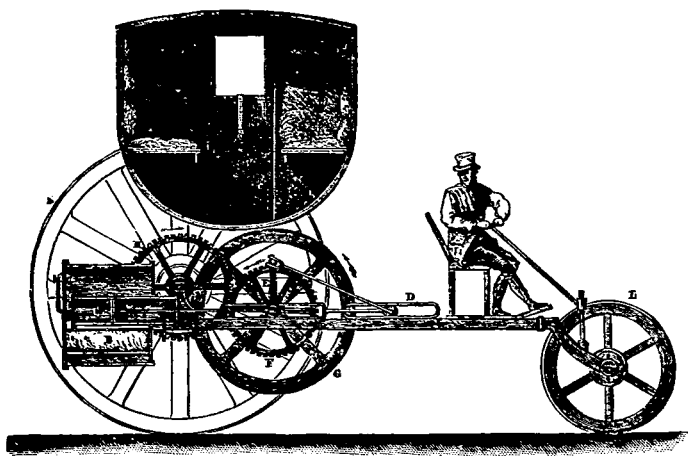
экипажную ось. Маховикъ *G* служитъ для преодоленія мертвыхъ точекъ. Положеніе рулевого колеса *L* опредѣляетъ направленіе, въ которомъ долженъ двигаться экипажъ.

Оказалось, однако, что этотъ экипажъ не годится для обыкновенныхъ дорогъ. Вслѣдствіе сильнаго тренія его движеніе требовало слинкомъ большой движущей силы, а вслѣдствіе постоянныхъ толчковъ машина портилась очень скоро.

Поэтому Тревитгикъ и Вивіанъ рѣшили построить экипажъ, который бы двигался по рельсамъ. Въ копячь давно уже пользовались рельсами для облегченія передвиженія повозокъ съ большой нагрузкой. Въ Германіи уже въ XVI вѣкѣ были дороги съ деревянными рельсами. Когда во второй половинѣ XVIII вѣка желѣзо стало значительно дешевле, деревянные рельсы были замѣнены желѣзными.

Въ 1804 году начали ставить паровые экипажи на рельсы, съ хорошимъ успѣхомъ. Дальнѣйшее развитіе желѣзныхъ дорогъ было, однако, сильно задержано невѣрными

Рис. 107



Уличный паровой экипажъ Тревитгика и Вивіана.

взглядами на треніе. Именно, думали, что треніе между рельсами и колесами слишкомъ незначительно, чтобы паровой повозкой можно было пользоваться для передвиженія большихъ тяжестей. Поэтому прибѣгали къ зубчатымъ колесамъ и зубчатымъ рельсамъ, какъ это дѣлается теперь въ горныхъ желѣзныхъ дорогахъ, или же между рельсами помѣщали капать, который, наматываясь на валъ, тянулъ машину. Дошли даже до того, что построили локомотивъ, подталкивавшійся сзади особой упорной.

Наконецъ, англійскій инженеръ Блакеттъ далъ въ 1813 году опытное доказательство того, что треніе между гладкими рельсами и колесами гораздо больше, чѣмъ принималось до того времени. Этимъ было устранено существенное препятствіе къ усовершенствованію желѣзныхъ дорогъ. Однако, локомотивы были еще слишкомъ плохи, а именно, они развивали слишкомъ мало силы по сравненію со своимъ вѣсомъ.

114. Около этого времени за задачу сооруженія пригоднаго локомотива взялся Джорджъ Стефенсонъ. Стефенсонъ родился въ 1781 году въ Вайламѣ близъ

Ньюкастля. Его отецъ былъ рабочимъ въ сосѣдней угольной копи, гдѣ долженъ былъ присматривать за Ньюкоменовской машиной. Молодой Стефенсонъ росъ въ стѣсненныхъ, но счастливыхъ условіяхъ, такъ какъ имѣлъ хорошихъ родителей. Еще мальчикомъ онъ долженъ былъ помогать имъ зарабатывать пропитаніе и потому онъ не получилъ школьнаго образованія. Въ возрастѣ 17 лѣтъ онъ получилъ мѣсто машиниста, приносившее ему 10 шиллинговъ (около 5 рублей) въ недѣлю. Теперь онъ имѣлъ возможность учиться чтенію и письму въ одной вечерней школѣ. Нѣсколько лѣтъ спустя онъ сталъ тормазчикомъ. Въ этой должности онъ долженъ былъ присматривать за ходомъ машины при движеніи подъемныхъ корзинъ въ шахтахъ.

На 21 году жизни Стефенсонъ женился, но уже спустя четыре года, въ 1806 году, онъ потерялъ свою жену. Послѣ смерти жены Стефенсонъ передалъ своего трехлѣтняго сына въ семью одного друга и переѣхалъ въ Шотландію, чтобы здѣсь получить мѣсто надсмотрщика при машинѣ Ватта. На этомъ мѣстѣ онъ имѣлъ прекрасный случай подробно ознакомиться съ новой машиной. Уже черезъ годъ Стефенсонъ вернулся на родину. Онъ тотчасъ же поступилъ на свое прежнее мѣсто, но вскорѣ затѣмъ получилъ повышеніе въ старшіе машинисты. Въ это время въ новой угольной копи ставили машину Ньюкомена для выкачиванія воды; это, однако, не удавалось. Стефенсонъ взялся устранить воду въ теченіе одной недѣли и, хотя инженеръ копи сомнѣвался въ удачѣ, онъ все же согласился на предложеніе Стефенсона. Послѣдній усилилъ котель, такъ что тотъ могъ выдерживать большее давленіе пара, и принялъ мѣры къ тому, чтобы конденсація пара происходила быстро. Спустя 6 дней вода изъ копи была выкачана, а Стефенсонъ получилъ мѣсто старшаго машиниста у той компаніи, которой принадлежала копь, съ содержаніемъ въ 1800 шиллинговъ (около 900 рублей).

Теперь Стефенсонъ стремился къ знанію усерднѣе, чѣмъ когда-либо. Сначала онъ обучался у сына одного арендатора изъ той же мѣстности, а позднѣе его учителемъ сталъ его сынъ Робертъ. Послѣдній получилъ очень тщательное образованіе и каждый день ѣздилъ въ Ньюкастль для посѣщенія тамошней школы. По вечерамъ отецъ и сынъ вмѣстѣ повторяли то, что послѣдній выучилъ въ школѣ, и читали техническія и научныя сочиненія, которыя сынъ бралъ изъ бібліотеки въ Ньюкастлѣ. Этимъ, нѣсколько необычнымъ, путемъ отецъ пріобрѣлъ хорошія знанія, да и сынъ извлекъ пользу изъ этой совмѣстной работы. Именно, онъ научился отъ отца понимать чертежи безъ чтенія соотвѣтствующаго текста, что позднѣе очень пригодилось ему.

115. Опыты Блакетта надъ треніемъ (§ 113) производились въ томъ самомъ мѣстечкѣ, гдѣ родился Джорджъ Стефенсонъ и гдѣ постоянно дѣлались пробы съ локомотивами. Стефенсонъ очень интересовался этими новыми „машинами“ д.т.т. ѣзды, слѣдилъ за опытами съ величайшимъ вниманіемъ и находилъ, что существенный недостатокъ ихъ лежалъ въ устройствѣ самой машины. Стефенсону хотѣлось построить практичную машину для ѣзды и владѣльцы копей близъ Киллингворта, у которыхъ онъ служилъ старшимъ машинистомъ, предоставили въ его распоряженіе необходимыя средства. Важнѣйшія улучшенія, внесенныя имъ въ машину, были слѣдующія.

Прежде всего онъ позаботился о томъ, чтобы котель давалъ больше пара, что усилило бы машину. Чтобы достигъ этого, онъ увеличилъ поверхность испаренія и

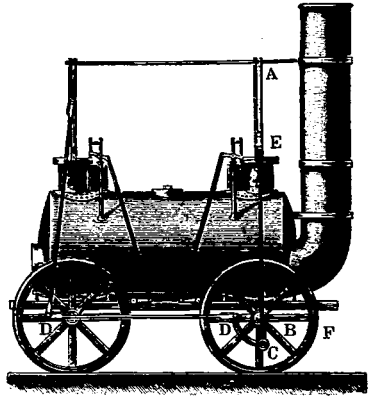
сталь выпускать отработавшій парь въ дымовую трубу, что значительно усиливало тягу въ топкѣ. Затѣмъ онъ постарался устранить сотрясенія и толчки, поставивъ котель и машину на рессоры. Наконецъ, онъ соединилъ переднее колесо локомотива съ заднимъ при помощи штанги *DD* (рис. 108), такъ что эти два колеса должны были двигаться одно вмѣстѣ съ другимъ и поэтому не такъ легко скользили на рельсахъ. Машина имѣла два цилиндра и ея поршни были поставлены такъ, что каждый изъ нихъ помогаль другому проходить черезъ мертвыя точки.

Изображенная на рис. 108 первая машина Стефенсона стала прообразомъ всѣхъ позднѣйшихъ локомотивовъ. Въ ближайшее затѣмъ время различныя машины этого рода были построены отчасти для копей въ Киллингвортѣ, отчасти же для другихъ рельсовыхъ дорогъ. Въ 1825 году была открыта дорога между Стоктономъ и Дарлингтономъ. Здѣсь локомотивъ впервые былъ примѣненъ для болѣе значительныхъ разстояній и (съ 1828 года) для правильного пассажирскаго движенія.

116. Одинъ изъ локомотивовъ Стефенсона попалъ въ 1828 году во Францію, гдѣ его работоспособность и скорость были испытаны ставшимъ позднѣе столь знаменитымъ инженеромъ Маркомъ Сегеномъ (1786—1875). Оказалось, что локомотивъ проходилъ всего три четверти мили въ часъ, и Сегенъ понялъ, что котель долженъ давать гораздо больше пара и что, слѣдовательно, поверхность испаренія должна быть значительно увеличена. Поэтому онъ проложилъ въ котлѣ нѣсколько узкихъ трубокъ, чрезъ которыя горячѣ газы пламени должны были проходить по пути въ дымовую трубу, имѣя возможность, такимъ образомъ, отдавать водѣ въ котлѣ гораздо болѣе значительное количество тепла. Сегенъ производилъ свои опыты съ котломъ на паровой лодкѣ. Стефенсонъ тотчасъ же подхватилъ его идею и устроилъ на локомотивѣ трубчатый котель, съ которымъ онъ и принялъ участіе въ 1829 году въ знаменитомъ состязаніи локомотивовъ на дорогѣ между Ливерпулемъ и Манчестеромъ.

Приложеніе трубокъ въ водяныхъ котлахъ для лучшаго использованія тепла было извѣстно, впрочемъ, уже и въ древности. На рис. 109 изображенъ найденный въ Помпеяхъ котель, имѣющій сходство

Рис. 108



Первый локомотивъ Стефенсона.

Рис. 109

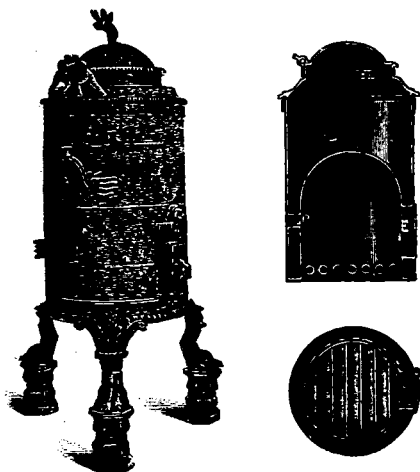


Водотрубный котель изъ Помпей.

Водотрубный котель изъ Помпей.

съ русскимъ самоваромъ. Нижняя болѣе широкая часть котла имѣла каналъ для огня, который наполнялся раскаленными угольями. Сквозь укрѣпленную у дна котла рѣшетку выбрасывалась зола и вступалъ воздухъ. Рѣшетка древняго котла имѣла извѣстныя

Рис. 110



Водотрубный котель изъ Помпей.

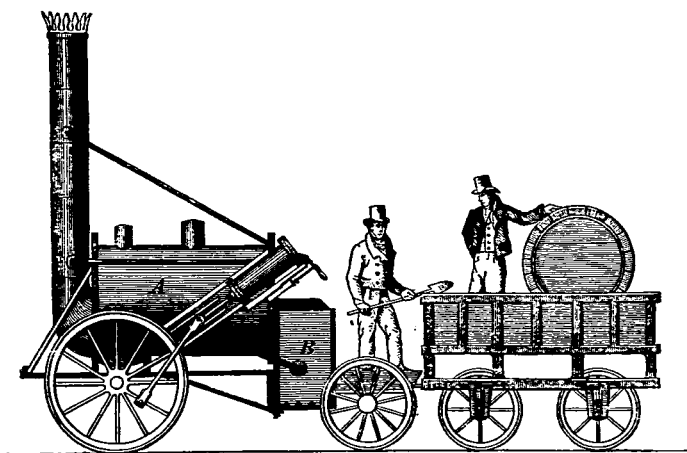
преимущества передъ рѣшеткой самовара, именно въ томъ, что она состояла не изъ массивныхъ стержней, а изъ трубокъ и потому была гораздо прочнѣе, такъ какъ эти трубки наполнялись водою. Въ силу этого одновременно достигалась и экономія въ топливѣ, такъ какъ тепло, отданное рѣшеткѣ, переходило въ воду.

Другой Помпейскій котель, въ которомъ система трубокъ видна яснѣе, изображенъ на рис. 110. Въ немъ топочное пространство имѣетъ форму купола и вмѣстѣ съ рѣшеткой представляетъ большую поверхность для нагрѣванія воды. Сквозь *E* входитъ свѣжій воздухъ, а сквозь *e* продукты горѣнія удаляются въ дымовую трубу.

117. Стефенсонъ самъ руководилъ постройкой рельсоваго пути между названными выше городами, но собствен-

ники дороги никакъ не могли придти къ согласному рѣшенію, пользоваться ли локо-

Рис. 111

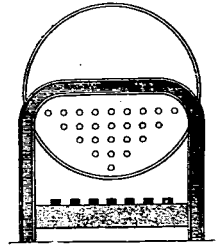


Локомотивъ Стефенсона „Rocket“.

мотивомъ, какъ движущей силой. Только когда дорога была почти окончена, Стефенсонъ получилъ разрѣшеніе сдѣлать опытъ съ перевозкой нагруженныхъ вагоновъ-

токъ при помощи локомотива. Это оказалось чрезвычайно выгоднымъ и потому управление дороги рѣшилось предложить премию въ 500 фунтовъ стерлинговъ (около 5000 рублей) за лучший локомотивъ, удовлетворяющій извѣстнымъ требованіямъ. Конкурсъ былъ назначенъ на 6 октября 1829 года и кромѣ Стефенсонова локомотива „The Rockett“ (Ракета) въ немъ приняли участіе еще нѣсколько другихъ, въ томъ числѣ „Novelty“ (Новость) Джона Эрикссона.

Котель „Rockett“ раздѣлялся на собственно котель А (рис. 111) и на желѣзный ящикъ В съ двойными стѣнками, въ которомъ помѣщалась топка. Промежутокъ между двойными стѣнками сообщался съ котломъ А, такъ что вода изъ послѣдняго переходила въ желѣзный ящикъ и здѣсь окружала огонь со всѣхъ сторонъ. Получающіеся при горѣніи газы уходили по 25 трубкамъ, лежавшимъ въ главномъ котлѣ (рис. 112), въ дымовую трубу, въ которой отработавшій паръ производилъ сильную тягу.

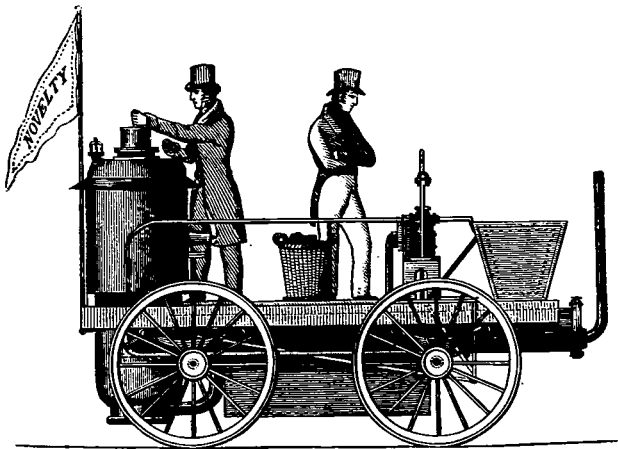


Котель „Rockett“.

Эта машина имѣла два цилиндра, по одному съ каждой стороны котла. Стержни поршней и шатуны дѣйствовали на два кривошипа, расположенные подъ прямымъ угломъ другъ къ другу. Съ локомотивомъ былъ связанъ особый вагонъ, тендеръ, на которомъ возились вода и уголь. Вода доставлялась котлу непрерывно нагнетательнымъ насосомъ; за топкой могъ присматривать одинъ человекъ.

„Rockett“ вѣсила 8500 фунтовъ и имѣла нѣсколько неуклюжій видъ, но была сработана очень тщательно во всѣхъ отношеніяхъ.

Рис. 113



Локомотивъ Эрикссона „Novelty“.

Машина Эрикссона „Novelty“ (Новость) была построена гораздо эlegantнѣе, вѣсила вдвое меньше „Rockett“ и не имѣла тендера (рис. 113). И въ этой машинѣ

тяга въ трубѣ производилась искусственно, но не при помощи отработавшаго пара, а при помощи мѣховъ, приводившихся въ движеніе машиной.

При первой пробной поѣздкѣ „Rockett“ достигла скорости трехъ миль въ часъ, тогда какъ „Novelty“ дала вдвое большую скорость, такъ что, повидимому, побѣда была одержана ею. Но на слѣдующій день машина Эрикссона не могла принять участія въ дальнѣйшихъ пробныхъ поѣздкахъ, такъ какъ ея мѣха испортились, а котель пострадалъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ. Напротивъ того, „Rockett“ находилась въ безупречномъ состояніи и при дальнѣйшихъ пробахъ достигла скорости 7·5 миль въ часъ.

Рис. 114



Джорджъ Стефенсонъ.

Изъ остальныхъ машинъ ни одна не могла мѣряться сколько-нибудь съ „Rockett“ и призъ былъ присужденъ Стефенсону. Машина Эрикссона заслужила одобрение за изящество постройки, но она была слишкомъ сложна и выполнена недостаточно прочно.

118. Побѣдою Стефенсона былъ рѣшенъ вопросъ о примѣненіи пара къ движенію на желѣзныхъ дорогахъ. Локомотивъ былъ введенъ сначала на дорогѣ между Ливерпулемъ и Манчестеромъ и въ то время какъ въ Англии, такъ и на континентѣ были задуманы обширныя желѣзнодорожныя постройки. Дорога изъ Ливерпуля въ Манчестеръ была открыта для движенія въ 1830 году. Первой желѣзной дорогой въ Германіи (открытой въ 1835 году) былъ путь въ 6 км отъ Нюрнберга до Фирта.

Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ поверхность представляла препятствія для прокладыванія

жельзанныхъ дорогъ, инженерамъ приходилось рѣшать множество трудныхъ задачъ. И въ этой области Стефенсонъ прокладывалъ новые пути. Онъ прорывалъ туннели, велъ рельсовые пути черезъ болота и строилъ мосты. При этихъ работахъ, впрочемъ, руководящей силой былъ Робертъ Стефенсонъ. Онъ получилъ хорошее образованіе, посѣщалъ университетъ въ Эдинбургѣ и три года работалъ въ Южной Америкѣ въ качествѣ инженера. Съ 1827 года онъ работалъ вмѣстѣ со своимъ отцомъ и принималъ участіе въ постройкѣ дороги изъ Ливерпуля въ Манчестеръ. Робертъ Стефенсонъ создалъ себѣ имя главнымъ образомъ, какъ строитель мостовъ. Извѣстнѣйшими изъ мостовъ его постройки являются жельзнодорожный мостъ черезъ рѣку Тайнъ у Ньюкастля, мостъ „Britannia“, соединяющій островъ Англезіи съ англійскимъ берегомъ, и мостъ Викторіи, длиною почти въ полмили, перекинутый надъ рѣкою Св. Лаврентія на высотѣ 20 м.

Джорджа Стефенсона приглашали въ качествѣ совѣтника при постройкѣ первыхъ жельзныхъ дорогъ почти во всѣхъ европейскихъ государствахъ. Благодаря его авторитетнымъ указаніямъ, жельзныя дороги строились прочно и потому быстро входили въ употребленіе.

Конечно, Стефенсонъ сталъ богатымъ человѣкомъ. Въ 1831 году онъ купилъ имѣніе Снибстонъ, гдѣ управлялъ работой въ угольныхъ копяхъ. Здѣсь онъ стремился создать для своихъ рабочихъ возможно благопріятныя жизненныя условія. Онъ заботился о томъ, чтобы они имѣли хорошія и уютныя жилища, и строилъ церкви и школы, чтобы дѣти рабочихъ могли получать образованіе, котораго самъ онъ въ дѣтствѣ былъ лишень. Онъ умеръ въ 1848 году.

Природа теплоты

119. Что такое теплота? Вопросъ этотъ задавали себѣ еще древніе философы и естествоиспытатели. Относительно природы теплоты было два существенно различныхъ взгляда: одни представляли себѣ теплоту, какъ вещество, которое переходитъ отъ одного тѣла къ другому; другіе разсматривали ее, какъ нѣкоторый родъ движенія.

Нетрудно найти подтвержденія для каждаго изъ этихъ взглядовъ въ явленіяхъ повседневной жизни. Представленіе о теплотѣ, какъ о веществѣ, очень хорошо согласуется съ тѣми представленіями, которыя мы обычно связываемъ съ понятіями о нагрѣваніи и охлажденіи тѣлъ.

Согласно первому взгляду, тѣло нагрѣвается или охлаждается, когда оно получаетъ или отдаетъ тепловое вещество (теплородъ). И такъ какъ мы нерѣдко видимъ, что нагрѣваніе одного тѣла влечетъ за собою охлажденіе другого, то естественно представить себѣ теплоту, какъ нѣкоторое вещество, которое переходитъ отъ одного тѣла къ другому.

Но съ другой стороны, еще въ самой глубокой древности знали, что два тѣла нагрѣваются, если тереть ихъ одно о другое (§ 1). Здѣсь не можетъ быть рѣчи о переходѣ теплоты отъ одного тѣла къ другому, такъ какъ тѣла нагрѣваются и въ томъ случаѣ, если до тренія они оба были холодными. Отсюда было естественно заключить, что существуетъ связь между движеніемъ (посредствомъ котораго производится треніе) и теплотой (развиваемой треніемъ). Къ этому выводу, дѣйствительно,

и пришли древніе греческіе философы. Тѣмъ не менѣе, теорія теплорода имѣла приверженцевъ еще и въ XIX столѣтіи.

Геронъ (ср. I, § 209) объяснялъ процессъ нагрѣванія тѣлъ предположеніемъ, что въ нагрѣваемое тѣло проникаютъ матеріальныя частички. Впослѣдствіи это воззрѣніе было расширено допущеніемъ, что холодъ также представляетъ особое вещество. Гассенди (1508—1588) усматривалъ подтвержденіе этого взгляда въ томъ фактѣ, что при смѣшеніи воды съ селитрой развивается холодъ, подобно тому какъ при смѣшеніи другихъ веществъ (напримѣръ, воды съ сѣрной кислотой) образуется теплота. Представленіе о теплотѣ, какъ о веществѣ, удерживалось все время господства философіи Аристотеля, такъ какъ его четыре элемента: огонь, земля, вода и воздухъ тоже считались веществами.

Но въ XVI и XVII вѣкахъ, съ возрожденіемъ свободнаго научнаго изслѣдованія стали раздаваться голоса противъ воззрѣнія на теплоту, какъ на вещество. Такъ, напримѣръ, Фрэнсисъ Бэконъ (I, § 167) говоритъ, что при нагрѣваніи не можетъ происходить передача вещества, потому что тѣло, отдающее теплоту, нисколько не теряетъ въ своемъ вѣсѣ; а такъ какъ всѣ тѣла могутъ быть нагрѣты посредствомъ тренія, то этимъ исключается возможность существованія особаго теплового вещества. Согласно взгляду Бэкона теплота „есть расширительное движеніе, совершаемое мельчайшими частичками тѣла“.

120. Послѣ Бэкона многіе физики старались путемъ взвѣшиванія рѣшить вопросъ, представляетъ ли собою теплота вещество въ обычномъ смыслѣ слова? Такъ, въ концѣ XVIII вѣка, когда приложеніе вѣсовъ открыло химіи новые пути, дѣлались попытки рѣшить при помощи вѣсовъ и вопросъ о природѣ теплоты. Но опыты въ этомъ направленіи не привели къ опредѣленнымъ выводамъ. Нѣкоторые наблюдатели находили даже, что нагрѣтое тѣло вѣситъ меньше, чѣмъ холодное, что, впрочемъ, нетрудно объяснить. Въ самомъ дѣлѣ, когда нагрѣтое тѣло кладутъ на чашку вѣсовъ, окружающій воздухъ нагрѣвается и благодаря этому надъ чашкой вѣсовъ образуется восходящее воздушное теченіе; кромѣ того, нагрѣтое тѣло вытѣсняетъ болѣе объемъ воздуха и потому, дѣйствительно, вѣситъ (въ воздухѣ) нѣсколько меньше, чѣмъ въ холодномъ состояніи.

Въ 1799 году графъ Румфордъ произвелъ весьма точное взвѣшиваніе этого рода. Онъ налилъ въ три одинаковыя бутылки равныя по вѣсу количества воды, спирта и ртути. Обмотавъ горлышки бутылокъ серебряной проволокой, онъ достигъ совершеннаго равенства вѣсовъ. Затѣмъ онъ помѣстилъ бутылки въ комнату съ температурой ниже 0° и, когда бутылки приняли температуру комнаты, снова взвѣсилъ ихъ. Оказалось, что бутылки съ ихъ содержимымъ въ точности сохранили свой прежній вѣсъ несмотря на то, что вода обратилась въ ледъ и, слѣдовательно, отдавъ свою скрытую теплоту таянія. Отсюда Румфордъ вывелъ заключеніе, что взвѣшиваніемъ нельзя доказать существованія особаго теплового вещества. Тѣмъ же опытомъ опровергалась и весьма удивительная теорія, согласно которой теплородъ имѣетъ отрицательный вѣсъ. Этотъ „отрицательный вѣсъ“ объясняли тѣмъ, что теплородъ отталкивается землей и находится поэтому подъ вліяніемъ силы, направленной вертикально снизу вверхъ. Вслѣдствіе этого тѣло при нагрѣваніи должно было бы терять часть своего вѣса.

121. Вопросъ о природѣ теплоты занималъ графа Румфорда уже и раньше;

его наблюденія не согласовались съ представляемъ о существованіи теплорода. Первое наблюденіе его относится къ 1778 году, но лишь двадцать лѣтъ спустя, т. е. въ 1798 году, онъ произвелъ опытъ, который имѣлъ рѣшающее значеніе.

Первоначальное имя графа Румфорда было Бенджаминъ Томпсонъ. Онъ родился въ 1753 году въ Вобёрнѣ (Woburn), въ штатѣ Массачузетсъ. Онъ рано лишился отца и его мать вторично вышла замужъ. Одно духовное лицо приняло въ немъ участіе и дало ему хорошее образованіе, особенно по математикѣ. Еще молодымъ юношей онъ сдѣлался сельскимъ учителемъ, а 19 лѣтъ онъ женился на дочери священника изъ Румфорда. Когда вспыхнула американская война за освобожденіе, Томпсонъ примкнулъ къ королевской партіи и вступилъ въ армію. Въ 1774 году онъ вынужденъ былъ бѣжать въ Бостонъ, который тогда былъ занятъ англійскими войсками. Два года спустя англичане были изгнаны и Томпсонъ былъ посланъ съ важнымъ порученіемъ въ Англію. Во время своего пребыванія въ Лондонѣ онъ началъ свои физическія изслѣдованія и въ 1778 году сталъ членомъ Royal Society.

Рис. 115



Графъ Румфордъ.

Затѣмъ онъ вторично принялъ участіе въ американской войнѣ и въ 1783 году послѣ заключенія мира онъ вернулся въ Лондонъ, гдѣ получилъ назначеніе по военному министерству. Занимая это положеніе, Томпсонъ оказывалъ сильное вліяніе на различныя стороны военного дѣла. Въ 1784 году онъ покинулъ Англію, чтобы поступить на службу къ курфюрсту баварскому. Здѣсь онъ проявилъ чрезвычайно разностороннюю дѣятельность. Онъ занимался научными изслѣдованіями и сдѣлался членомъ различныхъ ученыхъ обществъ. Въ качествѣ военного министра онъ реформиро-

валъ баварскую армію, за что былъ награжденъ различными отличіями, а въ 1790 году получилъ титулъ графа Румфорда. Наконецъ, онъ занимался и рѣшился различныя вопросы общественной жизни. Онъ основывалъ техническую школу и организовывалъ рабочіе дома, чѣмъ искоренилъ въ Мюнхенѣ нищенство. Онъ старался различными способами придти на помощь бѣдному люду: строилъ печи, требовавшія небольшого количества топлива, вводилъ паровое отопленіе, указывалъ, какъ изготовлять дешевую и прочную одежду, а также дешевыя и питательныя пищевыя вещества (Румфордовъ супъ). Между прочимъ, онъ обратилъ вниманіе и на разведеніе картофеля. Ему же Мюнхенъ обязанъ своимъ англійскимъ садомъ, который онъ устроилъ, имѣя въ виду менѣе состоятельную часть населенія.

Съ 1799 года Румфордъ вновь поселился въ Лондонѣ. Въ этомъ году онъ принялъ близкое участіе въ учрежденіи Royal Institution; это учрежденіе ставило себѣ задачей „распространять науку, способствовать введенію полезныхъ механическихъ изобрѣтеній и улучшеній и путемъ естествонаучныхъ лекцій и опытовъ давать указанія, какъ примѣнять науку для потребностей обыденной жизни“. Въ послѣдствіи во главѣ Royal Institution стояло нѣсколько знаменитѣйшихъ физиковъ, какъ Гёмфри Дэви и Майкель Фарадэй, а въ послѣднее время въ лабораторіи этого института было сдѣлано множество чрезвычайно важныхъ изслѣдовацій. Равнымъ образомъ, институтъ превосходно справился съ задачей сдѣлать сокровища естествознанія доступными широкимъ слоямъ образованныхъ людей. Въ этомъ отношеніи Royal Institution пѣслужилъ образцомъ для аналогичныхъ учреждений въ другихъ странахъ.

Послѣдніе годы своей жизни Румфордъ прожилъ въ Отейль (Auteuil) вблизи Парижа. Онъ женился на вдовѣ Лавуазье, но спустя короткое время разошелся съ нею. Румфордъ умеръ въ 1814 году.

122. Физическія изслѣдовація Румфорда посвящены главнымъ образомъ теплотѣ. Онъ самъ обстоятельно рассказываетъ о томъ, что побудило его взяться за опыты относительно природы теплоты. „Когда я присутствовалъ недавно въ Мюнхенскомъ арсеналѣ при сверленіи пушки, меня поразила высокая температура, которую металлъ быстро принималъ при сверленіи, и еще болѣе высокая температура металлическихъ стружекъ, которая превышала температуру кипѣнія воды.

Чѣмъ больше я размышлялъ объ этомъ явленіи, тѣмъ интереснѣе и замѣчательнѣе казалось оно мнѣ. Я надѣялся, что тщательное изслѣдованіе этого явленія позволитъ глубже проникнуть въ неизвѣстную природу теплоты и дастъ возможность рѣшить вопросъ, о которомъ расходятся мнѣнія ученыхъ всѣхъ временъ: существуетъ ли или не существуетъ огнеподобный флуидъ (жидкость)?

Откуда берется теплота, обнаруживающаяся при указанномъ выше механическомъ процессѣ (сверленіи)? Не изъ металлическихъ ли стружекъ, которыя сверло отрѣзываетъ отъ сплошной массы металла?

Если это такъ, то, принимая во вниманіе новое ученіе о скрытой теплотѣ и теплоемкости, мы должны предположить, что теплоемкость той части металла, которая превратилась въ стружки, измѣнилась и притомъ въ такой степени, что этому измѣненію можно приписать всю развивающуюся теплоту“. Дѣйствительно, если теплоемкость уменьшилась, то при томъ же количествѣ теплоты температура стружекъ должна повыситься.

Опредѣливъ теплоемкость металлическихъ стружекъ, Румфордъ нашелъ, что

величина ея такова же, какъ и у самого металла. Итакъ, появленіе теплоты' нельзя было приписать измѣненію теплоёмкости. Румфордъ доказалъ это еще и слѣдующимъ образомъ: онъ замѣнилъ острый буравъ тупымъ и давилъ имъ на металлъ съ силою приблизительно въ 10000 фунтовъ, такъ что металлъ теперь оказывалъ вращенію такое же сопротивленіе, какъ и при сверленіи острымъ буравомъ; на этотъ разъ сверло давало лишь ничтожное количество металлическаго порошка и тѣмъ не менѣе металлъ нагрѣлся весьма сильно.

Тогда Румфордъ пожелалъ удостовѣриться, что теплота получается не изъ окружающаго воздуха. Металлическій цилиндръ, который нужно было просверлить, онъ помѣстилъ въ деревянный ящикъ, наполненный водою, пустилъ въ ходъ буравъ и нашель, что и въ водѣ теплота развивается не хуже, чѣмъ въ воздухѣ. Послѣ $2\frac{1}{2}$ часовъ сверленія вода (въ количествѣ 19 фунтовъ) закипѣла. „Трудно“, пишетъ Румфордъ, „описать недоумѣніе и удивленіе, отразившіяся на лицахъ присутствующихъ, когда они увидѣли, что столь большое количество воды было доведено до кипѣнія безъ помощи огня“.

„Дѣлая выводы изъ этихъ опытовъ, мы не должны упускать изъ виду, что источникъ теплоты, образующейся при треніи, очевидно, неисчерпаемъ. Врядъ ли нужно прибавлять, что нельзя считать веществомъ то, что можно получить въ неограниченномъ количествѣ изъ изолированнаго тѣла, т. е. не находящагося въ связи съ другими тѣлами, и трудно или даже невозможно представить себѣ теплоту иначе, какъ нѣкоторое движеніе.—Я отнюдь не хочу утверждать, будто мнѣ извѣстно, какимъ образомъ возникаетъ и поддерживается и какъ распространяется это своеобразное движеніе; я не желаю высказывать необоснованныхъ предположеній, тѣмъ болѣе, что этотъ вопросъ напрасно старались выяснитъ величайшіе ученые уже цѣлыя тысячелѣтія. Но еслибы даже механическая природа теплоты и относилась къ числу тѣхъ тайнъ природы, пониманіе которыхъ недоступно человѣческому уму, то все же это обстоятельство не должно насъ смущать и не должно препятствовать намъ продолжать наши изслѣдованія о законахъ дѣйствія теплоты. Какъ далеко сможемъ мы подвинуться впередъ по путямъ, открытымъ для насъ наукой, прежде чѣмъ насъ окутаютъ густыя туманы, заволакивающіе горизонтъ человѣческаго разума со всѣхъ сторонъ? Но какъ богата и интересна и та область, которая намъ доступна!“

Румфордъ вычислилъ количество теплоты, развиваемой въ описанныхъ опытахъ, и такъ какъ онъ зналъ, что лошадь могла приводить въ движеніе его буравъ, то онъ имѣлъ возможность сравнить полученное количество теплоты съ рабочей силой лошади. Въ результатѣ своего вычисленія онъ нашель, что теплота, получаемая такимъ образомъ, обходится слишкомъ дорого и что можно получить большее количество теплоты, сжигая кормъ лошади, такъ что получать теплоту помощью тренія было бы невыгодно.

123. Статья Румфорда объ этомъ предметѣ была напечатана въ 1798 году въ изданіяхъ Royal Society. Годъ спустя молодой химикъ въ Бристолѣ обнаружилъ нѣсколько чрезвычайно остроумныхъ опытовъ по тому же самому вопросу. Этотъ молодой человекъ былъ Гёмфри Дэви. Онъ родился въ 1778 году въ Пензансѣ (Реп-запсе, въ Корнуоллѣ) въ семьѣ бѣднаго рѣзчика по дереву. Получивъ скудное первоначальное образованіе, онъ поступилъ въ ученіе къ одному хирургу. Тутъ онъ имѣлъ возможность познакомиться съ сочиненіями научнаго характера. Особенно при-

влекали его сочиненія по химіи. Ревностнымъ трудомъ онъ приобрѣлъ солидныя знанія и въ 1798 году двадцатилѣтній молодой человекъ получилъ сравнительно хорошую должность въ одной химической лабораторіи въ Бристолѣ; здѣсь работа его состояла въ приготовленіи различныхъ газовъ, которые были незадолго передъ тѣмъ открыты и которые нужно было изслѣдовать со стороны ихъ значенія для медицины. Въ 1799 году онъ напечаталъ свой первый трудъ „О теплотѣ и свѣтѣ“, въ которомъ описывалъ свои опыты для выясненія природы теплоты. Благодаря своимъ гениальнымъ химическимъ изслѣдованіямъ онъ приобрѣлъ себѣ громкое имя и уже въ 1801 году былъ назначенъ профессоромъ въ Royal Institution (§ 121). Здѣсь онъ произвелъ цѣлый рядъ въ высшей степени важныхъ экспериментальныхъ изслѣдованій, съ частью которыхъ мы познакомимся въ дальнѣйшемъ.

Въ 1803 году Дэви сдѣлался членомъ Royal Society, а въ 1820 году—его президентомъ. Въ 1812 году онъ женился на очень богатой женщинѣ, въ слѣдующемъ году оставилъ свою должность въ Royal Institution и предпринялъ длинное путешествіе по Франціи и Италіи. Въ этомъ путешествіи его сопровождалъ ассистентъ Майкель Фарадэй, его знаменитѣйшій преемникъ въ Royal Institution.

Послѣдніе годы своей жизни Дэви провелъ главнымъ образомъ въ различныхъ путешествіяхъ, которыя онъ предпринималъ для поправленія своего надорваннаго здоровья. Во время одного такого путешествія въ 1828 году онъ заболѣлъ въ Римѣ, а въ началѣ 1829 года по пути на родину онъ умеръ въ Женевѣ.

124. Въ одномъ изъ своихъ опытовъ надъ теплотой Дэви заставлялъ ледъ таять, натирая однимъ кускомъ льда другой. При этомъ онъ замѣтилъ, что образующаяся вода имѣетъ болѣе высокую температуру, чѣмъ окружающій воздухъ, и такъ какъ теплоемкость воды приблизительно въ два раза превышаетъ теплоемкость льда (ср. § 54), то, конечно, нельзя было приписать возникновеніе теплоты измѣненію теплоемкости.

Въ то же время Дэви показалъ, что теплота, образующаяся при треніи, не заимствуется изъ окружающей среды. Онъ поставилъ подъ колоколъ воздушнаго насоса часовой механизмъ, который вращалъ дискъ, соприкасавшійся съ металлической пластинкой. Выкачавъ изъ-подъ колокола воздухъ, онъ окружилъ его водой, которая имѣла температуру тающего льда. Благодаря тренію дискъ и металлическая пластинка нагрѣвались и слой воска, которымъ была покрыта пластинка, таялъ. Въ этомъ опытѣ теплота, очевидно, не могла проникнуть черезъ холодную, какъ ледъ, воду и черезъ пустое пространство подъ колоколомъ. Дэви считалъ эти опыты неопровержимымъ доказательствомъ того, что теплота есть не вещество, а нѣкоторый родъ движенія.

Рис. 116



Гемфри Дэви.

Хотя опыты Румфорда и Дэви получили широкую извѣстность, тѣмъ не менѣе болѣе удобная въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ

теорія, что теплота есть нѣчто вещественное, нѣсколько времени сохраняла еще свое господство.

Въ ближайшій затѣмъ періодъ изслѣдователи произвели цѣлый рядъ изслѣдованій по вопросу о переходѣ теплоты отъ одного тѣла къ другому, а также отъ однихъ частичекъ тѣла къ другимъ. Эти изслѣдованія пролили новый свѣтъ на вопросъ о природѣ теплоты.

Лучистая теплота

Нѣтъ надобности прибѣгать къ научному изслѣдованію, чтобы убѣдиться, что во всѣхъ тѣлахъ теплота стремится распредѣлиться равномерно. Если помѣстить рядомъ теплыя и холодныя тѣла, то первыя отдають теплоту, а послѣднія приобрѣтають ее; и при извѣстныхъ условіяхъ теплота передается черезъ пространство съ громадной скоростью. Когда солнце проглядываетъ изъ-за тучи, закрывавшей его, то мы сейчасъ же ощущаемъ солнечную теплоту, какъ бы высоко надъ землею ни находилась туча. Скорость распространения теплоты такова же, какъ и скорость свѣта; подобно лучамъ свѣта, ея лучи распространяются въ пространствѣ и ихъ, подобно свѣтовымъ, можно собирать помощью вогнутыхъ зеркалъ (зажигательныя зеркала) и помощью чечевицъ (зажигательныя стѣкла). Это было извѣстно еще въ древности (ср. I, § 89 и 94). Делла Порта упоминаетъ объ этомъ въ своихъ сочиненіяхъ, замѣчая при томъ, что при помощи зеркала можно отражать и „холодъ“. Онъ не разсматриваетъ этого вопроса подробнѣе; зато Accademia del Cimento произвела интересный опытъ съ „излученіемъ холода“.

Академики помѣщали ледяную глыбу вѣсомъ въ 500 фунтовъ на значительномъ разстояніи отъ вогнутаго зеркала, въ фокусѣ котораго находился одинъ изъ ихъ термометровъ. Послѣдній тотчасъ же показывалъ значительное охлажденіе. Тогда они стали изслѣдовать, не обусловливается ли паденіе термометра непосредственнымъ воздѣйствіемъ ледяной глыбы, для чего помѣщали между термометромъ и зеркаломъ экранъ. При этомъ термометръ тотчасъ же принималъ температуру окружающаго воздуха. Итакъ, въ этомъ опытѣ охлажденіе не было вызвано непосредственнымъ дѣйствіемъ льда. Шарикъ термометра охлаждался лишь въ томъ случаѣ, когда на немъ концентрировались „лучи холода“, собранныя вогнутымъ зеркаломъ.

Подобнымъ же образомъ флорентійскіе академики изучали и излученіе теплоты нагрѣтыми тѣлами.

126. Терминъ „лучистая теплота“ сравнительно недавняго происхожденія. Его ввелъ шведскій химикъ Карль Вильгельмъ Шееле, который употребилъ его въ своемъ сочиненіи „О свѣтѣ и огнѣ“, появившемся въ 1778 году. Шееле проводилъ рѣзкое различіе между теплотой, которая подымается надъ огнемъ вмѣстѣ съ воздухомъ, и той теплотой, которую огонь излучаетъ по всѣмъ направленіямъ; послѣднюю можно ощутить, повернувшись лицомъ къ огню. Шееле и замѣтилъ, что „лучистая теплота“ обусловливается не нагрѣваніемъ воздуха, такъ какъ дѣйствіе лучистой теплоты не уменьшается и въ томъ случаѣ, когда между лицомъ и огнемъ проходитъ токъ холоднаго воздуха.

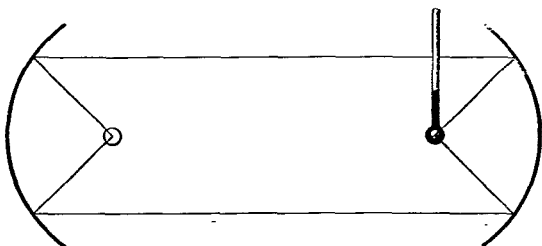
Затѣмъ Шееле сталъ изслѣдовать вопросъ, не приносится ли „лучистая теплота“ свѣтомъ, который испускается огнемъ. Съ этой цѣлью онъ собралъ тепловые лучи помощью вогнутаго зеркала и затѣмъ помѣстилъ кусокъ прозрачнаго стекла

между огнемъ и зеркаломъ. Оказалось, что свѣтовые лучи, испускаемые огнемъ, были попрежнему собраны зеркаломъ, но въ точкѣ соединенія лучей почти нельзя было обнаружить слѣдовъ теплоты. Шееле заключилъ отсюда, что „лучистую теплоту“ стекло поглотило, а свѣтовые лучи пропустило, такъ что свѣтовые лучи нельзя считать носителями „лучистой теплоты“.

Приблизительно за сто лѣтъ до того (1682) Мариоттъ (I, § 260) указывалъ на то же самое различіе между свѣтовыми и тепловыми лучами или, вѣрнѣе, между теплотой солнечныхъ лучей и теплотой, идущей отъ обыкновеннаго огня. Онъ нашель, что солнечная теплота почти совершенно не ослабляется при прохожденіи чрезъ стекло, такъ что ее можно собирать при помощи стеклянной чечевицы, тогда какъ теплота отъ огня камина не можетъ пройти сквозь тонкую стеклянную пластинку.

127. Въ 1779 году, т. е. годъ спустя послѣ появленія въ свѣтъ сочиненія Шееле „О свѣтъ и огнь“, было напечатано посмертное произведение Іоганна Генриха Ламберта (род. 1728 въ Мюльгаузенѣ, въ Эльзасѣ, ум. 1777 въ Берлинѣ) объ огнь и теплотѣ (Пирометрія). Ламбертъ занимался преимущественно свѣтовыми измѣреніями; онъ также пришелъ къ тому выводу, что распространеніе и отраженіе „лучей огня“ подчиняется тѣмъ же законамъ, какимъ подчиняются свѣтовые лучи. Онъ подчеркиваетъ то обстоятельство, что „темная теплота“, которую излучаетъ же-

Рис. 117



Опытъ Ламберта съ двумя вогнутыми зеркалами.

лѣзный шаръ, наполненный горячей водой, отражается отъ вогнутаго зеркала согласно законамъ отраженія свѣта. Для своихъ опытовъ онъ пользовался двумя вогнутыми (металлическими) зеркалами, которыя устанавливалъ одно противъ другого такъ, что ихъ оси лежали на одной прямой (рис. 117).

Такимъ же образомъ были расположены вогнутыя зеркала (изъ олова) и въ опытахъ надъ лучеиспусканіемъ теплоты, которые произвелъ женеvскій профессоръ М. А. Пикте (1752—1825). Его зеркала имѣли одинъ футъ въ діаметръ и помѣшались на разстояніи 12 футовъ другъ отъ друга. Когда въ фокусѣ одного зеркала помѣстили нагрѣтый, но не раскаленный шаръ, то въ термометръ, шарикъ котораго находился въ фокусѣ второго зеркала, ртуть поднялась на 13° С, тогда какъ другой термометръ, находившійся на такомъ же разстояніи отъ тѣла, но не въ фокусѣ зеркала, не обнаружилъ замѣтнаго нагрѣванія.

При замѣнѣ теплаго шара холоднымъ тѣломъ, напимѣръ, снѣгомъ или охладительной смѣсью, термометръ мгновенно падалъ ниже температуры окружающаго воздуха. Пикте сначала былъ сильно пораженъ этимъ явленіемъ, но вскорѣ нашель

ему объясненіе: онъ понялъ, что теперь термометръ игралъ роль тѣла, которое отдавало свою теплоту снѣгу или охладительной смѣси въ фокусъ второго зеркала. Такимъ образомъ, понятіе „лучей холода“ устранялось. Понятно, что это же объясненіе примѣнимо и къ опыту флорентійскихъ академикомъ со льдомъ (§ 125).

128. Другой женеvскій профессоръ, Пьеръ Прево (1751—1839), также пытался объяснить опытъ Пикте съ зеркалами. Въ 1791 году онъ напечаталъ статью „О равновѣсїи теплоты“, а впоследствии (1809) выпустилъ въ свѣтъ болѣе подробный трудъ по тому же вопросу.

Согласно взгляду Прево теплота (лучистая) состоитъ изъ чрезвычайно малыхъ частичекъ, которыя перемѣщаются съ огромной скоростью. Каждую точку поверхности нагрѣтаго тѣла онъ разсматривалъ, какъ центръ, который по всѣмъ направленїямъ излучаетъ частицы теплоты и къ которому такія же частицы притекають со всѣхъ сторонъ.

Все пространство по всѣмъ направленїямъ пронизано лучами, состоящими изъ этихъ тепловыхъ частицъ, и двѣ точки пространства находятся въ тепловомъ равновѣсїи, если за одинъ и тотъ же промежутокъ времени онѣ посылають другъ другу одинаковое число тепловыхъ частицъ. Если температура тѣла остается неизмѣнной, то это обусловливается тѣмъ, что тѣло отдаетъ окружающей средѣ столько же тепловыхъ частицъ, сколько въ свою очередь получаетъ отъ нея. „Такое тѣло можно сравнить съ озеромъ, въ которомъ отъ дождя прибываетъ столько же воды, сколько ея убываетъ благодаря одновременно происходящему испаренїю“.

129. Изъ изложеннаго воззрѣнїя Прево вытекають различныя слѣдствїя. Тепловое лучеиспусканіе тѣлъ для него является процессомъ взаимодѣйствїя тѣлъ. Не только теплое тѣло посылаетъ лучи холодному, но каждое тѣло излучаетъ теплоту въ окружающее пространство и величина лучеиспусканїя зависитъ отъ температуры тѣла и отъ свойствъ окружающей среды. Когда различныя тѣла имѣють одинаковую температуру, то ихъ излученїе другъ къ другу находится въ состоянїи уравновѣшеннаго излученїя, т. е. температура ихъ продолжаетъ оставаться неизмѣнной. Въ этомъ случаѣ каждое тѣло отъ излученїя получаетъ столько же тепловыхъ частицъ, сколько и отдаетъ.

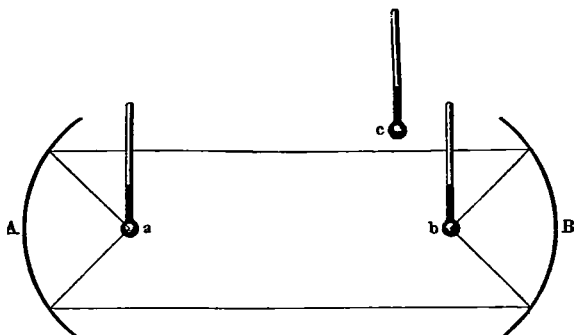
Благодаря лучеиспусканїю тѣло отдаетъ частицы теплоты, благодаря своей поглощательной способности (абсорпцїи) оно въ свою очередь получаетъ тепловыя частицы. Поэтому, въ случаѣ равновѣсїя лучеиспусканїе должно быть такъ же велико, какъ и поглощенїе.

Прежде чѣмъ перейти къ выводамъ, которые можно извлечь изъ понятїя объ уравновѣшенномъ излученїи, мы должны познакомиться съ изслѣдованїями, произведенными въ началѣ XIX столѣтїя по вопросу объ испусканїи и поглощенїи тепловыхъ лучей. Но предварительно мы воспользуемся понятїемъ о равновѣсїи излученїя для объясненїя опыта съ зеркалами Пикте (ср. § 127). Если въ фокусахъ обоихъ зеркалъ находятся тѣла одинаковой температуры, то между ними имѣетъ мѣсто равновѣсїе излученїя, такъ какъ оба тѣла посылають другъ другу одинаковое количество теплоты. Если же, напротивъ, одно изъ этихъ тѣлъ становится теплѣе другого, то оно начинаетъ испускать больше теплоты, тогда какъ другое тѣло продолжаетъ испускать прежнее количество теплоты. Поэтому болѣе теплое тѣло отдаетъ больше теплоты, чѣмъ получаетъ, т. е. оно теряетъ теплоту, тогда какъ менѣе теплое тѣло, получающее больше теплоты, чѣмъ само испускаетъ, нагрѣвается.

A и *B* (рис. 118) представляютъ два вогнутыхъ зеркала; въ ихъ фокусахъ *a* и *b* помѣщены два термометра, имѣющіе такую же температуру, какъ и термометръ *c*, находящійся на одномъ и томъ же разстояніи отъ обоихъ термометровъ *a* и *b*. Такимъ образомъ, всѣ три термометра находятся въ состояніи уравнишеннаго излученія. Мы замѣняемъ теперь термометръ *a* какимъ-нибудь очень холоднымъ тѣломъ. Въ термометръ *b* ртуть мгновенно падаетъ, тогда какъ термометръ *c* не обнаруживаетъ охлажденія. Какъ объяснить это явленіе, не прибѣгая къ представленію о „лучахъ холода“, собираемыхъ зеркаломъ *B* на шарикъ термометра *b*?

Прево объяснялъ это явленіе слѣдующимъ образомъ. Все время, пока три термометра находятся въ состояніи уравнишеннаго излученія, они всѣ испускаютъ одинаковое количество теплоты, но при этомъ термометръ *a* обмѣнивается съ термометромъ *b* значительно большимъ количествомъ теплоты, чѣмъ съ термометромъ *c*: на термометръ *b* помимо лучей, которые онъ получаетъ непосредственно отъ

Рис. 118



Объясненіе опыта Пикте.

термометра *a*, сосредоточивается еще конусъ лучей, отражаемыхъ дѣйствіемъ зеркалъ отъ *a* и *b*. Если же на мѣсто термометра *a* помѣстить холодное тѣло, то конусъ лучей отъ него уменьшается, термометръ *b* получаетъ теперь значительно меньше теплоты, а такъ какъ испускаетъ онъ столько же тепла, сколько и раньше, то температура его должна упасть. На термометръ же *c* холодное тѣло *a* оказываетъ лишь ничтожное вліяніе, такъ какъ, получая отъ *a* лишь непосредственные лучи, онъ въ то же время сохраняетъ прежній обмѣнъ тепла съ остальною окружающею средою, которая не измѣнила своей температуры.

130. Первая основательныя изслѣдованія о лученспусканіи теплоты были слѣдваны Джономъ Лесли и графомъ Румфордомъ.

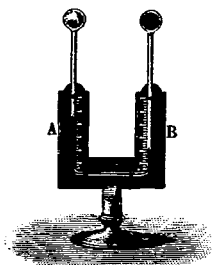
Сынъ бѣднаго столяра, Джонъ Лесли родился въ 1766 году въ Ларго, въ Шотландіи. Даровитый мальчикъ обратилъ на себя вниманіе приходскаго священника, который позаботился дать ему нѣкоторое образованіе; позже ему оказалъ поддержку графъ Киннуиль. 18 лѣтъ отъ роду Лесли поступилъ въ Эдинбургскій университетъ; здѣсь онъ отдался изученію теологіи, языкознанія и исторіи, такъ какъ согласно желанію своего покровителя онъ готовился быть священникомъ. Но кромѣ того онъ ревностно занимался математикой и физикой и такимъ образомъ получилъ всестороннее образованіе. Съ 1788 до 1800 года онъ совершилъ рядъ путешествій по

Америкѣ, гдѣ провель два года, и по различнымъ европейскимъ странамъ. Свои изслѣдованія о тепловомъ лученспусканіи онъ началъ еще въ пятидесятихъ годахъ, но первый его трудъ, посвященный этому вопросу, появился въ свѣтъ лишь въ 1804 году. Въ слѣдующемъ году онъ сдѣлался профессоромъ математики, а въ 1819 году профессоромъ физики въ Эдинбургскомъ университетѣ. Онъ всю жизнь оставался холостымъ и каникулы проводилъ обыкновенно въ путешествіяхъ. Лишь послѣдніе годы жизни онъ провель въ собственномъ помѣстьѣ вблизи мѣста своего рожденія. Здѣсь онъ и умеръ въ 1832 году.

131. Лесли былъ чрезвычайно искусный экспериментаторъ. Для изученія теплового лученспусканія онъ устроилъ два прибора: такъ называемый кубъ Лесли и дифференціальный термометръ. Тепловое излученіе тѣла опредѣляется его температурой и формой, размѣрами и свойствами его поверхности, а также свойствами окружающей среды, которую должны пронизывать лучи.

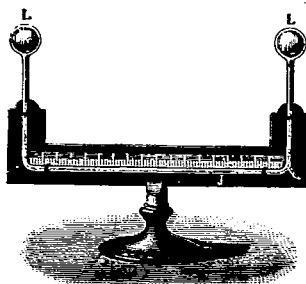
Съ помощью своего куба Лесли могъ изслѣдовать, какъ велико тепловое излученіе различнаго рода поверхностей одной и той же температуры, величины и формы.

Рис. 119



Дифференціальный термометръ Лесли.

Рис. 120



Дифференціальный термометръ Румфорда.

Боковыя грани его полаго латуннаго куба покрывались, тѣмъ или инымъ способомъ, тѣми веществами, тепловое излученіе которыхъ подлежало изслѣдованію. Наполнивъ свой кубъ горячей водой, Лесли ставилъ его передъ вогнутымъ зеркаломъ, которое собирало испускаемые кубомъ лучи на одномъ изъ двухъ шариковъ дифференціального термометра.

Дифференціальный термометръ (рис. 119) имѣетъ большое сходство съ закрытымъ воздушнымъ термометромъ Шотта (ср. § 13), но Лесли утверждаетъ, что приборъ былъ построенъ имъ самостоятельно. Отъ прибора Шотта термометръ Лесли отличается тѣмъ, что имѣетъ два шарика одинаковой величины и оба колѣна изогнутой трубки имѣютъ одинаковую длину. Воздухъ, заключенный въ одномъ шарикѣ, отдѣляется отъ воздуха въ другомъ столбикомъ окрашенной сѣрной кислоты, удобной тѣмъ, что она испаряется чрезвычайно мало. Диаметръ шариковъ равенъ приблизительно одному дюйму. Приборъ этотъ весьма чувствителенъ.

Графъ Румфордъ устроилъ дифференціальный термометръ, также не зная, по его словамъ, прежнихъ, мало отличныхъ формъ того же прибора. Заключенныя въ шарикахъ массы воздуха въ его термометрѣ были отдѣлены другъ отъ

друга не длиннымъ столбикомъ жидкости, а лишь одной каплей ея въ горизонтальной части соединительной трубки. Капля занимала средину трубки, если оба шарика имѣли одинаковую температуру (рис. 120).

Для изслѣдовацій тепловаго излученія дифференціальный термометръ имѣетъ большое преимущество передъ обыкновеннымъ: температура окружающаго воздуха не оказываетъ на него никакого вліянія, такъ какъ дѣйствіе ея на одинъ шарикъ уничтожается дѣйствіемъ на другой. Жидкость въ термометръ передвигается лишь въ томъ случаѣ, когда одинъ шарикъ (тотъ, на который падаютъ тепловые лучи) принимаетъ болѣе высокую температуру, чѣмъ другой. Показанія такого термометра не зависятъ также отъ давленія воздуха.

Лесли подвергалъ дѣйствію лучей, испускаемыхъ разными гранями куба, которыя покрывались различными веществами, одинъ изъ шариковъ дифференціального термометра; принимая, что количество лучей пропорціонально повышенію температуры, указываемому дифференціальнымъ термометромъ, онъ получилъ для лучеиспускательной способности различныхъ веществъ слѣдующія числа:

сажа	100	ртуть	20
бумага	98	свинецъ (блестящій)	19
кронгласъ	90	жельзо полированное	15
ледъ	85	олово, серебро, мѣдь, золото	12

Позже Меллони (§ 134) повторилъ опыты Лесли, пользуясь болѣе чувствительными приборами (§ 137). Онъ получилъ близкія къ указаннымъ числа; принимая испускательную способность сажи за 100, онъ, напримѣръ, нашель число 12 для блестящихъ металлическихъ поверхностей (4 для золота и 3 для серебра), 100 для свинцовыхъ бѣлил и 72 для шеллака.

Тепловое излученіе металловъ въ высокой степени зависитъ отъ способа ихъ обработки. Тепловое излученіе серебра, химически осажденнаго на мѣдной пластинкѣ, равно 5·3, тогда какъ для прокатаннаго между вальцами серебра оно равно 3, а для полированнаго—не больше 2·1. Чѣмъ плотнѣе наружный слой и чѣмъ глаже (блестящѣе) дѣлается поверхность металла при ковкѣ и полировкѣ, тѣмъ меньше его излученіе. Поэтому, когда желаютъ по возможности уменьшить потерю теплоты излученіемъ, поверхность соотвѣтственнаго предмета покрываютъ полированнымъ до блеска металломъ (ср. § 53).

Шероховатая поверхность излучаетъ гораздо больше тепла, чѣмъ блестящая полированная.

132. Не безынтересенъ очевидно вопросъ о томъ, какая толщина поверхностнаго слоя принимаетъ участіе въ тепловомъ излученіи. Для изслѣдовацій этого Меллони покрывалъ одну изъ полированныхъ граней куба Лесли равномернымъ слоемъ лака и затѣмъ опредѣлялъ величину излученія лакированной поверхности. Затѣмъ онъ накладывалъ на ту же грань куба еще одинъ слой лака и вторично опредѣлялъ излученіе и т. д. Въ результатѣ своихъ изслѣдовацій онъ нашель слѣдующее:

Число слоевъ	1	2	3	4	5	6	8	10	14	18
Излученіе	9·3	13·9	17·8	21·3	24·5	27·4	32·8	35·8	40·3	40·8.

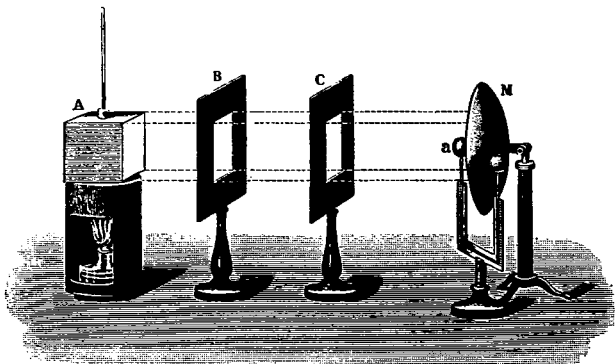
При дальнѣйшемъ увеличеніи числа слоевъ излученіе оставалось неизмѣннымъ. Итакъ, излученіе возрастало только до 18 слоя включительно; послѣ же этого слой лака оказывался уже настолько толстымъ, что излученіе происходило только изъ

него, а поверхность металла уже не влияла на лучеиспускание. 18 слоев лака на поверхности куба имели вместе толщину в 0.04 мм.

Для других веществ излучающий слой имеет другую толщину. Так, например, Меллонн нашел, что поверхность золота лучеиспускает из глубины, не превышающей 0.002 мм.

133. Лесли изследовал также, в какой степени различные вещества поглощают тепловые лучи, испускаемые его кубомъ. Онъ покрывалъ одинъ шарикъ дифференціального термометра веществомъ, поглощательную способность котораго изследовалъ, и помѣщалъ его въ фокусъ зеркала, которое собирало лучи, испускаемые кубомъ (рис. 121). Между кубомъ (*A*) и зеркаломъ (*M*) онъ ставилъ два экрана (*B* и *C*).

Рис. 121



Измѣреніе Лесли поглощательной способности.

(*B* и *C*), пропускавшие на зеркало ограниченный краями ихъ отверстій пучокъ лучей. Въ результатъ своихъ изследованій Лесли нашелъ, что тѣла, сильно излучающія, имѣютъ и большую поглощательную способность и, наоборотъ, чѣмъ меньше вещество излучаетъ теплоты, тѣмъ меньше оно и поглощаетъ ея.

Вильямъ Ричи (ум. въ 1837 году), сначала священникъ, а впоследствии профессоръ физики въ Royal Institution, доказалъ въ 1833 году путемъ изыскаго опыта, что лучеиспускающая способность тѣла равна его поглощательной способности. На рис. 122 представленъ дифференціальный термометръ *GG'*, имѣющій вмѣсто шариковъ два невысокихъ цилиндра *G* и *G'*. Между ними былъ поставленъ цилиндръ *EE'*, наполненный теплой водою; основанія его имѣли такую же поверхность, какъ и основанія цилиндровъ *G* и *G'*. Поверхности *E* и *G'* были полированы, а поверхности *E'* и *G* покрыты сажей.

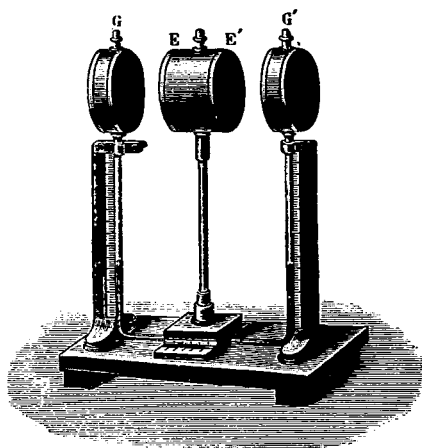
Жидкость въ дифференціальномъ термометрѣ осталась въ покоѣ: значитъ сосуды *G* и *G'* нагрѣлись одинаково и, слѣдовательно, получили одинаковое количество теплоты. Последнее возможно лишь при томъ условіи, что отношеніе излученій полированной и зачерненной поверхностей равно отношенію ихъ поглощеній. Если величину излученія зачерненной поверхности примемъ за 100 и допустимъ, что излученіе полированной поверхности въ восемь разъ меньше (ср. § 130), то изъ того, что цилиндры *G* и *G'* получаютъ одинаковое количество теплоты, мы должны выве-

сти, что и поглощеніе зачерненной поверхности въ восемь разъ превосходить поглощеніе полированной.

134. Этотъ законъ объ отношеніи между излученіемъ и поглощеніемъ представляеть собою простое слѣдствіе изъ положенія о равновѣсїи излученія. Дѣйствительно, если два одинаково нагрѣтыхъ тѣла съ параллельными и плоскими поверхностями находятся одно противъ другого и одно испускаетъ въ два раза больше лучей, чѣмъ другое, то равновѣсіе ихъ излученій можетъ имѣть мѣсто лишь въ томъ случаѣ, когда первое поглощаетъ теплоту въ два раза сильнѣе, чѣмъ второе.

Изъ того же положенія о равновѣсїи излученій можно вывести еще одинъ законъ, выражающій зависимость лучеиспусканія отъ направленія. Пусть (рис. 123) F и F_1 будутъ двѣ поверхности изъ одного и того же вещества, находящіяся въ состоянїи равновѣсія излученій. Лучи, направляющіеся отъ поверхности F къ поверхности F_1 , несутъ съ собою, конечно, такое же количество теплоты, какъ и идущіе въ обратномъ направленіи; въ противномъ случаѣ поверхность F получала бы больше или меньше теплоты, чѣмъ сама отдавала бы, и равновѣсіе было бы нарушено.

Рис. 122



Опытъ Ричи.

чину, какъ и пучокъ лучей, исходящихъ отъ поверхности F_1 . Можно поэтому сказать, что величина излученія въ любомъ направленіи опредѣляется поперечнымъ сѣченіи имѣетъ такую же величину.

Рис. 123



Отвѣсное и наклонное излученіе.

Но площадь F_1 больше площади F , и лучи, идущіе отъ F , перпендикулярны къ ней, лучи же, идущіе отъ поверхности F_1 , наклонны къ ней. Такимъ образомъ, перпендикулярно къ излучающей поверхности лучеиспусканіе больше, чѣмъ во всякомъ другомъ направленіи. Пучокъ лучей, исходящій отъ поверхности F , какъ видно изъ рисунка, въ поперечномъ сѣченіи имѣетъ такую же величину, какъ и пучокъ лучей, исходящихъ отъ поверхности F_1 . Можно поэтому сказать, что величина излученія въ любомъ направленіи опредѣляется поперечнымъ сѣченіемъ соответствующаго пучка лучей.

Разсмотрѣнный законъ былъ указанъ еще Ламбертомъ (§ 127), но опытное доказательство его впервые далъ Лесли.

Лучи, испускаемые кубомъ, проходятъ сквозь прорѣзъ въ экранѣ и, отразившись отъ вогнутаго зеркала, собирались на шарикѣ дифференціального термометра (рис. 124). При всевозможныхъ положеніяхъ куба дѣйствіе его на термометръ оставалось однимъ и тѣмъ же и во всѣхъ случаяхъ поперечное сѣченіе пучка лучей оставалось равнымъ прорѣзу въ экранѣ.

Наконецъ, Лесли показалъ еще, что тепловые лучи отражаются по тому же закону, какъ и свѣтовые, и что поверхности, излучающія небольшое количество

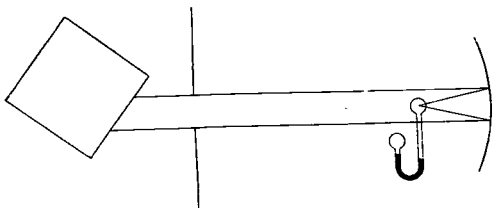
тепла, отражаютъ тепловые лучи въ большомъ количествѣ, тогда какъ сильно излучающія поверхности отражаютъ тепловые лучи слабо.

135. Несмотря на цѣльную работу Лесли о тепловыхъ лучахъ, для пониманія природы излученія онѣ не имѣли рѣшающаго значенія. Въ этомъ отношеніи болѣе поспѣшилось упомянутому нами выше (§ 130) итальянцу Мачедоніо Меллони. Онъ родился въ 1798 году въ Пармѣ. Уже въ юности онъ обнаруживалъ большой интересъ къ естественнымъ наукамъ; онъ такъ ревностно и успѣшно изучалъ эти науки, что уже 26 лѣтъ отъ роду былъ назначенъ профессоромъ въ университетѣ своего родного города. Созерцательный по природѣ, Меллони могъ проводить цѣлыя ночи въ уединенныхъ прогулкахъ и былъ склоненъ къ мистицизму. Этой особенностью его характера, можетъ быть, объясняется, почему онъ выбралъ предметомъ своихъ изслѣдовавшей таинственные тепловые лучи. Резуль-

таты этихъ изслѣдовавшей онъ началъ печатать въ 1831 году, но въ томъ же году изъ-за политическихъ смуть онъ былъ высланъ со своей родины. Послѣ кратковременнаго пребыванія въ Парижѣ, гдѣ онъ познакомился съ Араго, Меллони отправился въ Женеву, гдѣ въ это время Пьеръ Прево (§ 128) производилъ свои изслѣдованія по вопросу о тепловыхъ лучахъ. Здѣсь Меллони работалъ полгода. Затѣмъ онъ уѣхалъ въ Парижъ, чтобы представить Академіи докладъ о полученныхъ имъ результатахъ. Встрѣтивъ здѣсь очень холодный приемъ, онъ рѣшилъ напечатать свою работу на собственный счетъ. Royal Society присудило ему медаль имени Румфорда, а позже его изслѣдованія получили должную оцѣнку и со стороны Парижской Академіи. Въ 1839 году Меллони получить разрѣшеніе вернуться въ Италію. Здѣсь онъ былъ назначенъ директоромъ Консерваторіи Искусствъ и Ремеслъ, а впослѣдствіи (1848) такою же директоромъ

не задолго предъ тѣмъ сооруженной метеорологической обсерваторіи на Везувіи. Онъ весь отдался научной дѣятельности и не принималъ никакого участія въ политикѣ. Тѣмъ не менѣе въ 1848 году возобновились нападки на него и въ слѣдующемъ году онъ счелъ необходимымъ оставить свое мѣсто. Онъ совершенно устранился отъ

Рис. 124



Опытъ Лесли относительно закона излученій.

не задолго предъ тѣмъ сооруженной метеорологической обсерваторіи на Везувіи. Онъ весь отдался научной дѣятельности и не принималъ никакого участія въ политикѣ. Тѣмъ не менѣе въ 1848 году возобновились нападки на него и въ слѣдующемъ году онъ счелъ необходимымъ оставить свое мѣсто. Онъ совершенно устранился отъ

Рис. 125



Мачедоніо Меллони.

не задолго предъ тѣмъ сооруженной метеорологической обсерваторіи на Везувіи. Онъ весь отдался научной дѣятельности и не принималъ никакого участія въ политикѣ. Тѣмъ не менѣе въ 1848 году возобновились нападки на него и въ слѣдующемъ году онъ счелъ необходимымъ оставить свое мѣсто. Онъ совершенно устранился отъ

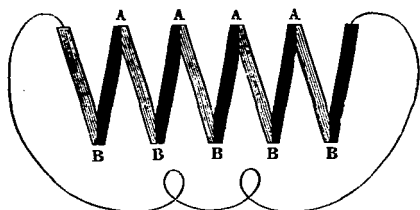
общественной дѣятельности и поселился въ Портичи. Здѣсь онъ умеръ отъ холеры въ 1854 году.

136. Раньше, чѣмъ рассмотримъ работы Меллони, мы должны познакомиться съ однимъ приборомъ, которымъ Меллони пользовался при своихъ изслѣдованіяхъ и безъ котораго онъ не могъ бы выполнить своихъ тонкихъ измѣреній. Приборъ этотъ есть термоскопъ Нобили.

Леопольдо Нобили (1784—1835), другъ и землякъ Меллони, былъ профессоромъ во Флоренціи. Его термоскопъ представляетъ собою электрической приборъ, дѣйствіе котораго станетъ намъ понятно, когда мы познакомимся съ нѣкоторыми явленіями изъ области электричества, о которыхъ рѣчь будетъ ниже; теперь же мы дадимъ лишь краткое описаніе прибора.

Важнѣйшая часть его изображена на рис. 126. Она состоитъ изъ нѣсколькихъ висмутовыхъ палочекъ, спаянныхъ въ видѣ зигзага съ равнымъ числомъ палочекъ

Рис. 126



Термоэлектрические элементы.

изъ сурьмы. Крайняя палочка висмута соединена съ крайней палочкой сурьмы посредствомъ мѣдной проволоки, которая образуетъ петлю, окружающую легко подвижную магнитную стрѣлку. Пока оба ряда спаевъ имѣютъ одну и ту же температуру, эта магнитная стрѣлка остается въ покоѣ. Если же нагрѣть спай одного ряда, на примѣръ, нижняго, то возникаетъ электрической токъ, который идетъ по проволокѣ отъ сурьмы къ висмуту. Дѣй-

ствіемъ этого тока магнитная стрѣлка отклоняется и притомъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ сильнѣе токъ, чѣмъ больше число спаевъ и чѣмъ больше разность температуръ обоихъ рядовъ спаевъ. Такимъ образомъ, электрической токъ возникаетъ въ этомъ приборѣ благодаря неодинаковому нагрѣванію спаевъ, а сила тока измѣряется величиною отклоненія стрѣлки.

Тридцать паръ спаянныхъ металлическихъ палочекъ, т. е. 30 термоэлектрическихъ элементовъ, образующихъ вмѣстѣ непрерывный (зигзагообразный) металлическій проводникъ, складываются въ видѣ куба, который вставляется въ металлическую оправу (рис. 127); другъ отъ друга пары отдѣляются изолирующимъ слоемъ (смола или каучукъ). Двѣ группы спаевъ образуютъ противоположныя стороны куба. Первая палочка висмута и послѣдняя сурьмы этого такъ называемаго термоэлектрическаго столбика соединены посредствомъ мѣдной проволоки съ мультипликаторомъ—приборомъ, существенную часть котораго составляетъ легкоподвижная магнитная стрѣлка, окруженная проволоочной обмоткой съ большимъ числомъ оборотовъ. Въ свое время мы дадимъ подробное объясненіе этого прибора.

137. Соединенный съ мультипликаторомъ термоэлектрической столбикъ представляетъ чрезвычайно чувствительный дифференціальный термометръ. Достаточно ничтожнѣйшей разности температуры на двухъ сторонахъ куба, на которыхъ находятся двѣ группы спаевъ, чтобы тотчасъ же возникъ электрической токъ, отклоняющій магнитную стрѣлку.

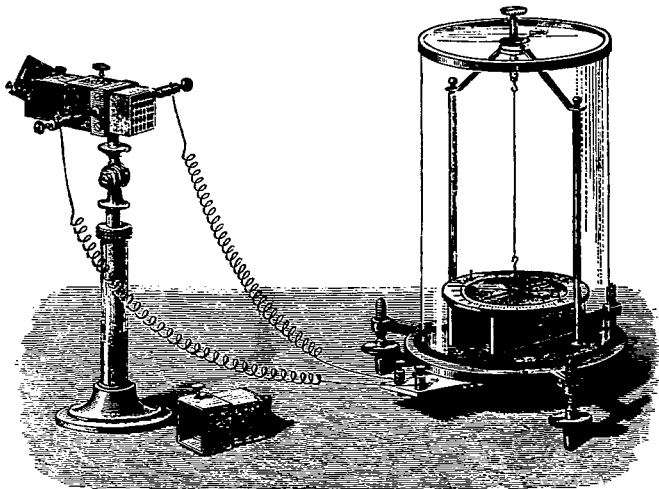
Термоэлектрической столбикъ Нобили особенно удобенъ для изслѣдованія те-

пловыхъ лучей. Столбикъ окруженъ полированной металлической оправой, оставляющей открытыми лишь тѣ двѣ поверхности, на которыхъ находятся мѣста спайки; ту изъ двухъ послѣднихъ поверхностей, которая не должна нагрѣваться, можно закрывать подвижной металлической пластинкой. Чтобы увеличить поглощательную способность противоположной поверхности, ее покрываютъ сажей.

Нобили и Меллони, работавшіе одно время вмѣстѣ, убѣдились, что величина отклоненія магнитной стрѣлки пропорциональна количеству теплоты, которое группа спаевъ получаетъ въ силу излученія. На основаніи ряда опытовъ они составили таблицу, по которой можно было непосредственно отсчитать, какому нагрѣванію поверхности, получающей тепловые лучи, соотвѣтствовало данное отклоненіе магнитной стрѣлки.

Чувствительность термоэлектрическаго столбика чрезвычайно велика, какъ можно судить изъ слѣдующаго: лучи, испускаемые человѣческимъ тѣломъ, будучи собраны

Рис. 127



Термоэлектрической столбикъ и мультипликаторъ.

вогнутымъ зеркаломъ, даютъ ясное отклоненіе стрѣлки даже въ томъ случаѣ, когда человѣкъ находится на разстояніи 50 футовъ отъ столбика. Сравнивая столбикъ съ весьма чувствительнымъ дифференціальнымъ термометромъ, Меллони нашелъ, что мультипликаторъ давалъ отклоненіе стрѣлки, когда разстояніе между нимъ и излучающимъ тѣломъ въ семь разъ превосходило соотвѣтственное разстояніе тѣла отъ дифференціального термометра. Первый приборъ Нобили состоялъ только изъ шести паръ металлическихъ палочекъ, а Меллони довелъ число паръ до 16.

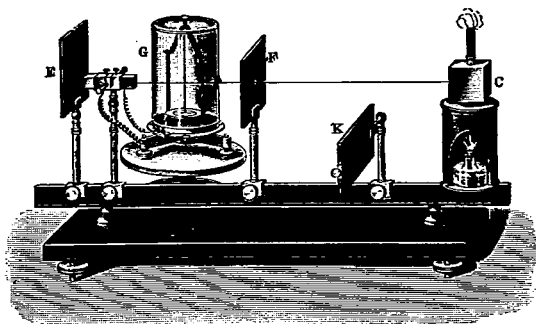
138. Первое сообщеніе Меллони о тепловыхъ лучахъ было напечатано въ 1821 году и изслѣдованіемъ относящихся сюда вопросовъ онъ занимался вплоть до своей смерти (1854 г.).

Меллони повторилъ опытъ Лесли съ тепловымъ излученіемъ, видоизмѣнивъ его, какъ показано на рис. 128. Лучи, исходящіе отъ куба С, проходили черезъ

отверстіе въ экранѣ *F*, такъ что на столбикъ падалъ пучокъ лучей, поперечное сѣченіе котораго было равно величинѣ отверстія въ экранѣ. Экранъ *E* защищаетъ отъ нагрѣванія противоположную сторону столбика, а экранъ *K* задерживаетъ лучи, исходящіе отъ лампочки, которая служитъ для нагрѣванія.

Особенно важное значеніе имѣютъ изслѣдованія Меллони о способности тѣлъ пропускать тепловые лучи (теплопрозрачность).

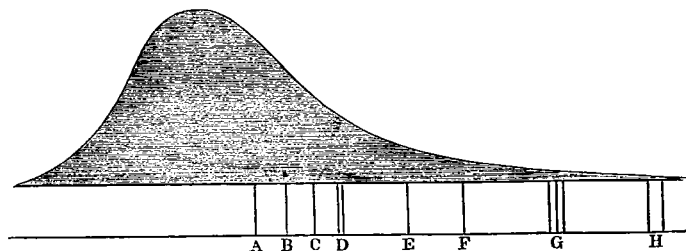
Рис. 128



Приборъ Меллони.

Еще въ 1880 году Ф. В. Гершель сдѣлалъ интересныя наблюденія надъ распределеніемъ теплоты въ различныхъ частяхъ солнечнаго спектра. Помѣщая очень чувствительный термометръ въ каждомъ изъ семи главныхъ цвѣтовъ спектра, онъ нашелъ, что тепловые эффекты замѣтнѣе всего въ красномъ цвѣтѣ и убываютъ по направленію къ фіолетовому концу спектра. Но въ то же время онъ замѣтилъ, что по ту сторону красного конца спектра термометръ подымается еще выше, чѣмъ въ видимыхъ красныхъ лучахъ. Результаты Гершеля представлены на рис. 129. Здѣсь *A, B, C, D, E, F, G* и *H* представляютъ Фраунгоферовы линіи солнечнаго спектра,

Рис. 129



Тепловой спектръ по Гершелю.

а кривая линия надъ спектромъ указываетъ величину тепловаго дѣйствія въ различныхъ частяхъ спектра. Нагрѣваніе увеличивается отъ фіолетоваго (*H*) къ красному (*A*) и дальше за краснымъ концомъ видимаго спектра, но затѣмъ быстро убываетъ.

Это было нѣчто совсѣмъ новое и Гершель считалъ возможнымъ видѣть въ

этомъ доказательство того, что тепловые лучи преломляются по такому же закону, какъ и видимые свѣтовые лучи. Онъ мѣтко выразилъ свой взглядъ, говоря, „что всѣ лучи солнечнаго свѣта, которые преломляются подобно цвѣтнымъ лучамъ, дѣйствуютъ на глазъ, какъ свѣтъ, между тѣмъ какъ менѣе преломляемые, т. е. лежаще за краснымъ концомъ, поглощаются жидкостью глаза и кожей и вызываютъ ощущение тепла“.

Джонъ Лесли самымъ рѣшительнымъ образомъ возсталъ противъ утверждения Гершеля, что „тепловой“ спектръ длиннѣе „свѣтового“, и особенно боролся противъ того мнѣнія Гершеля, что темные тепловые лучи отличаются отъ свѣтовыхъ лишь меньшей преломляемостью. Лесли объяснялъ тепловое дѣйствіе спектра за краснымъ концомъ тѣмъ предположемъ, что теплота красныхъ лучей сообщается воздуху. Опыты Гершеля были повторены различными физиками. Правда, всѣ они нашли, что тепловое дѣйствіе простирается за предѣлы видимаго спектра, но ихъ указанія того мѣста, гдѣ нагрѣваніе наиболѣе сильно, плохо согласовались между собой. Лишь Зеебекъ понялъ, что причина этихъ различій заключается въ употребленіи, для получения спектра, призмъ изъ различныхъ сортовъ стекла.

Для однихъ сортовъ стекла мѣсто наибольшаго нагрѣванія находилось въ красной части спектра, для другихъ въ желтой. Во всѣхъ цвѣтныхъ изображеніяхъ, полученныхъ помощью призмъ, говоритъ Зеебекъ въ своемъ трудѣ, относящемся къ 1819 году, имѣетъ мѣсто тепловое дѣйствіе, возрастающее по направленію отъ фіолетоваго конца къ красному. Для нѣкоторыхъ призмъ мѣсто наибольшаго нагрѣванія находится въ красной части, для кронгласа и обыкновеннаго мягкаго стекла въ желтой части, для призмъ изъ флинтгласа за красной частью, но при всѣхъ призмахъ можно обнаружить тепловое дѣйствіе также и за краснымъ концомъ. Зеебекъ зналъ также, что и за фіолетовой частью спектра находятся лучи, которые, впрочемъ, оказываютъ очень незначительное тепловое дѣйствіе, но зато сильно дѣйствуютъ химически.

139. Меллони производилъ свои первые опыты надъ прохожденіемъ тепловыхъ лучей черезъ различныя тѣла такимъ образомъ, что на термомультипликаторъ падали различныя цвѣта солнечнаго спектра, полученнаго сквозь призму изъ кронгласа. Онъ выбралъ въ спектрѣ семь мѣстъ, соотвѣтствовавшихъ семи главнымъ цвѣтамъ, и искалъ на продолженіи спектра мѣста, имѣвшія одинаковую температуру съ мѣстами, взятыми въ видимой части спектра. Затѣмъ онъ помѣщалъ между призмой и термомультипликаторомъ слой воды въ 1 мм толщиной, ограниченный двумя стеклянными пластинками, и снова наблюдалъ отклоненія стрѣлки термомультипликатора для тѣхъ же лучей. Въ результатѣ этихъ измѣреній получились числа ближайшей таблицы.

Числа въ графѣ „потеря“ показываютъ, какая часть тепловыхъ лучей поглощалась водянымъ слоемъ. Слѣдуетъ помнить (§ 137), что отклоненія стрѣлки мультипликатора находятся въ извѣстномъ отношеніи къ теплотѣ, доставляемой лучами столбику термомультипликатора.

Изъ таблицы видно, что существуютъ различныя тепловые лучи и что они въ различной степени проходятъ черезъ тонкій водяной слой. Фіолетовые лучи проходятъ неослабленными, но для другихъ лучей вода менѣе проницаема и тѣмъ менѣе, чѣмъ ближе лежатъ лучи къ краену концу спектра. Для лучей, лежащихъ за краснымъ концомъ спектра, вода, наконецъ, становится непроницаемой.

	Отклоненіе стрѣлки		Потеря
	Безъ водяного слоя	Съ водянымъ слоемъ	
Фиолетовый	2	2	0-
Синій	5	4-5	0-10
Голубой	9	8	0-11
Зеленый	12	10	0-17
Желтый	25	20	0-20
Оранжевый	29	21	0-27
Красный	32	20	0-37
	29	14	0-52
	25	9	0-64
Мѣста въ невидимой (ультра-красной) части спектра	12	3	0-75
	9	1	0-88
	5	0-5	0-90
	2	0	1-00

140. При дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ Меллони нашель, что различныя тѣла пропускаютъ какъ свѣтовые, такъ и тепловые лучи въ очень различной степени. По отношенію къ свѣту тѣла дѣлятся прежде всего на прозрачныя и непрозрачныя. Но и для различныхъ цвѣтовъ проникаемость тѣлъ очень различна. Красное стекло пропускаетъ лишь красные лучи, а голубое лишь голубые лучи. Меллони показаль, что подобнымъ же образомъ тѣла обладаютъ и „теплоцвѣтностью“, т. е. что они въ неодинаковой степени пропускаютъ различныя (неодинаковой преломляемости) тепловые лучи.

Чтобы получить тепловые лучи различной преломляемости, Меллони пользовался четырьмя различными источниками тепла: пламенемъ яркой лампы (лампы Локателли), платиновой проволокой, накаливавшейся на спиртовомъ пламени, мѣдной пластинкой, нагрѣтой до 390° С, и зачерненной поверхностью куба Лесли, наполненного кипящей водой.

Отъ лампы Локателли и платиновой спирали исходили какъ свѣтлые, такъ и темные лучи, между тѣмъ какъ отъ мѣдной пластинки и отъ поверхности куба шли только темные лучи.

Путемъ точныхъ опытовъ Меллони нашель, какой процентъ лучей отъ этихъ четырехъ источниковъ тепла проходилъ черезъ различныя тѣла, изъ которыхъ вышлифовывались пластинки одинаковой толщины.

Вотъ нѣкоторые изъ полученныхъ имъ результатовъ:

	Лампа Локателли	Раскаленная платина	Мѣдная пластинка при 390°	Поверхность куба при 100°
Каменная соль (толщиной въ 2-6 мм.).	92	92	92	92
Зеркальное стекло (тоже).	39	24	6	0
Дымчатый топазъ (тоже).	37	28	6	0
Ледъ (толщиной въ 2 мм.).	6	0	0	0

Изслѣдована была также и теплопрозрачность жидкостей. Такъ какъ онѣ находились между стеклянными пластинками, то въ качествѣ источника тепла возможно было пользоваться лишь лампой Локателли, лучи же другихъ источниковъ поглощались стекломъ въ слишкомъ большой степени. Толщина слоя жидкости была 9·2 мм.

Сѣрнистый углеродъ	63
Хлористая сѣра	63
Терпентинное масло	31
Дистиллированная вода	11.

Изъ этихъ измѣреній ясно видно, что большая прозрачность отнюдь не позволяетъ дѣлать заключеній о значительной проникаемости для тепловыхъ лучей. Чистое стекло и совершенно прозрачный ледъ совсѣмъ не пропускаютъ лучей отъ наименѣе нагрѣтаго источника, а съ другой стороны темнокоричневая хлористая сѣра проникаема для тепловыхъ лучей въ значительно бѣльшей степени, чѣмъ чистая безцвѣтная вода. Меллони нашелъ лишь одно вещество, одинаково пропускающее различные тепловые лучи. Это—каменная соль. Сквозь пластинку каменной соли всегда проходило 92% тепловыхъ лучей, безразлично, испускаются ли они свѣтящимся или темнымъ источникомъ тепла. Подобно каменной соли (хлористый натрій) и сильвинъ (хлористый калий) обладаетъ бѣлой „теплоцвѣтностью“, т. е. пропускаетъ равныя количества всевозможныхъ тепловыхъ лучей. Какъ общее правило, впрочемъ, прозрачныя и безцвѣтныя тѣла наиболѣе проникаемы для самыхъ „теплыхъ“ лучей наибольшей преломляемости и менѣе проникаемы для „болѣе холодныхъ“ лучей, т. е. для тѣхъ, которые обладаютъ меньшей преломляемостью. Но эта проникаемость различна для различныхъ лучей. Всякое тѣло пропускаетъ преимущественно нѣкоторые опредѣленные лучи, подобно тому, какъ зеленое стекло поглощаетъ всѣ свѣтовые лучи за исключеніемъ зеленыхъ. Всякое тѣло обладаетъ, такъ сказать, опредѣленнымъ „тепловымъ цвѣтомъ“.

141. Меллони изслѣдовалъ далѣе вліяніе толщины пластинокъ и нашелъ, какъ и слѣдовало ожидать, что лучей поглощалось тѣмъ больше, чѣмъ толще была пластинка, однако, не пропорціонально толщинѣ. Послѣ прохожденія лучей черезъ одну пластинку, черезъ вторую проходилъ значительно бѣльшій процентъ ихъ. Это находится въ связи съ „теплоцвѣтностью“. Дѣйствительно, при паденіи различныхъ лучей на первую пластинку ею поглощаются тѣ, которые съ нею неодинаковаго цвѣта, и лишь лучи одинаковаго цвѣта проходятъ черезъ нее. Когда эти одноцвѣтные лучи встрѣчаютъ затѣмъ вторую пластинку того же рода, то поглощеніе происходитъ, разумѣется, значительно слабѣе. Но и черезъ вторую пластинку лучи не проходятъ цѣликомъ.

Это объясняло также наблюденія Зеебека и другихъ физиковъ, что наиболѣе сильное тепловое дѣйствіе въ спектрѣ замѣчается то въ желтой части спектра, то въ красной, или даже за видимой его частью, такъ какъ оно зависитъ отъ „теплоцвѣтности“, которою обладаетъ взятая призма.

142. Тиндалль нашелъ, что совершенно непрозрачный растворъ іода въ сѣрнистомъ углеродѣ въ весьма значительной степени пропускаетъ темные лучи, и воспользовался такимъ растворомъ, чтобы найти, какое количество свѣтлыхъ и темныхъ лучей испускается различными источниками тепла. Сосудъ изъ каменной соли съ параллельными стѣнками наполнялся чистымъ сѣрнистымъ углеродомъ. Тепловые

лучи на пути къ термоэлектрическому столбику проходили через сѣрнистый углеродъ. Послѣ наблюденія показанія стрѣлки мультипликатора сѣрнистый углеродъ замѣняли растворомъ іода и снова наблюдали отклоненіе стрѣлки. Оказалось, что бблыная часть лучей, испускаемыхъ обычными источниками свѣта, темные.

Источникъ свѣта	Свѣтлые лучи	Темные лучи
Зачерненная металлическая поверхность, 100° С.	0	100
Раскаленная докрасна платиновая спираль	0	100
Масляное пламя	3	97
Газовое „	4	96
Электрической свѣтъ	11	89

Излученіе нашихъ сильнѣйшихъ даже источниковъ свѣта состоитъ, слѣдовательно, преимущественно изъ темныхъ лучей.

143. Несомнѣнно, особый интересъ представляетъ вопросъ, какое количество тепла доставляется землѣ солнечными лучами и какая часть этихъ лучей свѣтлые и какая — темные. Термомультипликаторъ представляетъ достаточно чувствительный термометръ для такихъ измѣреній, а изъ каменной соли можно вышлифовать призмы, одинаково прозрачныя для различныхъ лучей. Но большое затрудненіе заключается въ томъ, что солнечные лучи, прежде чѣмъ они достигнутъ земной поверхности, должны пройти атмосферу и заключающіеся въ ней водяные пары.

Тиндалль измѣрилъ поглощающее дѣйствіе различныхъ газовъ на тепловые лучи и нашелъ, что атмосферный воздухъ, кислородъ, азотъ и водородъ почти совершенно не поглощаютъ тепловыхъ лучей, испускаемыхъ тѣломъ, нагрѣтымъ до температуры выше 100° С. Напротивъ, другіе газы, напримѣръ, амміакъ, поглощаютъ такіе лучи въ замѣтной степени. Поглощательной способности паровъ соотвѣтствуетъ, какъ нашелъ Тиндалль, поглощательная способность соотвѣтствующихъ жидкостей. Такъ какъ вода мало прозрачна для тепловыхъ лучей (ср. § 140), то водяные пары поглощаютъ значительную часть тепловыхъ лучей. Однако, надежныхъ измѣреній или вычисленій поглощательнаго дѣйствія атмосферы на солнечные лучи не существуетъ и до сихъ поръ.

144. Зато мы имѣемъ много измѣреній количества тепла, доставляемаго земной поверхности солнечными лучами.

Первые опыты подобнаго рода были сдѣланы Бугеромъ въ 1729 году, а впоследствии этимъ вопросомъ занимались Ламбертъ и Лесли. Но сколько-нибудь точные результаты были получены лишь Клодомъ Пулье (1790—1868). Онъ пользовался для своихъ изслѣдованій такъ называемымъ пиргеліометромъ (рис. 130). Существенную часть этого прибора составляетъ плоскій цилиндръ *V* изъ листового серебра, наполненный 100 г воды. Въ этомъ резервуарѣ съ водой находится шарикъ термометра, трубка котораго заключена въ металлическую трубку *cc'*. Послѣдняя свободно входитъ въ болѣе широкую трубку, такъ что ея вращеніемъ можно перемѣшивать воду и поддерживать въ ней повсюду одинаковую температуру. Пулье устанавливалъ приборъ такъ, что солнечные лучи падали перпендикулярно на зачерненное основаніе цилиндра. Чтобы приводить цилиндръ въ надлежащее положеніе, достаточно было совмѣстить тѣнь цилиндра съ тѣнью круглой пластинки,

помѣщенной на другомъ концѣ трубки и имѣвшей одинаковый поперечникъ съ цилиндромъ.

Въ началѣ опыта цилиндръ защищаютъ экраномъ отъ дѣйствія солнечныхъ лучей и въ теченіе пяти минутъ наблюдаютъ ходъ показаній термометра. Затѣмъ удаляютъ экранъ и снова наблюдаютъ показанія термометра въ теченіе слѣдующихъ пяти минутъ. Наконецъ снова ставятъ экранъ и еще разъ наблюдаютъ показанія термометра въ теченіе пяти минутъ. Изъ этихъ трехъ наблюдений можно затѣмъ вычислить нагрѣваніе, сообщаемое водѣ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей. Первое и третье наблюденья служатъ для того, чтобы опредѣлить вліяніе окружающей среды въ теченіе средняго промежутка.

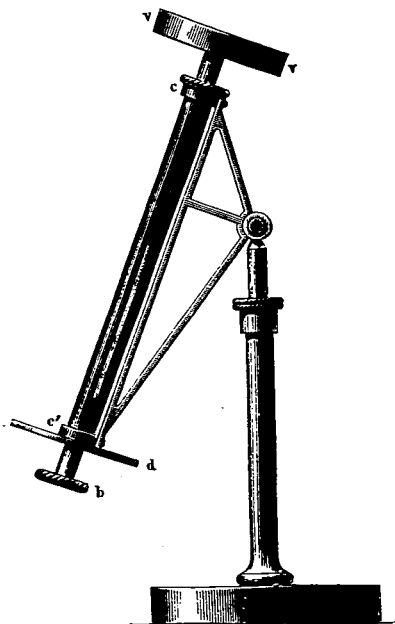
Пулье нашель, какъ и слѣдовало ожидать, что поглощающее дѣйствіе атмосферы въ различное время дня очень различно. Утромъ и вечеромъ, когда солнце стоитъ низко, его лучи должны проходить черезъ значительно болѣе толстый слой воздуха, чѣмъ въ полдень, когда солнце стоитъ высоко.

Термометръ пиргелиометра подымался за 5 минутъ

въ 12	1	2	3	4	5	6 час.
на 4·8°	4·7°	4·6°	4·3°	3·9°	3·2°	2·0°.

Изъ этихъ наблюдений Пулье нашель, что солнечная постоянная, т. е. то количество тепла, которое получаетъ въ 1 минуту 1квсм зачерненной поверхности, освѣщаемой перпендикулярными лучами солнца, равна 1·76 граммкалоріи. Величина эта, однако, слишкомъ мала. Изъ позднѣйшихъ наблюдений найдено, что она равна приблизительно 3. Поверхность въ 1 квадратный сантиметръ, на которую солнечные лучи падаютъ перпендикулярно, получаетъ въ теченіе года $3 \times 60 \times 24 \times 365 \frac{1}{4} =$ около 1600000 граммкалорій. Это количество тепла было бы въ состояніи растопить 20000 г льда. Получившаяся вода образовала бы столбъ того же сѣченія въ 200 м высоту. Говоря о количествѣ тепла, которое доставляется всей поверхности земли солнечными лучами, нужно помнить, что солнцемъ всегда освѣщается лишь половина земной поверхности и что солнечные лучи падаютъ на большую часть освѣщаемой поверхности наклонно. Въ дѣйствительности земная поверхность получаетъ лишь такое количество солнечной теплоты, какое падало бы на перпендикулярную къ лучамъ поверхность круга, равнаго экватору. Не все это количество тепла поглощается землей, такъ какъ поверхность ея не черна и обладаетъ поэтому значительно меньшей поглощательной способностью, чѣмъ предполагалось при приведенныхъ вычисленияхъ. Какъ велико количество теплоты, дѣйствительно поглощаемое землей, неизвѣстно. Но такъ какъ средняя температура и Аттелъ. Историческая Физика II

Рис. 130



Пиргелиометръ Пулье.

Пиргелиометръ Пулье. Количество тепла, которое получаетъ въ 1 минуту 1квсм зачерненной поверхности, освѣщаемой перпендикулярными лучами солнца, равна 1·76 граммкалоріи. Величина эта, однако, слишкомъ мала. Изъ позднѣйшихъ наблюдений найдено, что она равна приблизительно 3. Поверхность въ 1 квадратный сантиметръ, на которую солнечные лучи падаютъ перпендикулярно, получаетъ въ теченіе года $3 \times 60 \times 24 \times 365 \frac{1}{4} =$ около 1600000 граммкалорій. Это количество тепла было бы въ состояніи растопить 20000 г льда. Получившаяся вода образовала бы столбъ того же сѣченія въ 200 м высоту. Говоря о количествѣ тепла, которое доставляется всей поверхности земли солнечными лучами, нужно помнить, что солнцемъ всегда освѣщается лишь половина земной поверхности и что солнечные лучи падаютъ на большую часть освѣщаемой поверхности наклонно. Въ дѣйствительности земная поверхность получаетъ лишь такое количество солнечной теплоты, какое падало бы на перпендикулярную къ лучамъ поверхность круга, равнаго экватору. Не все это количество тепла поглощается землей, такъ какъ поверхность ея не черна и обладаетъ поэтому значительно меньшей поглощательной способностью, чѣмъ предполагалось при приведенныхъ вычисленияхъ. Какъ велико количество теплоты, дѣйствительно поглощаемое землей, неизвѣстно. Но такъ какъ средняя температура

ратура земли (приблизительно 15°C) остается изъ года въ годъ неизмѣнной, то теплота, полученная отъ солнца, снова должна излучаться въ междупланетное пространство.

145. Предположеніе Гершеля о соотношеніи между свѣтовыми лучами и темными тепловыми (§ 137) нашло полное подтвержденіе въ изслѣдовашихъ Меллони. Разница между этими двумя видами лучей заключается лишь въ томъ, что свѣтлые лучи преломляются сильнѣе, чѣмъ темные. При помощи призмы изъ каменной соли Меллони получилъ даже спектръ, который продолжался за оба конца видимаго спектра, что наблюдалъ уже и Зеебекъ (§ 138). Лучи, изъ которыхъ состоитъ видимый спектръ, составляютъ лишь часть лучей, испускаемыхъ нагрѣтымъ тѣломъ. Всѣ лучи, какъ свѣтящіяся, такъ и несвѣтящіяся, слѣдуютъ закону отраженія и при переходѣ изъ одной среды въ другую и тѣ и другіе дѣйствуютъ одинаково. Свѣтлые и темные лучи преломляются, конечно, не одинаково сильно, но и свѣтлые лучи различныхъ цвѣтовъ такоже преломляются не въ одинаковой степени. Свѣтлые и темные лучи поглощаются однимъ и тѣмъ же тѣломъ въ различной степени, но то же имѣетъ мѣсто и по отношенію къ видимымъ лучамъ различныхъ цвѣтовъ. Свойства свѣтлыхъ и темныхъ лучей различаются лишь количественно, но не качественно, такъ же, какъ и свойства свѣтлыхъ лучей различныхъ цвѣтовъ. Къ этому можно прибавить, что впослѣдствіи найдены были и другія сходныя свойства свѣтлыхъ и темныхъ лучей. Всѣ они интерферируютъ и поляризуются подобно свѣтовымъ лучамъ.

Работы Меллони и другихъ изслѣдователей показали, такимъ образомъ, что между тепловыми лучами и свѣтовыми нѣтъ разницы по существу. Вмѣстѣ они образуютъ шкалу лучей, отличающихся другъ отъ друга тѣмъ, что при прохожденіи черезъ тѣла они преломляются въ различной степени и поглощаются въ различной мѣрѣ.

Такъ какъ со времени появленія составившихъ эпоху работъ Френеля (1818), принято считать, что свѣтовые лучи представляютъ собою волнообразное движеніе эѳира, то приходится принять поэтому то же допущеніе и для тепловыхъ лучей. Такимъ образомъ было установлено, что ни свѣтовые ни тепловые лучи не состоятъ изъ матеріальныхъ частицъ, испускаемыхъ источникомъ свѣта или тепла. Этимъ былъ нанесенъ сильный ударъ теоріи, предполагавшей, что теплота есть вещество; напротивъ, гипотеза Румфорда, что теплота есть видъ движенія, получила сильное подкрѣпленіе. Но прошло еще довольно много времени, прежде чѣмъ этотъ взглядъ сталъ общепризнаннымъ.

Теплопроводность

146. Если масса воды или воздуха не всюду имѣетъ одинаковую температуру, то, вообще говоря, вслѣдствіе этой разницы температуръ въ массѣ возникаютъ теченія, причемъ болѣе теплыя частицы поднимаются вверхъ, а холодныя опускаются внизъ. Въ твердомъ тѣлѣ неравномѣрное нагрѣваніе не можетъ вызвать теченій, такъ какъ частицы связаны силой сцѣпленія, которая преодолевается лишь тогда, когда нагрѣваніе достигаетъ точки плавленія. Но если нѣкоторыя части твердаго тѣла имѣютъ болѣе высокую температуру, чѣмъ остальные, то тепловое равновѣсіе въ этомъ тѣлѣ нарушается и теплота стремится уравнивать разницу въ температурѣ, переходя изъ болѣе теплыхъ частей въ болѣе холодныя. Теплота въ этомъ случаѣ проводится отъ одной частицы къ другой и время, которое она употребляетъ, чтобы распро-

страниться въ тѣлѣ на разстояніе 1 см, зависитъ отъ природы тѣла и отъ разности температуръ на взятомъ разстояніи. Опытъ учитъ, что количество теплоты, распространяющееся въ тѣлѣ на разстояніе 1 см въ секунду, прямо пропорціонально разности температуръ. Если, напримѣръ, эта разность въ одномъ случаѣ составляетъ 3° , а въ другомъ $1\frac{1}{2}^{\circ}$, то въ первомъ случаѣ распространяется двойное количество теплоты. Но различныя тѣла и при одинаковой разности температуръ проводятъ очень различныя количества тепла. Каждое тѣло обладаетъ опредѣленной теплопроводностью, измѣряемой количествомъ теплоты, проходящимъ въ данномъ тѣлѣ черезъ 1 кв.см въ 1 секунду, если разность температуръ въ двухъ точкахъ этого тѣла, удаленныхъ другъ отъ друга на 1 см, равна 1° С.

Явленія теплопроводности въ общемъ такъ же извѣстны, какъ и явленія теплового излученія. Но подробности этого явленія могли быть объяснены лишь послѣ весьма тонкихъ изслѣдованій, сопряженныхъ съ большими трудностями.

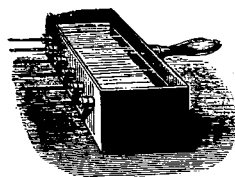
147. Профессоръ Рихманнъ (род. въ 1711 году въ Перновѣ, ум. въ 1753 году въ Петербургѣ) полагалъ, что онъ сможетъ опредѣлить теплопроводность различныхъ металловъ, нагрѣвая шары одинаковой величины до одной и той же температуры и затѣмъ наблюдая, какой металлъ охладится быстрѣе всѣхъ. Онъ нашелъ, что свинецъ теряетъ теплоту быстрѣе всего, вслѣдствіе чего и счелъ свинецъ наилучшимъ проводникомъ тепла. Легко, однако, видѣть, что опытъ Рихманна не можетъ привести къ опредѣленію теплопроводности. Во-первыхъ, охлажденіе обусловливается лучеиспусканіемъ, которое въ значительной степени зависитъ отъ свойствъ поверхности. Затѣмъ, металлическіе шары одинаковой величины и одинаково нагрѣтые содержатъ неравныя количества теплоты. Поэтому одинаковое охлажденіе свинцового шара и желѣзнаго ни въ какомъ случаѣ не соотвѣтствуетъ одинаковой потерѣ теплоты, такъ какъ теплоемкость свинца и желѣза различны (ср. § 54).

Бенджаминъ Франклинъ предложилъ измѣрять теплопроводность металлическихъ стержней тою быстротой, съ какою теплота распространяется по нимъ и заставляетъ таять слой воска, которымъ покрытъ стержень. Голландецъ Янъ Ингенгусъ построилъ приборъ, при помощи котораго можно производить эти измѣренія. Приборъ состоитъ изъ жестяного ящика (рис. 131), который наполняютъ теплой водой или масломъ. Въ стѣнкѣ этого ящика сдѣланъ рядъ отверстій, въ которыя вставляются металлическіе стержни, покрытые слоемъ воска. Когда металлические стержни нагрѣваются, воскъ таетъ и Франклинъ считалъ, что, чѣмъ длиннѣе слой воска, растаявшій въ теченіе опредѣленнаго времени, тѣмъ лучше металлъ проводитъ теплоту.

Этотъ способъ опредѣленія теплопроводности несомнѣнно лучше способа Рихманна, но и онъ слишкомъ далекъ отъ того, чтобы быть „чистымъ“. Онъ страдаетъ тѣмъ же недостаткомъ, что и опытъ Рихманна, т. е. тоже игнорируетъ лучеиспусканіе и теплоемкость.

148. Выполненіе „чистаго“ опыта требуетъ большой предусмотрительности и искусства. Всѣ явленія, которыя наблюдаются при этомъ опытѣ, должны быть приняты въ соображеніе, прежде чѣмъ можно произвести опытъ съ соблюденіемъ всѣхъ необходимыхъ мѣръ предосторожности. Ламбертъ (ср. § 127) очень ясно изложилъ

Рис. 131

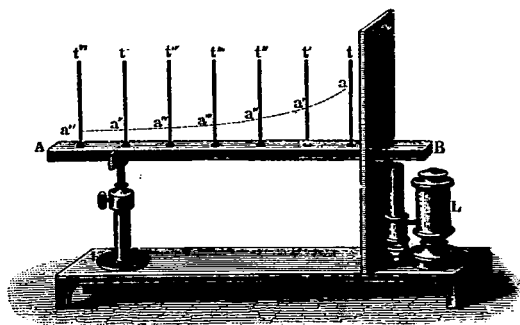


Приборъ Ингенгуса.

въ своей статьѣ 1778 года все, что происходитъ въ желѣзномъ стержнѣ, нагрѣваемомъ съ одного конца. Онъ пишетъ: „Стержень нагрѣвается только на одномъ концѣ. Но теплота постепенно переходитъ въ самую отдаленную часть стержня, а оттуда (путемъ лучеиспусканія и теплопроводности) въ воздухъ. Если пламя горѣло достаточно долго съ одинаковой силой, то каждая часть стержня пріобрѣтаетъ свою опредѣленную температуру, причемъ каждая часть получаетъ отъ прилегающихъ частицъ, лежащихъ ближе къ пламени, столько же теплоты, сколько отдаетъ болѣе отдаленнымъ частямъ и воздуху“. Этотъ выводъ, разумѣется, не есть результатъ опыта, произведеннаго Ламбертомъ, а чисто логическое заключеніе. Стержень долженъ быть въ стаціонарномъ тепловомъ состояніи. Нагрѣваніе отдѣльныхъ частей возможно лишь до опредѣленной величины и, когда стаціонарное состояніе достигнуто, количество тепла, получаемое любой частью стержня, должно быть равно количеству тепла, которое эта часть за то же время отдаетъ сосѣднимъ частямъ и воздуху. Въ противномъ случаѣ ея температура повышалась бы или падала и состояніе, такимъ образомъ, не было бы стаціонарнымъ.

Опыты, выполненные самимъ Ламбертомъ, представляютъ мало интереса. Лишь 26 лѣтъ спустя, т. е. въ 1804 году, Жанъ Батистъ Бю (1774—1862) опубликовалъ статью, гдѣ сообщаетъ о цѣломъ рядѣ опытовъ, при помощи которыхъ онъ нашелъ, какъ распредѣляется теплота въ стержнѣ съ наступленіемъ стаціонарнаго состоянія. Приборъ, употреблявшийся для этихъ опытовъ, изображенъ на рис. 132.

Рис. 132



Измѣреніе теплопроводности по Бю.

AB есть изслѣдуемый металлическій стержень. Одинъ конецъ этого стержня нагрѣвался пламенемъ равномерно горящей лампы, между тѣмъ какъ остальная его часть защищалась отъ дѣйствія этого источника тепла экраномъ. Въ стержнѣ на одинаковыхъ разстояніяхъ были просверлены отверстия, которыя наполнялись небольшимъ количествомъ ртути; въ ртуть были погружены шарики чувствительныхъ термометровъ. По наступленіи стаціонарнаго состоянія отмѣчались температуры, указываемыя термометрами. Такимъ образомъ получена была, изображенная на рисункѣ „кривая температуръ“, выражающая законъ, по которому убываетъ температура въ стержнѣ.

149. Сказанное относится ко всѣмъ металлическимъ стержнямъ, находящимся въ стаціонарномъ состояніи. Но если производить опытъ со стержнями изъ различныхъ

металловъ, то каждый металлъ даже при одинаковыхъ размѣрахъ стержней даетъ кривую другой формы.

Въ самомъ дѣлѣ, когда стержень находится въ стационарномъ состоянн, то вся теплота, доставляемая стержню источникомъ тепла, должна тратиться частью путемъ теплопроводности, частью лучеиспусканіемъ въ воздухъ. Если различнымъ металлическимъ стержнямъ придавать одну и ту же форму и серебрить ихъ поверхность, то всѣ они представятъ одинаковыя условия для внѣшней теплопроводности. Если, слѣдовательно, внутренняя теплопроводность различныхъ металловъ будетъ различная, то это должно обнаружиться тѣмъ, что разность температуръ на концахъ стержня будетъ больше или меньше смотря по тому, проводить ли металлъ теплоту лучше или хуже. Если представить себѣ, что термометры показываютъ для всѣхъ металловъ одну и ту же температуру, то, принимая во вниманіе, что внѣшняя теплопроводность одинакова для всѣхъ случаевъ, и внутренняя должна быть одна и та же, т. е. всѣ металлы должны были бы проводить теплоту одинаково хорошо.—Разница въ теплопроводности должна привести къ разницѣ въ показаніяхъ термометровъ и, разумѣется, плохой проводникъ проводить по стержню меньшее количество теплоты и даетъ болѣе низкія показанія термометра.

Болѣе подробное разсмотрѣніе опытовъ по теплопроводности невозможно безъ помощи математики. Но сказаннаго достаточно, чтобы признать, что путемъ стационарнаго состоянія можно сравнивать теплопроводность различныхъ металловъ.

Въ новѣйшихъ опытахъ по теплопроводности металловъ термометры были замѣнены значительно болѣе чувствительными термоэлектрическими элементами. Очень точныя измѣренія этого рода были произведены датскимъ физикомъ Л. Лоренцомъ (1829—1891).

Если положить теплопроводность серебра равной 100, то проводимость нѣкоторыхъ другихъ металловъ выразится слѣдующими числами:

мѣдь	74	жельзо	12
золото	53	свинець	9
латунь	23	платина	9
цинкъ	19	висмутъ	2
олово	15		

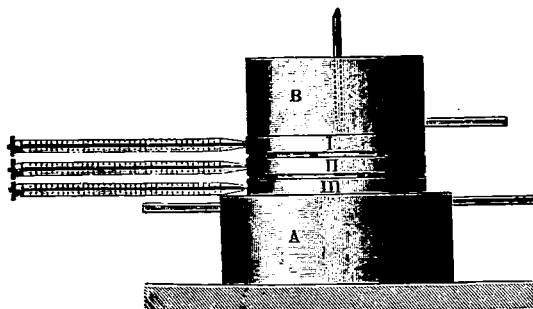
Твердыя тѣла лучше проводятъ теплоту, чѣмъ жидкости и газы, а между твердыми тѣлами наилучшими проводниками тепла являются металлы. Отдѣльные кристаллическія породы, какъ напримѣръ, горный хрусталь и каменная соль, проводятъ теплоту такъ же хорошо, какъ и свинець.—Дерево, солома, шелкъ, шерсть (вообще органичесія вещества), стекло и фарфоръ принадлежать къ плохимъ проводникамъ тепла. Причина того, что стекло при нагрѣванн легко ломается, заключается въ его плохой теплопроводности. При нагрѣванн одной части стекла эта часть сильно расширяется, и такъ какъ теплота недостаточно быстро сообщается сосѣднимъ частямъ, то въ нагрѣтомъ мѣстѣ возникаетъ напряженіе, вслѣдствіе чего стекло изгибается и ломается.

150. Профессоръ Христіансенъ въ Копенгагенѣ построилъ приборъ, служащій для сравненія между собою теплопроводностей различныхъ жидкостей. Сравненіе производится такъ же, какъ и въ способѣ Біо,—путемъ наблюденія стационарнаго состоянія.

Приборъ, служащій для этихъ опытовъ (рис. 133), состоитъ изъ трехъ мѣдныхъ пластинокъ I, II, III. Нижняя пластинка лежитъ на сосудѣ А, а на верхней стоитъ сосудъ В. Пластинки отдѣляются другъ отъ друга стеклянными столбиками и при томъ такъ, что средняя находится на одинаковомъ разстояніи отъ двухъ крайнихъ. Черезъ нижній сосудъ непрерывно протекаетъ холодная вода, а верхній нагревается паромъ или теплой водой. Въ промежуткѣ между I и II пластинками находится, на примѣръ, вода, которая не вытекаетъ вслѣдствіе прилипанія къ металлическимъ пластинкамъ, а въ промежуткѣ между II и III пластинками находится жидкость, теплопроводность которой нужно сравнить съ теплопроводностью воды. Теплота переходитъ по мѣднымъ пластинкамъ и по слоямъ жидкости изъ верхняго сосуда въ нижній и спустя нѣкоторое время три мѣдныхъ пластинки пріобрѣтаютъ опредѣленную температуру. Какъ только послѣдняя становится постоянной, ее отмѣчаютъ по термометрамъ, вдѣланнымъ въ мѣдныхъ пластинки. Въ жидкостяхъ не возникаетъ теченій, такъ какъ наиболѣе теплыя части находятся наверху. Когда наступаетъ стационарное состояніе, средняя пластинка получаетъ отъ водяного слоя столько же тепла, сколько отдаетъ слою другой жидкости, если не теряетъ тепла въ окружающую среду, что можно предотвратить, поддерживая температуру средней пластинки одинаковою съ температурой окружающей среды.

Теперь черезъ оба слоя жидкости проходитъ одинаковое количество тепла и, такъ какъ они одинаковой толщины и имѣютъ одинаковую поверхность, то тепло-

Рис. 133



Измѣреніе теплопроводности жидкостей по Христіансену.

проводности жидкостей должны быть обратно пропорціональны разностямъ температуръ между I и II и между II и III пластинками, причемъ болъшая разность температуръ соотвѣтствуетъ, разумѣется, меньшей теплопроводности.

Примѣръ. Верхній слой состоитъ изъ воды, нижній изъ глицерина. Температура трехъ пластинокъ I, II, III соотвѣтственно 18° , 15° (комнатная температура) и 10° C. Тогда теплопроводность воды относится къ теплопроводности глицерина, какъ $(15-10) : (18-15)$ или какъ 5 : 3. Теплопроводность глицерина составляетъ $\frac{3}{5}$ теплопроводности воды.

Всѣ жидкости, за исключеніемъ ртути, плохо проводятъ теплоту. Теплопроводность воды составляетъ приблизительно $\frac{1}{450}$ теплопроводности мѣди.

151. Еще хуже жидкостей проводить теплоту газы. Графъ Румфордъ былъ того мнѣшя, что жидкости вообще не проводятъ теплоты, такъ какъ ему не удалось обнаружить въ нихъ способность проводить теплоту. Еще труднѣе доказать способность газовъ проводить теплоту. Лишь въ 1860 году французскому физику Магньюсу удалось доказать, что водородъ проводитъ теплоту. Измѣреніе теплопроводности различныхъ газовъ было предпринято въ 1872 году Іозефомъ Стефаномъ, профессоромъ Вѣнскаго университета.

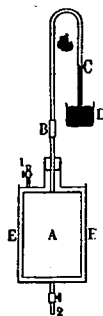
Его опыты производились при помощи прибора, изображеннаго на рис. 134. Металлическій цилиндръ *A* соединенъ трубкой *B* съ изогнутой стеклянной трубкой *C*, погруженной открытымъ концомъ въ ртуть. *ABCD* представляетъ, слѣдовательно, воздушный термометръ. Когда воздухъ въ *A* нагревается, ртуть вытѣсняется изъ *C*, когда же *A* охлаждается, ртуть въ трубкѣ *C* подымается. Цилиндръ *A* окруженъ вторымъ цилиндромъ *EE*. При помощи крановъ 1 и 2 изъ промежутка между двумя цилиндрами можно выкачивать воздухъ и наполнять промежутокъ, вмѣсто того, различными газами. Весь приборъ, т. е. оба цилиндра вмѣстѣ съ содержимымъ, нагревается, затѣмъ цилиндръ *E* погружаемъ въ воду со льдомъ охлаждается до 0° . Тогда теплота переходитъ изъ *A* въ *E*, воздухъ въ *A* охлаждается и ртуть въ трубкѣ *C* подымается вверхъ. Стефанъ убѣдился въ томъ, что излученіе тепла между *A* и *E* не производило сколько-нибудь замѣтнаго перехода теплоты и что, слѣдовательно, потеря теплоты цилиндромъ *A* обуславливалась только проводимостью тепла воздушнымъ слоемъ. По движенію ртути въ *C* можно было вычислить потерю тепла, а, значитъ, и величину теплопроводности. Оказалось, что атмосферный воздухъ проводитъ теплоту приблизительно въ 30 разъ хуже воды и въ 13500 разъ хуже мѣди.

Большинство газовъ обладаютъ такой же малой теплопроводностью, какъ и атмосферный воздухъ. Только водородъ проводитъ теплоту лучше, а именно, приблизительно въ 7 разъ лучше воздуха.

Теплопроводность не остается совершенно одинаковой при различныхъ температурахъ. Если, напримѣръ, поддерживать температуру одной изъ двухъ параллельныхъ боковыхъ сторонъ мѣднаго куба, съ ребромъ въ 1 см, равной 0° , а температуру другой стороны равной 1° , то въ теченіе 1 секунды отъ одной поверхности къ другой перейдетъ 0·7198 граммкалоріи. Если же температуры этихъ двухъ поверхностей будутъ 100° и 99° , то въ секунду переходитъ 0·7226 граммкалоріи. Такимъ образомъ, съ повышеніемъ температуры теплопроводности увеличивается. То же справедливо и для всѣхъ другихъ веществъ, которыя были изслѣдованы, какъ для твердыхъ, такъ и для жидкихъ и газообразныхъ.

152. Плохой теплопроводностью различныхъ тѣлъ часто пользуются въ обыденной жизни. Желѣзные сосуды снабжаются деревянными ручками, чтобы не отнимать теплоты у рукъ или, когда сосуды нагрѣты, не обжигать ихъ. Дэви (§ 123) хорошо воспользовался теплопроводностью металловъ въ своей безопасной лампѣ. Дэви замѣтилъ, что пламя не проходитъ сквозь металлическую стѣнку, пока она не накалится (рис. 135). Если ввести такую сѣтку въ пламя, то послѣднее, такъ сказать, разрѣзывается сѣткой. Дымъ проходитъ

Рис. 134



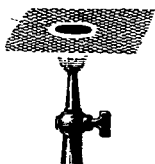
Измѣреніе теплопроводности газовъ по Стефану.

сквозь нее, а пламя не проходитъ. Именно, теплота пламени разсѣивается металломъ такъ быстро, что горючіе газы охлаждаются ниже температуры воспламененія и поэтому не горятъ по другую сторону сѣтки. Только тогда, когда пламя нагрѣло сѣтку уже до такой степени, что она раскалилась, горючіе газы загораются и поверхъ металлической сѣтки. Охлаждающее дѣйствіе сѣтки можетъ быть обнаружено также слѣдующимъ опытомъ. Если пропустить свѣтильный газъ сквозь металлическую сѣтку и зажечь его поверхъ нея (рис. 136), то пламя не переходитъ подъ нижнюю часть сѣтки.

Пламя, окруженное металлической сѣткой, можно безъ опасности вносить во взрывчатый газъ. Горючіе газы проникають, правда, подъ сѣтку и сгорають тамъ, но это горѣніе не распространяется на газы, находящіеся внѣ металлической оболочки.

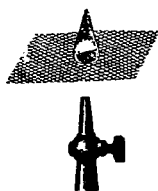
Дэви устроилъ безопасную лампу (рис. 137), чтобы дать рабочимъ въ шахтахъ средство защитить себя отъ опасностей взрыва. Въ каменноугольныхъ копяхъ иногда неожиданно выдѣляются большія количества горючихъ газовъ (рудничнаго

Рис. 135



Охлаждающее дѣйствіе металлической сѣтки.

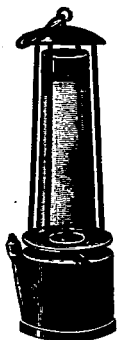
Рис. 136



Охлаждающее дѣйствіе металлической сѣтки.

газа), которыя въ соединеніи съ воздухомъ образуютъ взрывчатую смѣсь. Если эта смѣсь зажжется пламенемъ лампы въ копи, то произойдетъ ужасный взрывъ. Въ такихъ случаяхъ нерѣдко погибаетъ много рабочихъ. При употребленіи безопасной

Рис. 137



Безопасная лампа Дэви.

лампы можно замѣтить появленіе горючихъ газовъ, когда они сгорають внутри проволочной сѣтки, и рабочіе могутъ обезопасить себя раньше, чѣмъ послѣдуетъ взрывъ. Обыкновенно безопасная лампа гаснетъ при взрывѣ внутри проволочной сѣтки. Но, когда эти взрывы слабы, то лампа продолжаетъ горѣть и металлическая сѣтка накаляется, если своевременно не удалить лампу изъ опаснаго мѣста. — Стефенсонъ (§ 114), независимо отъ Дэви, изобрѣлъ подобную же безопасную лампу, которая представляла то преимущество, что она всегда гасла отъ взрыва и поэтому была совершенно безопасна. Въ новѣйшее время при работахъ въ шахтахъ пользуются вполнѣ безопасными электрическими лампочками накаливанія.

153. Если желаютъ предохранить тѣло отъ потери теплоты вслѣдствіе теплопроводности, то его окружають дурными проводниками тепла. Лучшей защитой отъ потери теплоты, какъ слѣдуетъ изъ предыдущаго, является неподвижный слой воздуха. Этому достигаютъ отчасти такимъ образомъ, что тѣло покрываютъ такими веществами, которыя имѣютъ множество наполненныхъ воздухомъ промежутковъ, каковы, напримѣръ, солома, мякина, опилки и шерсть, въ которыхъ воздухъ съ трудомъ

приходить въ движеніе, даже если онъ и нагрѣвается. Молодые деревья и кусты обертываютъ соломой, чтобы воспрепятствовать проникновенію холоднаго воздуха, а люди одѣваются въ шерстяныя и тому подобныя ткани, чтобы теплота тѣла не отдавалась внѣшнему воздуху. Изъ платьевъ и покрывалъ наиболѣе „теплыя“ всегда именно тѣ, въ ткани которыхъ есть больше всего маленькихъ промежутковъ, наполненныхъ воздухомъ.

Черезъ окна съ одной рамой зимою теряется много тепла, между тѣмъ какъ при двойныхъ рамахъ потеря тепла очень незначительна. И въ данномъ случаѣ отъ потери тепла предохраняетъ слой воздуха, заключенный между обѣими рамами, такъ какъ воздухъ между ними съ трудомъ можетъ приходиться въ движеніе. По той же причинѣ поляя стѣны „теплѣе“ массивныхъ.

Много лѣтъ тому назадъ Фьордъ (1825—1891) дѣлалъ опыты надъ „варкой въ сѣнѣ“, при которыхъ онъ пользовался дѣйствіемъ плохихъ проводниковъ. Предметъ, который варятъ, а именно, мясо, нагрѣваютъ въ водѣ до тѣхъ поръ, пока вода не закипитъ; затѣмъ сосудъ ставятъ въ ящикъ, выложенный соломой или ватой. Теплота сохраняется въ немъ въ теченіе нѣсколькихъ часовъ и за это время проникаетъ въ мясо. Здѣсь происходитъ, слѣдовательно, лишь постепенное прогрѣваніе, а не настоящая варка.

На высокиихъ горахъ приходится варить въ Папиновыхъ котлахъ, такъ какъ въ открытыхъ сосудахъ вода кипитъ тамъ при слишкомъ низкой температурѣ.

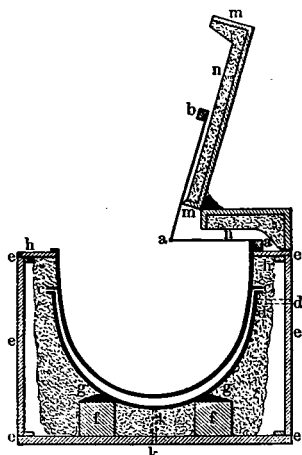
Устройство котла, устроеннаго Фьордомъ для городской больницы въ Копенгагенѣ, изображено на рис. 138. Котелъ, вмѣщавшій 270 литровъ, представлялъ собою двойной эмалированный котелъ. Внѣшній котелъ привинчивался къ внутреннему въ *c*. Котелъ нагрѣвался паромъ, который вдувался въ промежутокъ между двумя котлами черезъ трубку *d*. Конденсировавшаяся вода стекала по трубкѣ *k* внизъ. Котелъ, снабженный двойной, плотно закрывающейся крышкой, стоялъ въ деревянномъ ящикѣ *ee* на четырехъ деревянныхъ подставкахъ *ff*. Котелъ былъ окруженъ ватой, которой была также наполнена крышка. Послѣ того какъ вода въ котлѣ нагрѣвалась до кипѣнія, доступъ пара прекращался и крышка закрывалась, когда кипѣніе прекращалось, но вода еще имѣла температуру въ 100°.

Какъ медленно шло затѣмъ охлажденіе, видно изъ слѣдующей таблицы. Когда крышка котла опускалась, вода имѣла температуру въ 100° С. Спустя

1/2 часа	100°	4 часа	98·1°
1 „	99·7°	10 „	94·1°
2 „	99·4°	14 „	92·2°
3 „	98·9°	19 „	89·7°

Итакъ, въ теченіе 18 часовъ температура была выше 90°, а въ теченіе пер-

Рис. 138



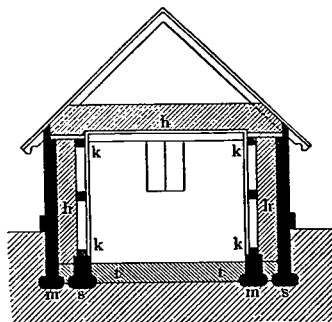
Паровой котелъ Фьорда.

выхъ 3 часовъ ея измѣненія не превышали тѣхъ, которыя испытываетъ сама точка кипѣнія вслѣдствіе измѣненія высоты барометра.

154. Въ связи съ опытомъ Фьорда надъ „варкой въ снѣгъ“ слѣдуетъ упомянуть и объ его опытахъ надъ сохраненіемъ льда. Онъ рекомендуетъ для этой цѣли ледникъ, устройство котораго изображено на рис. 139 и 140. Внѣшняя стѣнка *ms* и параллельный ей цоколь *ms*, высотой въ 1 м, построены изъ обыкновеннаго строительнаго камня. На цоколь находится деревянный ящикъ *kk*, въ которомъ собственно и помѣщается ледъ. Полъ этого помѣщенія для льда состоитъ изъ слоя торфа въ метръ толщиной, который легко впитываетъ и отдаетъ воду, образовавшуюся при таянш, и который вслѣдствіе своей плохой теплопроводности задерживаетъ теплоту земли. По бокамъ и сверху ледникъ покрытъ слоемъ рѣзки. Ледникъ запирается наглухо такъ, чтобы въ немъ не могли возникать теченія воздуха, а дверь должна быть двойной и должна плотно закрываться.

155. Наблюденія надъ температурой въ шахтахъ и буровыхъ скважинахъ въ результатъ дали, что температура земли по мѣрѣ углубленія увеличивается приблизительно на 1°C на каждые 30 м углубленія. Слѣдствіемъ этого долженъ быть постоянный притокъ теплоты изнутри земли къ ея поверхности. Можно вычислить величину потери тепла, происходящей этимъ путемъ, если извѣстна теплопроводность земной коры. Теплопроводность эта не превосходитъ 0.01, т. е. черезъ кубъ такой же

Рис. 139



Ледникъ Фьорда.

Рис. 140

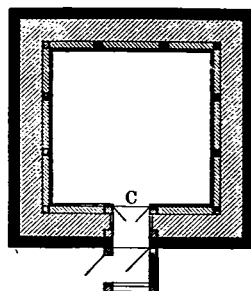


Рис. 139 въ разрѣзѣ.

теплопроводности, какъ земля, съ ребромъ въ 1 см проходитъ съ одной боковой поверхности на противоположную въ 1 секунду 0.01 граммкалорій, если разность ихъ температуръ составляетъ 1° . Черезъ столбъ земли въ 1 квсм сѣченіемъ и въ 30 м высотой проходитъ въ 1 минуту $\frac{0.01 \times 60}{3000} = 0.0002$ граммкалорій, если температура

на длину всего столба повышается на 1° . Въ теченіе года къ поверхности земли изнутри притекаетъ, слѣдовательно, около 105 граммкалорій. Такъ какъ средняя температура земной поверхности не измѣняется, то полученная изнутри земли теплота теряется, и является вопросъ, не охладится ли въ силу этого земля черезъ опредѣленное время. Чтобы произвести это вычисленіе, нужно помнить, что на каждый квадратный сантиметръ земной поверхности приходится 210000000 квсм ея объема. На этотъ объемъ

и распределяется потеря въ 105 граммкалорій. На каждый кубическій сантиметръ приходится ежегодная потеря въ $\frac{1}{2\,000\,000}$ граммкалорій. 1 *кбсм* земли вѣсить въ среднемъ 5 г и если считать теплоёмкость земли равной 0·1, что слишкомъ мало, то 1 *кбсм* при охлажденіи на 1° теряетъ $\frac{1}{2}$ граммкалорій. Чтобы потерять это количество тепла, землѣ потребовалось бы 0·5 : $\frac{1}{2\,000\,000} = 1\,000\,000$ лѣтъ. На самомъ дѣлѣ при этомъ вычисленіи потеря теплоты была принята слишкомъ большой, такъ что можно сказать, что земля вслѣдствіе теплопроводности изнутри къ поверхности охлаждается на 1° С въ теченіе нѣсколькихъ миллионъ лѣтъ.

Природа теплоты

Круговой процессъ Карно

156. Паровая машина Ватта оказала значительное вліяніе не только на развитіе техники, но и на теоретическое ученіе о теплотѣ. Обширное примѣненіе паровой машины должно было естественно привести къ болѣе подробному изученію связи между теплотой и работой, такъ какъ паровая машина производитъ работу благодаря теплотѣ. Извѣстно было также, что теплота вызываетъ мощныя теченія воздуха и воды на земной поверхности. Далѣе, знали, что воздухъ нагрѣвается при сжатіи, что на это затрачивается работа и что воздухъ при расширеніи, т. е. когда онъ производитъ работу, охлаждается. Такимъ образомъ, разнообразная обстоятельство побуждали къ болѣе глубокому размышленію надъ сущностью работы, производимой при помощи теплоты.

Замѣчательно, что ни одинъ изъ великихъ изслѣдователей первой четверти XIX столѣтія не занялся этимъ вопросомъ. Можно думать, что многочисленныя примѣненія тепловой машины какъ бы отвлекли вниманіе ученыхъ отъ этого важнаго вопроса. Какъ это часто бывало и до и послѣ этого случая—этотъ вопросъ получилъ разрѣшеніе благодаря не преемственному научному изслѣдованію, а непосредственно, путемъ гениальнаго проникновенія въ повседневныя явленія.

157. Молодой французскій военный инженеръ Сади Карно (1776—1832) опубликовалъ въ 1824 году статью „О движущей силѣ огня“. Исходя изъ общеизвѣстныхъ опытовъ, онъ старался объяснить, при какихъ условіяхъ можетъ быть произведена механическая работа съ помощью теплоты.

Карно указываетъ сначала на то, что всякая работа, произведенная теплотой, сопровождается переходомъ тепла изъ болѣе теплаго тѣла въ болѣе холодное, что, слѣдовательно, при этомъ должна существовать извѣстная разница температуръ, при которой только и возможенъ этотъ переходъ. Но разность температуръ двухъ тѣлъ можетъ быть обусловлена какъ нагрѣваніемъ, такъ и охлажденіемъ. Нѣтъ, слѣдовательно, никакихъ препятствій къ тому, чтобы строить „холодныя“ машины, подобно „тепловымъ машинамъ“. И тѣ и другія были бы основаны на одномъ и томъ же принципѣ, а именно на принципѣ перевода тепла. Въ паровой машинѣ съ конденсаторомъ для полученія разности температуръ мы пользуемся какъ теплотой (въ котлѣ), такъ и холодомъ (въ конденсаторѣ). Какъ только эта разность установилась, можно при всякихъ обстоятельствахъ получить работу. Устраненіе разности температуръ всегда имѣетъ слѣдствіемъ расширеніе и сжатіе тѣлъ—нагрѣваемыхъ или охлаждаемыхъ, безразлично—будутъ ли эти тѣла твердыя, жидкія или газообразныя. Измѣненіе же объема тѣла

всегда может быть, при помощи подходящих средств, переведено в работу так же, как и объем тела может быть изменен путем затраты работы. В „тепловых машинах“ находят применение газообразные тела, так как при нагревании они расширяются сильнее, чем твердые и жидкие тела (ср. § 14). Но здесь возникает вопрос, зависит ли работа, полученная при „падении“ температуры определенного количества тепла на известное число градусов, от вещества того тела, через которое теплота от места с более высокой температурой приводится к более низкой, или же она имеет всегда постоянную величину.

Чтобы выяснить этот вопрос, Карно представил себе, что из парового котла, нагретого до 200° , известный объем пара выпускают в цилиндр, в котором пар расширяется без притока теплоты извне и при этом совершает известную работу A , охлаждаясь в то же время до 150° . Затем этот пар вытесняется в другой котел, температура которого равна 150° , и сжимается в нем до прежнего объема. Для этого требуется работа B , которая меньше, чем A , так как сжатие происходит при 150° , расширение же происходило при 200° , т. е. при более высоком давлении пара. Итак, при помощи этого процесса выигрывается работа $A - B$ и из котла с температурой в 200° в котел с температурой в 150° переходит определенное количество тепла V . Если произвести этот процесс в обратном порядке, т. е. взять тот же объем пара из котла с температурой в 150° , сжать его настолько, чтобы температура сдвинулась равной 200° , и

Рис. 141



Сади Карно.

затем поместить его в этот, в котором температура 200° , то на это пришлось бы затратить работу; именно ту работу, которая необходима, чтобы то же количество тепла V довести с температуры в 150° до 200° . Для этого, очевидно, нужно затратить то же количество работы, которое раньше было приобретено, при том условии, конечно, что теплота не терялась в окружающую среду. При этом следует принять во внимание, что по мнению Карно пар при 150° содержит то же количество тепла, что и пар при 200° . Теплота по его взглядам была особым веществом, которое не может самопроизвольно исчезать или становиться больше.

Если бы существовало другое вещество, которое при переводе того же количества теплоты производило бы большую работу, чем водяной пар при понижении температуры от 200° до 150° , то обратным переводом теплоты при посредстве водяного пара удалось бы получить в чистом виде выигранную работу. Можно было бы, следовательно, получить *Perpetuum mobile*. Это Карно считал невозможным и потому он заключил, что всякое вещество при переходе теплоты от более высокой к более низкой температуре может производить одну и ту же работу.

Карно выражаетъ свое представленіе о дѣйствии теплоты такимъ образомъ, что теплота производитъ работу подобно водопаду: величина работы опредѣляется „падешемъ“ теплоты отъ болѣе высокой къ болѣе низкой температурѣ точно такъ же, какъ работа воды опредѣляется высотой паденія. Однако, онъ обращаетъ вниманіе на то, что нельзя сдѣлать непосредственное заключеніе, будто вдвое болѣе большая разница температуръ производитъ вдвое болѣе большую работу.

158. Карно мысленно воспроизвелъ опытъ, такъ называемый круговой процессъ или циклъ Карно, при помощи котораго можно установить, какъ велика работа, которую данное количество теплоты вообще въ состояніи произвести при данныхъ условіяхъ. Изъ практическихъ соображеній мы приводимъ здѣсь не оригинальное изложеніе Карно, а обработку, сдѣланную Клапейрономъ (1799—1864) въ 1834 году, спустя два года послѣ смерти Карно.

Въ цилиндрѣ (рис. 142) позади поршня находится опредѣленное количество воздуха извѣстной температуры (t_1^0) и подъ извѣстнымъ давленіемъ. Послѣднее значительно больше атмосфернаго давленія. Сжатый воздухъ гонитъ поршень впередъ, пока давленіе на стержень поршня меньше давленія заключеннаго въ цилиндрѣ воздуха. При этомъ расширеніи воздухъ долженъ былъ бы охладиться (ср. § 156), но пусть ему будетъ обезпеченъ притокъ теплоты, достаточный для поддержанія температуры неизмѣнной. Въ то время какъ поршень при такихъ условіяхъ будетъ двигаться отъ *B* до *C*, давленіе воздуха въ цилиндрѣ по закону Бойля будетъ уменьшаться, вмѣстѣ съ тѣмъ и давленіе на поршень нужно пред-

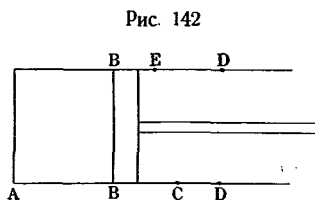


Рис. 142

Круговой процессъ Карно.

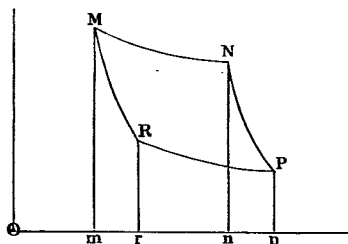
ставлять себѣ соотвѣтственно уменьшающимся такимъ образомъ, что давленіе на внутреннюю сторону поршня остается нѣсколько болѣе, чѣмъ внѣшнее. На пути отъ *B* къ *C* воздухъ пріобрѣтаетъ опредѣленное количество тепла (V_1) и производитъ при этомъ извѣстную работу (A_1). Величина этой послѣдней можетъ быть представлена извѣстной площадью (ср. § 99). Пусть *Om* (рис. 143) представляетъ объемъ воздуха, производящаго работу, въ положеніи *B* (рис. 142), а *Mm* величину его давленія. Когда поршень приходитъ въ *C*, объемъ становится больше, а давленіе уменьшается. Первое теперь будетъ представлено чрезъ *On*, а второе чрезъ *Nn*, и величина работы A_1 очевидно будетъ опредѣлена величиной площади *mMnN*. Затѣмъ поршень передвигается изъ *C* въ *D*, притомъ подъ дѣйствіемъ только расширенія воздуха и безъ новаго притока теплоты. Вслѣдствіе этого воздухъ охлаждается (отъ t_1^0 до t_2^0). Во время этого движенія воздухъ также производитъ нѣкоторую работу A_2 , величина которой опредѣляется площадью *nNPp*. Въ самомъ дѣлѣ, объемъ становится больше на *np*, а давленіе уменьшается съ *Nn* на *Pp*.

Вышеизложеннымъ описывается первая половина кругового процесса, въ теченіе которой воздухъ пріобрѣлъ количество теплоты V_1 и произвелъ двѣ работы A_1 и A_2 , которыя вмѣстѣ изображаются площадью *mMnNp*. Вторая часть процесса начинается съ того, что съ увеличеніемъ давленія на поршень онъ вгоняется обратно до *E*, причѣмъ, слѣдовательно, воздухъ сжимается. Послѣдній долженъ былъ бы поэтому нагрѣваться, но представимъ себѣ, что онъ отдаетъ какъ разъ столько тепла (V_2),

что его температура остается неизмѣнной (t_2^0). На этомъ пути, отъ D до E , отдѣленному въ цилиндрѣ воздуху передается работа A_2 , причемъ онъ отдаетъ количество тепла V_2 . Въ графическомъ изображеніи это движеніе выражается уменьшеніемъ объема на pr и повышеніемъ давленія съ Pp на Rr , сообщенная же работа (A_2) дается величиной площади $pPRr$.

Наконецъ круговой процессъ заканчивается тѣмъ, что поршень подвигается отъ E къ B . Вслѣдствіе этого воздухъ нагрѣвается, причемъ положеніе E выбрано такъ, что воздухъ при сжатіи отъ E до B

Рис. 143



Круговой процессъ Карно.

приходить къ точно такой же температурѣ и къ тому же давленію, которыя онъ имѣлъ въ началѣ кругового процесса. Объемъ воздуха теперь снова Om (рис. 143), а давленіе mM и воздуху снова сообщается работа, выражаемая величиной площади $rRMm$.

Воздухъ подъ поршнемъ въ теченіе кругового процесса приобретаетъ теплоту и отдаетъ ее. Въ то же время онъ и производитъ работу и на него тратится работа.

Работа, произведенная поршнемъ, равна площади $mMNPp$, затраченная $pPRMm$, такъ что при этомъ выиграно работы $MNPR$.

Въ какомъ же отношеніи находится полученное количество тепла (V_1) къ затраченному (V_2)?

Карно былъ того мнѣнія, что оба эти количества тепла совершенно равны. Какъ сказано, онъ считалъ теплоту веществомъ, и такъ какъ, по его допущенію, цилиндру и поршню теплота не сообщалась, а отдѣленный объемъ воздуха въ концѣ процесса имѣлъ то же количество тепла, что и въ началѣ, то оба количества тепла должны были быть одинаковыми. Единственная разница заключалась въ томъ, что теплота „падала“ въ отношеніи температуры, т. е. сообщенная теплота доставлялась пару при высокой температурѣ, а возвращалась имъ при низкой. Если это примѣнить къ паровой машинѣ, снабженной конденсаторомъ, то это означаетъ, что паръ доставляетъ конденсатору то же количество тепла, которое онъ содержитъ при переходѣ изъ котла въ цилиндръ (если не происходитъ потери путемъ теплопроводности и излученія).

„Этотъ фактъ“ (что затраченное и приобретенное количество тепла въ точности равны другъ другу), говоритъ Карно въ своей статьѣ 1824 года, „никогда не вызывалъ сомнѣній... Если онъ будетъ опровергнуто, то тѣмъ самымъ разрушится и вся теорія тепла“.

Однако, послѣдствіи Карно пришелъ къ другому взгляду. Но это стало извѣстно лишь тогда, когда его братъ Ипполитъ Карно издалъ въ 1878 оставленные имъ неоконченныя работы (ср. § 174).

159. Но еслибы Карно и сохранилъ свои первоначальные взгляды, онъ тѣмъ не менѣ принадлежалъ бы къ основателямъ современной теоріи тепла, такъ какъ онъ ясно и опредѣленно высказалъ ту мысль, что между теплотой и механической работой существуетъ опредѣленная связь, независимая ни отъ вещества, содержащаго

теплоту, ни отъ другихъ обстоятельствъ. Очевидно, что описанный круговой процессъ можно обратить и что для перехода того же количества тепла отъ болѣе низкой къ болѣе высокой температурѣ затратится такое же количество работы, какое до того было приобрѣтено. Болѣе выгодный процессъ полученія работы при помощи теплоты немислимъ, такъ какъ это должно было бы привести къ *Perpetuum mobile* (ср. § 156).

160. Великія открытія въ области естествознанія далеко не всегда происходятъ такимъ образомъ, что одинъ изслѣдователь непосредственно продолжаетъ работу другого. Цѣль достигается иногда удивительными обходными путями. Изслѣдованіе развивается такимъ путемъ, что въ немъ принимаютъ участіе не только отдѣльные избранныки, но оно передается цѣлому поколѣнію. Уже исходя изъ этого положенія вопроса, отдѣльные изслѣдователи бываютъ въ состояніи найти ту точку зрѣнія, съ которой видно единство въ многообразіи, при которой, слѣдовательно, дѣлается открытіе.

Такъ было и съ вопросомъ о природѣ теплоты. Приблизительно въ одно и то же время и независимо одинъ отъ другого различные изслѣдователи нашли одно и то же рѣшеніе; и при этомъ ими руководили не опыты Румфорда и Дэви, не признанная уже связь между свѣтовыми и тепловыми лучами и даже не работы Карно. Каждый изъ нихъ пришелъ къ цѣли своимъ собственнымъ путемъ.

Робертъ Майеръ

161. Въ 1840 г. молодой Юліусъ Робертъ Майеръ отправился въ качествѣ корабельнаго врача на голландскомъ трехмачтовомъ суднѣ въ путешествіе въ Остъ-Индію. „Хорошія стороны этого путешествія“, пишетъ онъ по этому поводу одному другу, „значительно превышаютъ дурныя: для меня много значить очень интересное морское путешествіе, возможность видѣть много странъ, острововъ и народовъ, немалозначительный, быть можетъ, заработокъ, но больше всего то, что теперь мнѣ не приходится играть въ моемъ отечествѣ незамѣтную роль въ качествѣ начинающаго лѣкаришки, а также и то, что я имѣю случай наблюдать съ всевозможныхъ точекъ зрѣнія человѣческую природу какъ въ здоровомъ, такъ и въ больномъ состояніи, равно какъ и природу вообще“.

Нѣсколько дней спустя послѣ прибытія судна въ Батавію многіе изъ команды заболѣли острымъ воспаленіемъ легкихъ и Майеръ пустилъ многимъ изъ нихъ кровь. Его очень поразило при этомъ то, что кровь въ ручной венѣ была яркочернаго цвѣта, такъ что онъ подумалъ даже, что порѣзалъ артерію. Онъ поговорилъ объ этомъ съ тамошними нѣмецкими врачами и тѣ ему объяснили, что въ тропическихъ странахъ венозная кровь имѣетъ необычайно яркій цвѣтъ. Для Майера это явленіе было новымъ и оно сильно его заинтересовало. Онъ постоянно размышлялъ объ этомъ и вотъ что писалъ по этому поводу.

162. „Исходя изъ теоріи Лавуазье, по которой животная теплота является результатомъ процесса горѣнія, я разсматривалъ двойное измѣненіе цвѣта, которое кровь испытываетъ въ капиллярахъ большого и малаго круга кровообращенія, какъ чувственно воспринимаемый знакъ, какъ видимое отраженіе процесса окисленія, происходящаго въ крови. Для поддержанія равномѣрной температуры человѣческаго тѣла

развитіе тепла въ немъ должно находиться въ извѣстномъ количественномъ соотвѣтствіи съ потерей тепла, слѣдовательно, и съ температурой окружающей среды; поэтому развитіе теплоты и процессъ окисленія, а также разница въ окраскѣ обоихъ видовъ крови въ общемъ должны быть меньше въ теплыхъ странахъ, чѣмъ въ холодныхъ“.

Его основной мыслью была, слѣдовательно, та, что въ тропическихъ странахъ, гдѣ температура воздуха высока, окисленіе крови происходитъ менѣе интенсивно, такъ какъ тѣло не нуждается въ значительномъ развитіи тепла,—потеря тепла въ окружающую среду здѣсь меньше, чѣмъ въ умѣренныхъ и холодныхъ странахъ.

Въ тѣсной связи съ этой основной мыслью находится, очевидно, положеніе, что количество всей теплоты, которую тѣло отдаетъ вовнѣ, должно быть такъ же велико, какъ и то, которое развивается въ тѣлѣ путемъ сгоранія, такъ какъ температура тѣла остается неизмѣнной.

„Но развитіе тепла“, продолжаетъ далѣе Майеръ, „происходитъ двоякимъ образомъ: тѣло животнаго отчасти развиваетъ теплоту непосредственно внутри себя и теряетъ ее въ окружающую среду, отчасти также, благодаря своему двигательному аппарату, обладаетъ способностью развивать теплоту даже въ самыхъ отдаленныхъ частяхъ тѣла механически путемъ тренія и т. п. Необходимо знать, слѣдуетъ ли отнести насчетъ процесса сгоранія одну только непосредственно развиваемую теплоту или же сумму количествъ тепла, полученныхъ прямымъ и косвеннымъ путемъ“. Майеръ отвѣчаетъ на этотъ вопросъ, „что вся теплота, развитая организмомъ отчасти непосредственно, отчасти механическимъ путемъ, количественно соотвѣтствуетъ или равна теплотѣ горѣнія и что поэтому теплота, развиваемая живымъ организмомъ, должна находиться въ неизмѣнномъ количественномъ отношеніи къ затраченной на это работѣ“.

Это положеніе имѣло сначала лишь теоретическую цѣнность. Чтобы оно могло получить значеніе и для другихъ, кромѣ Майера, его слѣдовало подтвердить опытами. Соотношенія, изъ которыхъ онъ выводилъ свои заключенія, были отчасти очень сложны, отчасти мало извѣстны и онъ самъ понималъ, что для полной достовѣрности здѣсь необходимы физическія изслѣдованія. Но въ области физики Майеръ не легко могъ ориентироваться, такъ какъ ему не доставало необходимыхъ специальныхъ познаній.

163. Майеръ родился въ 1814 году въ Гейльброннѣ, гдѣ его отецъ былъ аптекаремъ. Въ домѣ своихъ родителей онъ имѣлъ случай читать книги естественно-научнаго содержанія и заниматься физическими и химическими опытами. Особенно онъ интересовался механическими приборами и ему хотѣлось, какъ и многимъ мальчикамъ до и послѣ него, получить свое *Perpetuum mobile*. Ясное сознаніе невозможности построить подобный приборъ, какъ онъ впоследствии передавалъ, произвело на него глубокое и продолжительное впечатлѣніе. — Въ школѣ Майеръ не выдѣлялся. Его обучали собственно только мертвымъ языкамъ и классическая поэзія сильно привлекала поэтическую сторону его натуры. Но къ грамматикѣ и къ многочисленнымъ упражненіямъ въ сочиненіи безошибочныхъ и изящныхъ латинскихъ фразъ онъ не чувствовалъ никакого интереса. 18 лѣтъ онъ отправился въ Тюбингенскій университетъ изучать медицину. Онъ занимался съ большимъ увлеченіемъ, причѣмъ принималъ дѣятельное участіе и въ студенческой жизни. Онъ основалъ новый

студенческой союзъ, который вскорѣ прекратилъ свое официальное существованіе, чтобы избѣжать преслѣдованій Союзнаго Совѣта. Но союзъ продолжалъ существовать тайно и, когда это открылось, Майеру пришлось покинуть Тюбингенъ. Непродолжительное время онъ учился въ Мюнхенѣ и въ Вѣнѣ, но вскорѣ получилъ разрѣшеніе вернуться въ Тюбингенъ, гдѣ въ 1838 году и кончилъ докторомъ медицины.

Еще до окончанія курса онъ по совѣту отца рѣшилъ поступить судовымъ врачомъ на голландскую службу. До поступленія на службу онъ прожилъ нѣкоторое время въ Парижѣ, что имѣло большое значеніе для его позднѣйшихъ работъ. Именно, онъ встрѣтился здѣсь съ нѣсколькими товарищами по университету, между прочимъ съ Карломъ Бауромъ, впоследствии профессоромъ математики и механики въ Штуттгартѣ, а также съ знаменитымъ врачомъ Вильгельмомъ Гризингеромъ. Съ послѣднимъ онъ по своему возвращеніи домой вступилъ въ переписку по поводу своихъ мыслей о связи между теплотой и работой.

164. Какъ было уже сказано, Майеръ понималъ, что доказательство правильности его заключеній можетъ быть добыто только средствами физики. Онъ принялся поэтому за основательное изученіе физики и химіи. Изучая послѣднюю, онъ былъ пораженъ, когда замѣтилъ, какъ прочно было убѣжденіе относительно существованія опредѣленной причинной связи между „исчезающими“ и „образующимися“ веществами. Въ физикѣ, напротивъ, эта „красная нить“ терялась въ тысячѣ мѣстахъ,—то попадалась причина безъ слѣдствія, то слѣдствіе безъ причины. „Издавна принято допускать, что движеніе прекращается при треніи и т. д. Что при этомъ появляется теплота, знаетъ всякій школьникъ; наука ограничивается самимъ фактомъ и съ смиреніемъ устанавливаетъ аксіому, что теплота при треніи необъяснима“. Можно придти къ значительно болѣе естественному выводу, допустивъ, что, если движеніе не превращается въ ничто и если теплота не можетъ возникнуть изъ ничего, то количество тепла, развиваемое при треніи, равно (эквивалентно) движенію, потраченному на преодоленіе тренія.

Вотъ ходъ мыслей, который Майеръ хотѣлъ ввести въ физику. Всякая причина должна имѣть свое дѣйствіе и всякое дѣйствіе свою причину. Химики примѣняютъ это основное положеніе въ области вещества, а Майеръ требовалъ, чтобы оно прилагалось и въ области „силы“ (въ современномъ обозначеніи: „энергіи“).

165. Энергіи, по его мнѣнію, являются причинами, и въ цѣпи причинъ и слѣдствій не можетъ отсутствовать звено или его часть. Причины (т. е. энергіи) не могутъ поэтому уничтожаться, онѣ лишь способны принимать различныя формы. Причина поднятія груза есть энергія, дѣйствіе которой (закрывающееся въ томъ, что грузъ лежитъ выше, чѣмъ раньше) есть также энергія. Такую энергію въ настоящее время называютъ энергіей положенія (ср. I, § 181).—Задолго до Майера было извѣстно, что энергія положенія превращается въ энергію движенія, когда поднятому тѣлу дадутъ падать, и что пріобрѣтенная энергія скорости равна потерянной энергіи положенія (I, § 182), а также и то, что тѣло, брошенное вверхъ по вертикальному направленію, терять въ энергіи движенія столько же, сколько оно выигрываетъ въ энергіи положенія. Майеръ указываетъ на то, что часто можно наблюдать, какъ движеніе (слѣдовательно, и энергія движенія) исчезаетъ, причѣмъ новидимому не возникаетъ другого движенія или другой энергіи положенія, и спрашиваетъ, куда же дѣвается энергія движенія, гдѣ слѣдуетъ искать ея дѣйствія. Онъ обращаетъ свое вниманіе въ

особенности на образовании теплоты при трении двух металлических пластинок. Здесь движение исчезает вследствие сопротивления трения и единственный эффект, который можно наблюдать, заключается в том, что пластинки нагреваются. Он должен быть поэтому заключить, что энергия движения (которая представляет причину) превращается в теплоту (представляющую, следовательно, ее следствие) таким же образом, как энергия движения превращается в энергию положения. Теплота, таким образом, есть форма энергии.

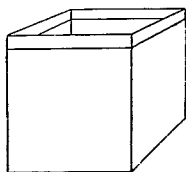
Показывая естественную связь между энергией положения, энергией движения и теплотой, Майер пишет: „Мы знаем, что теплота проявляется тогда, когда отдельные частицы тела сближаются; при уплотнении выделяется теплота; то, что справедливо для мельчайших частиц тела и промежутков между ними, должно иметь место и для больших масс и измеримых расстояний. Падение груза на землю в действительности есть сокращение объема земного тела и потому должно находиться в связи с обнаруживающейся теплотой; эта теплота должна быть строго пропорциональна величине груза и его (первоначальному) расстоянию от земли“.

Здесь, следовательно, Майер имеет целью: энергия положения, энергия движения, теплота. Каждое звено ее является следствием предшествующего и равнозначно ему. Целью может быть взята и в обратном порядке, теплота может, при помощи паровой машины, порождать энергию движения, а последняя, путем поднятия груза, может быть превращена в энергию положения.

166. Эти идеи были развиты Майером в статье, появившейся в 1842 году¹⁾, в которой он указывает также, каким образом отношение между теплотой и энергией движения (работой) может быть выражено числом²⁾.

Представим себе полый куб, наполненный воздухом (рис. 144), ребро которого равно 1 метру и объем которого составляет, следовательно, один кубический метр.

Рис. 144



Вычисление механического эквивалента теплоты.

Верхняя грань этого куба пусть будет подвижна, остальные же пять неподвижны. Верхняя грань подобно поршню парового цилиндра может входить более или менее глубоко в ящик, образованный остальными поверхностями куба. На поверхность куба давит атмосфера с силой, равной весу столба ртути в 0.76 м высоты (I, § 234). Так как поверхность куба равна 1 кв.м, то давление воздуха равно весу 0.76 куб.м ртути. Удельный вес ртути равен 13.6, т. е. 1 куб.см ртути весит 13.6 г, а 1 куб.м, следовательно, 13600 кг. Согласно с этим давлением на грань взятого куба должно составлять $13600 \times 0.76 = 10336$ кг.

Если нагреть воздух в кубе на 1°C , то подвижная грань куба подыметса на $\frac{1}{273}$ м, так как воздух расширится на $\frac{1}{273}$ своего объема (ср. § 35). Но для того, чтобы поднять грань куба, воздух должен произвести работу, величина которой равна произведению давления на путь, пройденный гранью куба. Работа эта

¹⁾ Она была напечатана в „Annale der Chemie und Pharmacie“.

²⁾ Более подробно Майер рассматривает это вычисление в статье, вышедшей в 1845 году в Гейльбронне под заглавием: „Органическое движение в связи с объемом вещества“.

равна, слѣдовательно, $10336 \times \frac{1}{273} = 37.8$ килограмметровъ. Еслибы тотъ же объемъ воздуха былъ заключенъ въ кубъ съ шестью неподвижными гранями, то при нагрѣваніи воздуха не получилось бы работы, но увеличилось бы давленіе, производимое этимъ воздухомъ. Въ этомъ случаѣ понадобилось бы и меньше теплоты, чтобы нагрѣть воздухъ на 1°C , а именно, приблизительно на 0.09 тепловой единицы меньше, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда воздухъ можетъ расширяться. Такъ какъ температура воздуха въ обоихъ случаяхъ повысилась на одну и ту же величину, то въ одномъ случаѣ излишекъ тепла былъ израсходованъ на работу. Итакъ 0.09 единицы тепла превращаются въ 37.8 килограмметровъ. Значитъ, единица тепла (килограммкалорія) эквивалентна 420 (приблизительно) килограмметрамъ.

Майеръ, однако, нашелъ значительно меньшую цифру (367), такъ какъ въ то время измѣренія теплоты, затраченной при нагрѣваніи воздуха, не были достаточно точны.

167. Майеръ встрѣтилъ у физиковъ мало пониманія. Его даже вовсе не понимали и онъ не могъ добиться и того, чтобы статья его была напечатана въ *Анналахъ Поггендорфа*¹⁾. Этому много способствовало то обстоятельство, что Майеръ основывалъ свое изложеніе исключительно на положеніи о нераздѣльности причины и слѣдствія, не подтверждая правильности этого утвержденія опытомъ. Чтобы ознакомиться съ мнѣніями специалистовъ физиковъ, Майеръ лично бесѣдовалъ съ профессорами физики въ Гейдельбергѣ и Тюбингенѣ. Первый изъ нихъ, Жолли, сказалъ ему, что этотъ вопросъ его очень интересуеетъ и побуждалъ Майера „продолжать“; другой, Нёррембергъ, возражалъ, что, если Майеръ правъ, то вода при встряхиваніи должна нагрѣваться. Майеръ, которому это явленіе было уже знакомо²⁾, по своемъ возвращеніи изъ Тюбингена продѣлалъ этотъ опытъ нѣсколько разъ и всегда съ полнымъ успѣхомъ.

Людвигъ Августъ Кольдингъ

168. Въ томъ же году, когда Майеръ путешествовалъ въ Остъ-Индію, въ Копенгагенѣ происходилъ первый съѣздъ сѣверныхъ естествоиспытателей. На этомъ собраніи молодой технологъ Людвигъ Августъ Кольдингъ собирався прочесть докладъ о неуничтожаемости силъ природы. Онъ отказался, однако, отъ этой мысли, послѣ того какъ Эрстедъ далъ ему совѣтъ сначала доказать правильность своихъ идей при помощи опытовъ.

Кольдингъ родился въ 1815 году въ Арнаккегаардѣ близъ Гольбэка, но росъ въ Ньюгаардѣ близъ Копенгагена. Онъ поступилъ въ ученіе къ столяру въ Копенгагенѣ и въ 1836 году сдѣлался подмастерьемъ. Въ слѣдующемъ году онъ поступилъ въ Политехнической институтъ, который окончилъ въ 1841 году. Въ 1843 году онъ представилъ въ мѣстное научное общество свою первую статью. Послѣ дальнѣйшихъ занятій, во время которыхъ онъ пользовался поддержкой названнаго общества, Кольдингъ представилъ болѣе значительную статью, въ которой сообщалъ о многочисленныхъ опытахъ, сдѣланныхъ имъ съ цѣлью опредѣлить соотношеніе между работой и теплотой.

¹⁾ Известный журналъ, посвященный физикѣ. *Прим. пер.*

²⁾ Во время морского путешествія штурманъ обращалъ его вниманіе на то, что гонимыя бурей волны теплѣ спокойной воды.

169. Подобно Майеру, Кольдингг трактовалъ вопросъ о соотношеніи между силами природы весьма широко. Онъ пишетъ: „Какъ мнѣ кажется, опытъ ясно устанавливаетъ, что силы природы находятся въ тѣсной внутренней связи между собой, такъ какъ онъ учитъ, что всякая сила своимъ дѣйствіемъ вызываетъ другія силы природы и можетъ давать имъ возможность дѣйствовать“. Треще производитъ теплоту и свѣтъ и то же треніе электризуетъ янтарь. Онъ напоминаетъ объ опытахъ Румфорда надъ сверлешемъ и о другихъ работахъ, имѣвшихъ цѣлью выяснитъ связь между теплотой и движешемъ, и говоритъ: „Мысль о томъ, что какая-нибудь дѣятельность матеріи можетъ исчезнуть, не проявившись снова въ видѣ дѣйствующей причины, представляется мнѣ противной разуму, и я утверждаю, что всѣ силы безъ исключенія испытываютъ лишь измѣненіе формы, когда онѣ кажутся исчезающими, и что онѣ снова обнаруживаются въ качествѣ дѣйствующихъ причинъ той же величины, но въ измѣненной формѣ“.

170. Въ статьѣ, относящейся къ 1843 году, Кольдинггъ сообщаетъ рядъ опытовъ надъ теплотой тренія, изъ которыхъ, по его мнѣнію, можно было сдѣлать тотъ выводъ, что количество теплоты прямо пропорціонально „потерянной“ работѣ. Статья, появившаяся въ 1847 году, составляетъ продолженіе первой. Опыты производились съ приборомъ, изображеннымъ на рис. 145 и 146. Онъ состоитъ изъ телѣжки съ полозьями, нагруженной пушечными ядрами и движущейся по металлическимъ рельсамъ. Полозья покрыты металлическими полосами *c*. Полозья и рельсы, по которымъ они скользятъ, помѣщены на брусахъ *b* изъ бакаутоваго дерева и могутъ безпрепятственно расширяться, такъ какъ укрѣплены лишь на одномъ концѣ. Телѣжку можно тянуть при помощи веревки, перекинутой черезъ блокъ и натягиваемой грузомъ; теплота, вызванная

Рис. 145

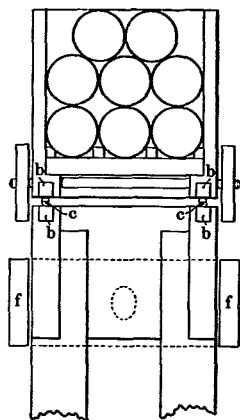
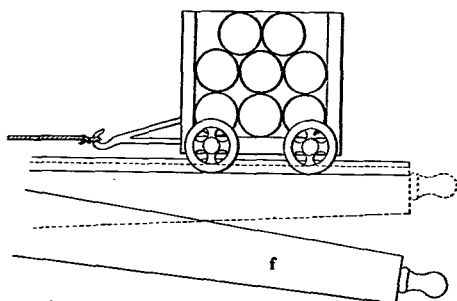


Рис. 146



Приборъ Кольдингга.

трещемъ, заставляеть удлиняться рельсы и металлическія полозья. Когда телѣжка достигаетъ конца пути, посредствомъ поднятія балокъ *f* она приводится въ положеніе, указанное пунктиромъ (рис. 146), и превращается, такимъ образомъ, въ вагонетку, стоящую колесами на балкахъ *f*, по которымъ ее можно откатить обратно. Затѣмъ балки *f* опускаются, телѣжка снова превращается въ салазки, которая снова заставляють скользить по рельсамъ, и т. д. Кольдинггъ нашель число фунтофутовъ,

необходимыхъ для преодоленія тренія, и изъ расширенія металлическихъ рельсовъ, которое было измѣрено очень точно, вычислилъ теплоту, полученную путемъ этого тренія.

171. Въ результатѣ 14 рядовъ такихъ опытовъ Кольдингъ получилъ слѣдующее:

1. Развивавшееся количество тепла увеличивалось вмѣстѣ съ работой, затраченной на то, чтобы тянуть телѣжку.

2. Это количество тепла не зависѣло отъ рода металла, изъ котораго были слѣданы рельсы и обивка полозьевъ.

3. Въ среднемъ фунтовая единица теплоты развивалась при затратѣ 1185·4 фунтофутовъ работы (для килограммовой единицы теплоты это дастъ 372 килограмметра работы).

Кольдингъ, слѣдовательно, доказалъ при помощи своихъ опытовъ, что между теплотой и механической работой существуетъ опредѣленная зависимость. Опредѣленное количество работы при помощи тренія можетъ быть превращено въ опредѣленное количество тепла.

Кольдингъ хотѣлъ опредѣлить отношеніе между единицей работы и единицей тепла или, какъ это теперь принято называть, механической эквивалентъ тепла, и хотя его измѣренія дали слишкомъ малую величину (372 вмѣсто 424 килограмметровъ), все же Кольдингъ на ряду съ Майеромъ заслуживаетъ имени основателя механической теоріи тепла.

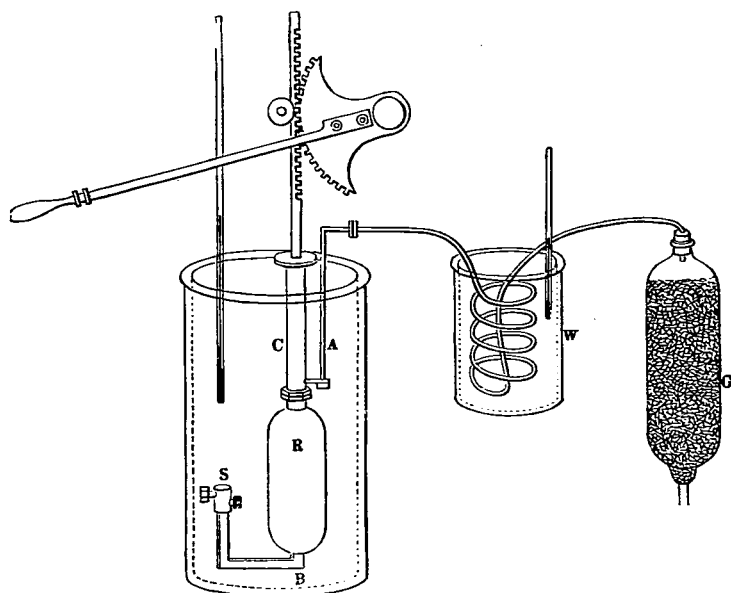
Джэмсъ Прескоттъ Джауль

172. Кромѣ Майера и Кольдинга въ обоснованіи механической теоріи тепла значительное участіе принималъ Джэмсъ Прескоттъ Джауль, который произвелъ весьма тщательное и точное экспериментальное опредѣленіе механическаго эквивалента теплоты. Онъ происходилъ изъ семьи пивоваровъ и родился въ 1818 году въ Сальфордѣ близъ Манчестера. До 15-лѣтняго возраста онъ вмѣстѣ со старшимъ братомъ воспитывался дома. Затѣмъ оба они поступили къ Далтону (§ 80), который преподавалъ имъ химію и физику. Джауль особенно интересовался физикой и отецъ устроилъ ему лабораторію, въ которой онъ могъ заниматься производствомъ физическихъ опытовъ. Располагая ничтожными пособиями, онъ, однако, вскорѣ достигъ такой ловкости въ экспериментированіи, что былъ въ состояніи производить новыя наблюденія путемъ самостоятельныхъ опытовъ. Изслѣдованія въ области ученія объ электричества въ природѣ. Мы не можемъ здѣсь подробнѣе останавливаться на этихъ первыхъ работахъ Джауля, такъ какъ для ихъ пониманія необходимо знакомство съ электрическими явленіями, о которыхъ рѣчь будетъ ниже. Онъ нашелъ, что съ помощью электромагнетизма можно получать теплоту и уничтожать ее, а электромагнетизмъ онъ получалъ съ помощью механической работы. Джауль старался такимъ путемъ найти механической эквивалентъ теплоты, но болѣе точныхъ результатовъ онъ достигъ при помощи своихъ позднѣйшихъ изслѣдовацій другого рода. Мы познакомимся теперь съ нѣкоторыми изъ его многочисленныхъ и гениально выполненныхъ опытовъ.

173. Джауль опредѣлялъ эквивалентъ теплоты различными способами при помощи сжатія или расширенія воздуха. Одинъ изъ его способовъ изображенъ на рис. 147. Въ водяномъ калориметрѣ, защищенномъ отъ потери тепла, находится

прочный резервуар R , въ которомъ сжимается воздухъ при помощи воздушнаго насоса C . Прежде чѣмъ воздухъ сжимается въ резервуаръ R , онъ проходитъ по трубкѣ G и затѣмъ по змѣвику, погруженному въ водяную ванну W . Трубка G наполнена кусками пемзы, смоченными сѣрной кислотой. Сѣрная кислота поглощаетъ водяные пары воздуха, а въ змѣвикѣ воздухъ принимаетъ опредѣленную температуру. Когда затѣмъ воздухъ сжимается въ сосудѣ R , онъ нагревается и развивается; при этомъ теплота сообщается водѣ калориметра. Количество воды бралось такое, что температуры ея до и послѣ опыта ¹⁾ мало отличались одна отъ другой и ихъ среднее было равно температурѣ водяной ванны W . При такихъ условіяхъ легко вы-

Рис. 147



Измѣреніе механическаго эквивалента тепла по Джаулю.

числить, какая работа была затрачена на сжатіе воздуха. Можно допустить, что сжатіе происходитъ при постоянной температурѣ, слѣдовательно, согласно закону Бойля (ср. первую часть второй половины круговаго процесса Карно, § 158).

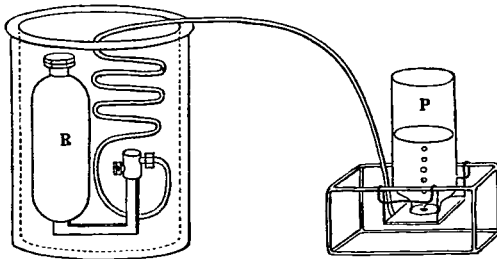
Джауль произвелъ соответствующій опытъ и для того, чтобы измѣрить тепловой эквивалентъ путемъ опредѣленія величины охлаждения воздуха при расширеніи. Резервуаръ R , наполненный сжатымъ воздухомъ, находился въ водяномъ калориметрѣ (рис. 148); когда открывали кранъ h , воздухъ устремлялся чрезъ змѣвикъ въ сосудъ, наполненный водою. Зная объемъ вытекшаго воздуха, преодолевшаго сопротивление атмосферы и вытѣсниваемаго воду изъ сосуда, Джауль могъ вычислить

¹⁾ Эти температуры измѣрялись весьма чувствительнымъ термометромъ, указаннымъ на рисункѣ. *Прим. пер.*

величину работы, произведенной сжатым воздухомъ, а при помощи чувствительнаго термометра, погруженнаго въ воду калориметра, могъ найти охлажденіе, соотвѣтствующее этой работѣ.

174. Самый „чистый“ опытъ, который произвелъ Джауль, былъ, однако, тотъ, при которомъ теплота получалась путемъ тренія. Сосудъ (ртутный калориметръ),

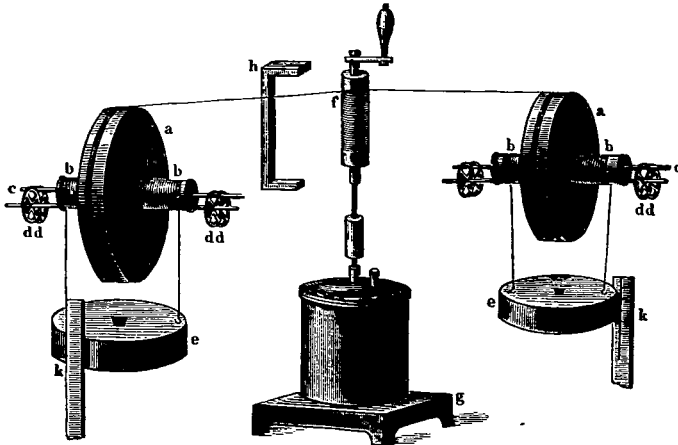
Рис. 148



Измѣреніе тепловаго эквивалента по Джаулю.

стоящій на подставкѣ *g* (рис. 149), имѣть устройство, изображенное на рис. 150. Вращающееся вокругъ вертикальной оси колесо имѣть восемь лопатокъ *b* вверху и столько же лопатокъ *g* внизу. Одна группа лопатокъ движется между горизонталь-

Рис. 149



Опредѣленіе тепловаго эквивалента по Джаулю.

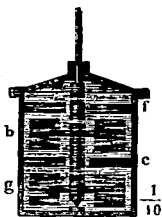
ными металлическими пластинками *f* и *c*, другая между металлической пластинкой *c* и дномъ сосуда. Какимъ образомъ ось приводится во вращеніе паденіемъ грузовъ *ee*, легко видѣть изъ рисунка.

При производствѣ опыта съ этимъ приборомъ сначала разобщаютъ валъ *f* и ось при помощи приспособленія *h*. Затѣмъ, вращеніемъ рукоятки поднимаютъ грузы, снова устанавливаютъ соединеніе между валомъ и осью и позволяютъ грузамъ падать.

Послѣ двадцатикратнаго повторенія этой операціи опредѣляютъ повышеніе температуры ртути вслѣдствіе тренія. Работа, затраченная на полученіе этой теплоты, можетъ быть опредѣлена по величинѣ грузовъ и высотѣ паденія. Изъ многочисленныхъ опытовъ, произведенныхъ Джаулемъ, механическій эквивалентъ тепла былъ опредѣленъ въ 424 килограмметра.

175. Какъ мы видѣли, Майеръ, Кольдингъ и Джауль почти одновременно показали, что между различными силами природы существуетъ болѣе тѣсная зависимость, чѣмъ полагали до того времени. Майеръ и Кольдингъ ясно высказали, что къ спеціальному вопросу о зависимости между теплотой и работой ихъ привели соображенія болѣе общаго характера. Имъ былъ сдѣланъ упрекъ въ томъ, что они, подходя къ этому вопросу, не отдавали себѣ яснаго отчета въ немъ и пускались въ философскія разсужденія. Совѣтъ иначе взялся за дѣло Джауль. Для разрѣшенія этого вопроса онъ пошелъ по пути опыта и свои выводы дѣлалъ исключительно на основаніи опытовъ. И онъ также былъ воодушевленъ широкими идеями, которыя, однако, рѣдко высказывались и на которыя лишь иногда дѣлались только намеки, какъ

Рис. 150



Калориметръ Джауля.

напримѣръ, въ слѣдующихъ его словахъ: „Мы можемъ а ригіі заключить, что полное уничтоженіе „живой силы“ невозможно, ибо нельзя допустить, что силу, которую Богъ вложилъ въ матерію, легче можетъ быть уничтожена, чѣмъ создана, усиленіями человѣка“.

Майеръ не былъ физикомъ въ такой мѣрѣ, чтобы самостоятельно придумывать опыты и выполнять ихъ; онъ, однако, использовалъ результаты опытовъ, выполненныхъ другими, для доказательства правильности своего взгляда на зависимость между работой и теплотой. Что же касается Кольдинга, то нужно признать, что онъ произвелъ опытное изслѣдованіе этого вопроса.

Само собою разумѣется, что при всѣхъ обстоятельствахъ окончательное слово въ естествознаніи принадлежитъ опыту. „Provando e Riprovando“ (опытъ и снова опытъ)—девизъ Accademia del Cimento—должно быть на вѣчныя времена девизомъ естествознанія; однако, умозрѣніе должно и здѣсь пользоваться правами гражданства, какъ и во всякой иной дѣятельности человѣческаго духа.—Дѣлаетъ открытія не тотъ непремѣнный, кто проникнуть насквозь ученостью, не дѣйствующій по всѣмъ правиламъ искусства спеціалиста. Какъ выразился одинъ остроумный писатель, изобрѣтателя нельзя требовать, чтобы онъ былъ непремѣнный филистеромъ, а отъ односторонняго филистера нельзя ожидать открытій, какъ бы онъ ни былъ ученъ.

176. Въ теченіе продолжительнаго времени шелъ ожесточенный споръ о томъ, кто изъ упомянутыхъ трехъ лицъ впервые и наиболѣе обстоятельно выяснилъ зависимость между теплотой и работой. Но споры подобнаго рода бесплодны. Каждый изъ этихъ трехъ ученыхъ несомнѣнно работалъ независимо другъ отъ друга, но всѣ они были дѣтьми своей эпохи и черпали идеи изъ современнаго круга знаній. Для науки было большимъ счастьемъ, что зависимость между теплотой и работой была установлена одновременно въ различныхъ мѣстахъ, такъ какъ благодаря этому указанное открытіе быстро стало достояніемъ всего цивилизованнаго міра.

Если нужно присудить первенство одному только человѣку, то этимъ человѣ-

комъ слѣдуетъ признать Карно, такъ какъ изъ оставшейся послѣ него рукописи, опубликованной въ 1878 году (ср. § 158), видно, что онъ, подобно Румфорду и Дэви, не только пришелъ къ мысли о томъ, что теплота не есть вещество, но и довольно правильно опредѣлилъ механической эквивалентъ тепла и далъ указанія на надлежащіе опыты, которые впоследствии были выполнены Джаулемъ. Еслибы Карно прожилъ еще нѣсколько лѣтъ, то опредѣленіе механическаго эквивалента тепла было бы, вѣроятно, всецѣло связано съ однимъ только его именемъ.

177. Съ 1841 года Майеръ былъ врачомъ въ своемъ родномъ городѣ Гейльброннѣ. Въ сороковыхъ годахъ онъ опубликовалъ нѣсколько важныхъ работъ о зависимости между силами природы; но эти работы почти не обратили на себя вниманія.

Въ 1847 году Парижской Академіи была представлена работа Джауля о механическомъ эквивалентѣ тепла и Майеръ обратился въ Академію съ письмомъ, въ которомъ настаивалъ на своемъ первенствѣ въ открытіи механическаго эквивалента тепла. Джауль въ своемъ возраженіи сослался на свои статьи, доказывая, что онъ работалъ совершенно независимо отъ Майера и опредѣлилъ механической эквивалентъ тепла своими собственными опытами.

Этотъ споръ о приоритетѣ, тянувшійся много лѣтъ, причинилъ Майеру много огорченій. Вышло въ сущности, что онъ не былъ признанъ; при этомъ онъ не мало страдалъ отъ того, что не получилъ систематической подготовки по физикѣ. Онъ страстно отдался размышленіямъ религіознаго свойства. Не найдя признанія у своихъ современниковъ, онъ хотѣлъ возмѣстить это чѣмъ-нибудь другимъ. Кончилось тѣмъ, что онъ заболѣлъ разстройствомъ умственныхъ способностей и попалъ въ лечебницу въ Гёппингенѣ. Но здѣсь, по его мнѣнію, былъ плохой уходъ, вслѣдствіе чего онъ перешелъ въ другую лечебницу (въ Винненталъ). Но и тутъ, какъ онъ полагалъ, его состояніе было неправильно понято. Какъ онъ впоследствии выразился въ одномъ письмѣ, „его здѣсь подвергали всевозможнымъ тѣлеснымъ и душевнымъ мученіямъ, пока ему не удалось вырваться оттуда“. Это пребываніе въ психиатрическихъ лечебницахъ длилось полтора года и омрачило всю его дальнѣйшую жизнь. Самъ онъ настойчиво отрицалъ свою душевную болѣзнь; до конца своей жизни онъ былъ того мнѣнія, что невѣжественные врачи неправильно лечили его.

Рис. 151



Робертъ Майеръ.

Въ пятидесятихъ годахъ заслуги Майера стали постепенно находить подобающую оцѣнку. Докторъ Бонъ въ Мюнхенѣ въ 1857 году выпустилъ въ свѣтъ трудъ о неразрушимости силъ, въ которомъ онъ признавалъ, что Майеръ далъ толчокъ къ совершенно новому развитію физики. Бонъ, указывая на трудность пониманія сочиненій Майера, добавляетъ: „на долю Майера выпалъ несчастный жребій умереть въ домѣ умалишенныхъ вскорѣ послѣ появленія его сочиненій; этимъ объясняютъ необычныя и неясныя мѣста въ его трудахъ“.—Это попало въ ежедневную прессу и мнѣше, что Майеръ будто бы умеръ, продолжало держаться въ нѣкоторыхъ мѣстахъ до 70-хъ годовъ, несмотря на то, что въ 1858 году Майеръ принималъ участіе въ съѣздѣ естествоиспытателей въ Карлсруэ и былъ удостоенъ Тюбингенскимъ университетомъ званія доктора honoris causa. Причина, по которой этотъ слухъ держался такъ долго, заключается главнымъ образомъ въ томъ, что это ложное свѣдѣніе попало въ біографическій словарь Поггендорфа (1863). Отсюда можно также видѣть, какъ незамѣтно протекала жизнь Майера въ Гейльброннѣ. Только на съѣздѣ естествоиспытателей въ Иннсбрукѣ (въ 1869 году) на его долю выпали заслуженныя почести. Съ этого времени на него стали сыпаться отличія въ видѣ избраній въ члены ученыхъ обществъ, въ видѣ орденовъ и медалей. Онъ еще про-

Рис. 152



Л. А. Кольдингъ.

жилъ рядъ счастливыхъ лѣтъ и умеръ въ 1878 году послѣ продолжительной болѣзни. Въ его родномъ городѣ въ 1892 году ему была воздвигнута памятникъ.

178. Кольдингу не пришлось вести борьбы съ неприятностями, какъ Майеру. У него не было необходимости настаивать такъ упорно на безусловномъ признаніи, наоборотъ, онъ спокойно могъ указать на то, что открытіе сдѣлано имъ самостоятельно, что и было признано за нимъ исторіей физики. Помимо научныхъ работъ Кольдингъ опубликовалъ значительное количество статей технического характера. Въ 1845 году онъ былъ сдѣланъ инспекторомъ дорогъ, а въ 1847 году инспекторомъ водяныхъ сооружений. Занимая эти должности, онъ руководилъ также газовымъ заводомъ и

водопроводомъ въ Копенгагенѣ и разработалъ планъ канализаціи этого города. Съ 1858 года онъ состоялъ городскимъ инженеромъ и впродолженіе 20 лѣтъ былъ вмѣстѣ съ тѣмъ учителемъ въ политехнической школѣ. Въ 1856 году онъ былъ избранъ въ члены мѣстнаго ученаго общества, а въ 1871 году Эдинбургскій университетъ удостоилъ его степени доктора. Онъ умеръ въ 1888 году.

179. Джауль до 1854 года вель совмѣстно съ братомъ пивоваренное дѣло, перешедшее къ нимъ по наслѣдству. Въ этомъ году они продали его въ другія руки. Начало научной извѣстности Джауля относится къ 1847 году; въ этомъ году онъ послалъ Парижской Академіи свой трудъ, упомянутый въ § 177, о механическомъ эквивалентѣ тепла и сдѣлалъ докладъ объ этомъ въ собраніи Британскаго Общества естествоиспытателей (British Association) въ Оксфордѣ. Самые выдающіея физики Англій, какъ Майкель Фарадэй и Вильямъ Томсонъ, присутствовали въ этомъ собраніи. Послѣдній пишетъ: „Въ этомъ собраніи я познакомился съ Джаулемъ; это знакомство вскорѣ перешло въ дружбу на всю жизнь. Прослушавъ его докладъ, я сначала хотѣлъ было встать и заявить о его ошибочности. Но постепенно я понималъ, что въ этомъ докладѣ содержится великая истина и великое открытіе“. — Подобно Вильяму Томсону, и всѣ остальные сдѣлались въ концѣ концовъ приверженцами Джауля, благодаря ряду его убѣдительныхъ опытовъ; правда, это случилось не сразу. Вызывало сомнѣнія то обстоятельство, что въ опытахъ Джауля получались лишь очень незначительныя повышеія температуры. Однако, величина механическаго эквивалента тепла, полученная Джаулемъ изъ его опытовъ, была въ концѣ концовъ всѣми признана вѣрной.

Джауль работалъ въ различныхъ областяхъ физики, особенно въ области теплоты и электричества. При обработкѣ результатовъ своихъ опытовъ онъ, подобно Фарадэю, совершенно не пользовался математикой.

Джауль никогда не былъ преподавателемъ. Онъ былъ слабого здоровья, спокойная и уединенная жизнь болѣе всего отвѣчала его наклонностямъ. Умеръ онъ въ 1889 году въ Сэлѣ близъ Манчестера. За нимъ упрочилась слава изслѣдователя, съ которымъ въ смыслѣ важности изслѣдовавшей не могъ сравниться ни одинъ изъ ученыхъ, жившихъ въ средней четверти XIX столѣтія.

180. Большинству физиковъ середины прошлаго столѣтія трудно было привыкнуть къ мысли, что теплота и механическая работа „эквивалентны“. Такое воззрѣіе находилось въ противорѣчій съ положеніемъ Карно, по которому теплота совершаетъ работу лишь въ томъ случаѣ, когда она, не уменьшаясь количественно, „падаетъ“ въ температурѣ (ср. § 158).

Рѣшающее слово объ этомъ было сказано Рудольфомъ Клаузиусомъ

Рис. 153



Д. П. Джауль.

(род. въ 1822 году въ Кёслингѣ, ум. въ 1888 году профессоромъ физики въ Боннѣ), бывшимъ въ то время преподавателемъ въ артиллерійской школѣ въ Берлинѣ. Именно, онъ показалъ, что круговой процессъ Карно и его утверженіе, что работа находится въ зависимости отъ теплоты, переводимой отъ болѣе высокой температуры къ болѣе низкой, легко согласуются съ учещемъ объ эквивалентности теплоты и работы. Дѣйствительно, весь ходъ разсужденій Карно вовсе не требуетъ, чтобы теплота, какъ притекающая, такъ и отданная во время кругового процесса, была одна и та же. Самъ Карно, правда, говоритъ въ своемъ сочиненіи, что, по его мнѣнію, эти два количества тепла тождественны, но его изложеніе кругового процесса не предполагаетъ этого допущенія. Клаузиусъ и выясняетъ, что работа, полученная при круговомъ процессѣ, является эквивалентомъ исчезнущаго количества тепла. Отсюда слѣдуетъ, что количество теплоты, притекающее при круговомъ процессѣ, больше, чѣмъ отданное.

Что дѣло происходитъ именно такъ, было доказано Гирномъ, инженеромъ въ Кольмарѣ (1815—1890), путемъ наблюденій надъ паровой машиной. Его опыты были поставлены такъ, что онъ могъ опредѣлить количество теплоты, которое отнималось у пара для нагрѣванія частей машины. Гирнъ нашелъ, что количество теплоты, содержащееся въ парѣ до вступленія его въ цилиндръ, больше того количества, которое паръ отдаетъ отчасти машиннымъ частямъ, отчасти холодной водѣ конденсатора. Выполнивъ опытовъ подобнаго рода, конечно, было сопряжено съ большими трудностями и было невозможно поэтому добиться вполне точныхъ результатовъ. Однако, Клаузиусъ, сдѣлавъ вычисленія для опытовъ Гирна, доказалъ, что теплота, истраченная паровой машиной, приблизительно соотвѣтствуетъ работѣ, выполненной поршнемъ. Этимъ было доказано первое основное положеніе механической теоріи тепла,—положеніе объ эквивалентности теплоты и работы, доказанное для того случая, когда совершается переходъ теплоты въ работу, послѣ того какъ раньше это положеніе было доказано для перехода работы въ теплоту.

Изъ другихъ работъ Гирна слѣдуетъ отмѣтить произведенное имъ опредѣленіе механическаго эквивалента тепла. Желѣзный цилиндръ въсомъ въ 350 кг и призматическая глыба песчаника были подвѣшены на четырехъ канатахъ такъ, что могли соприкасаться своими основаніями. Обращенная къ цилиндру поверхность глыбы была покрыта желѣзнымъ листомъ. Опытъ состоялъ въ томъ, что желѣзный цилиндръ заставляли падать съ опредѣленной высоты на каменную призму и производить этимъ сжатіе куска свинца, послѣ чего опредѣлялась теплота, образовавшаяся при ударѣ. Изъ большого числа опытовъ, на подробностяхъ которыхъ здѣсь нельзя останавливаться, для механическаго эквивалента тепла получилось число 425·2 килограмметра.

181. Небольшое количество теплоты соотвѣтствуетъ большому количеству работы; другими словами, теплота является весьма дѣятельной формой энергіи. Большая калорія (килограммкалорія) соотвѣтствуетъ 424 килограмметрамъ работы.

Одинъ килограммъ угля при сгораніи даетъ 8000 единицъ тепла, что соотвѣтствуетъ количеству работы въ $8000 \times 424 = 3392000$ килограмметровъ. Подъ лошадиной силой разумѣютъ такую силу, которая способна совершить въ одну секунду 75 килограмметровъ работы, а въ часъ 270000 килограмметровъ. Слѣдовательно, въ одномъ килограммѣ угля заключается энергія въ 12·5 „лошадей-часовъ“.

Еслибъ у насъ были приборы (машины), помощью которыхъ можно было бы

превращать въ работу всю теплоту сгорания, то отъ небольшого количества угля можно было бы получить очень большое количество работы.

Но тутъ выступаетъ положеніе Карно (второе основное положеніе механической теории теплоты, полнѣе развитое Клаузиусомъ), согласно которому при переходѣ теплоты въ работу теплота должна испытывать „паденіе“,—должна переходить отъ болѣе высокой температуры къ болѣе низкой. Количество теплоты, которое можетъ быть превращено машиной въ работу, зависитъ отъ величины паденія температуры, которому подвергается теплота, чтѣ обусловливается чисто практическими обстоятельствами.

Вычислено, что у обыкновенныхъ паровыхъ машинъ, работающих—если имѣть въ виду проницаемость поршня—съ температурами рѣдко выше 200°C , въ работу превращается, самое болынее, 20% теплоты. У небольшихъ машинъ это отношеніе еще неблагопріятнѣе.

У паровыхъ турбинъ (§ 56) отношенія нѣсколько иныя. Такъ какъ у нихъ нѣтъ поршня, то онѣ могутъ работать съ значительно болѣе высокими температурами, благодаря чему можетъ быть достигнуто болѣе полезное дѣйствіе.

Механическая теорія теплоты

182. Итакъ, теплота въ настоящее время разсматривается, какъ энергія. Представленіе о существоваши особаго теплового вещества совершенно оставлено; допущеніе Румфорда, что теплота представляетъ собою родъ движенія, нашло всеобщее признаше. Теорія теплорода замѣнена механической теоріей тепла; ея основаніями служатъ изложенныя выше открытія и опыты. Эта теорія исходитъ изъ допущенія, что теплота есть движеніе мельчайшихъ частицъ тѣла, движеніе молекулъ. Послѣднія такъ малы, что видѣть ихъ невозможно; но движеніе ихъ воспринимается нервами и вызываетъ ощущеніе, которое мы называемъ теплотой.

Согласно древнему воззрѣшю на природу теплоты (Геронъ), нагрѣваніе тѣла есть слѣдствіе проникновеніе огня (теплоты) въ поры тѣла (§ 38). Явленіе плавленія, по мнѣнію Галилея, состоитъ въ томъ, что теплота всецѣло заполняетъ поры. Механическая теорія тепла также даетъ намъ возможность составить себѣ болѣе опредѣленное представленіе о являющихся нагрѣванія, плавленія и испаренія. Намъ нужно прежде всего составить ясное понятіе о внутреннемъ строеніи тѣла. Ниже объ этомъ будетъ сказано болѣе подробно. Пока же мы ограничимся слѣдующими замѣчаніями.

Твердое тѣло состоитъ изъ молекулъ (маленькихъ частицъ), которыя порознь или группами производятъ притягательное дѣйствіе другъ на друга (сила сцѣпленія). Молекулы разсматриваются, какъ абсолютно твердыя, слѣдовательно, какъ несжимаемая. Отсюда вытекаетъ, что въ такъ называемомъ твердомъ тѣлѣ молекулы не могутъ непосредственно соприкаться другъ съ другомъ, такъ какъ всѣ тѣла въ болѣе или меньшей степени сжимаемы. Но молекулы твердаго тѣла занимаютъ опредѣленное положеніе равновѣсія и если онѣ выводятся изъ этого положенія вслѣдствіе сжатія или расширенія тѣла, то онѣ стремятся вернуться къ нему. Тѣло опять принимаетъ свою первоначальную форму и первоначальный объемъ, если, конечно, измѣненія не были настолько велики, чтобы заставить молекулы занять совершенно новыя положенія равновѣсія.

183. Далѣе, принимаютъ, что молекулы твердаго тѣла не находятся въ покоѣ, а совершаютъ колебанія около положенія равновѣсія. Скорость и размѣры этихъ колебаній зависятъ отъ температуры тѣла или, вѣрнѣе говоря, — температура опредѣляется величиною и скоростью колебаній, такъ какъ теплота, содержащаяся въ тѣлѣ, какъ было сказано выше, есть не что иное, какъ движеніе молекулъ. — Когда твердое тѣло нагревается, то колебанія молекулъ становятся интенсивнѣе, — они становятся больше и слѣдуютъ другъ за другомъ чаще. Касаясь тѣла, мы ощущаемъ эти болѣе сильныя колебанія его молекулъ, какъ болѣе высокую температуру. Нервъ, передающій ощущеніе тепла, получаетъ отъ молекулъ тѣла съ болѣе высокой температурой болѣе частыя и болѣе сильныя толчки, чѣмъ отъ тѣла съ болѣе низкой температурой. Второе слѣдствіе усиленія движеній состоитъ въ томъ, что молекулы при своихъ колебаніяхъ удаляются отъ положенія равновѣсія больше, чѣмъ до этого. Вслѣдствіе этого тѣло при болѣе высокой температурѣ занимаетъ болѣе пространство, — другими словами, тѣло при нагреваніи расширяется.

184. Когда тѣло расширяется, то теплота, вообще говоря, совершаетъ при этомъ двоякую работу. Именно, если поверхность тѣла испытываетъ какое-либо давленіе, напримѣръ, давленіе атмосферы, то, расширяясь, тѣло должно совершать работу. Въ самомъ дѣлѣ, поверхность тѣла должна, перемѣщаясь, преодолѣвать непрерывно дѣйствующее давленіе (ср. § 166). Сверхъ этой такъ называемой внѣшней работы должна быть произведена и внутренняя работа, производящая расширеніе. Молекулы переходятъ въ новыя положенія равновѣсія, но сила сцѣпленія не позволяетъ имъ распастся. При переходѣ молекулъ въ новыя положенія имъ приходится преодолѣвать силу сцѣпленія. Нужная для этого работа, которую должна совершить теплота, и есть внутренняя работа. Однако, у твердыхъ тѣлъ на совершеніе обоихъ указанныхъ родовъ работы затрачивается лишь незначительная часть сообщенной теплоты. Большая же часть теплоты обуславливаетъ повышеніе температуры, т. е. повышеніе энергіи движенія молекулъ.

185. При дальнѣйшемъ нагреваніи и при продолжающемся расширеніи молекулы наконецъ удаляются другъ отъ друга на такое разстояніе, что сила сцѣпленія не въ состояніи больше удерживать ихъ колебанія около постояннаго положенія равновѣсія. Хотя молекулы продолжаютъ оказывать притягательное дѣйствіе другъ на друга, но это не мѣшаетъ имъ перемѣщаться другъ относительно друга. Тѣло уже теряетъ свою опредѣленную форму, — оно переходитъ въ жидкое состояніе. Этотъ переходъ наступаетъ въ тотъ моментъ, когда разстоянія между молекулами перешли извѣстный предѣлъ, т. е. когда колебанія молекулъ достигли опредѣленной величины и скорости. Однако, сила сцѣпленія у различныхъ твердыхъ тѣлъ различна, вслѣдствіе чего они плавятся не при одномъ и томъ же состояніи движенія молекулъ. Но одно и то же твердое тѣло плавится, наоборотъ, всегда при одинаковомъ состояніи молекулярнаго движенія, т. е. при одной и той же температурѣ. Точка плавленія твердаго тѣла постоянна.

Однако, точка плавленія, какъ мы видѣли, зависитъ отъ давленія, подъ которымъ находится твердое тѣло. Такъ, напримѣръ, ледъ таетъ при температурѣ ниже 0° (ср. § 45), если онъ находится подъ большимъ давленіемъ. Наоборотъ, точка плавленія сѣры съ увеличеніемъ давленія повышается (§ 46). Это находится въ связи съ измѣненіемъ объема, сопровождающимъ плавленіе. Ледъ при переходѣ въ жидкое

состояніе сжимается, съра же, наоборотъ, расширяется (§ 46). Вслѣдствіе увеличенія давленія объемъ льда уменьшается и молекулярное измѣненіе, составляющее плавленіе, можетъ поэтому произойти при болѣе низкой температурѣ, т. е. при меньшей энергіи молекулярнаго движенія. Объемъ съры тоже уменьшается подъ давленіемъ. Но вслѣдствіе этого молекулярное измѣненіе тѣла здѣсь затрудняется. Оно требуетъ болѣе значительной энергіи молекулярнаго движенія, т. е. точка плавленія должна повыситься.—Тутъ, однако, возникаетъ затрудненіе при изложенномъ объясненіи, что явленіе плавленія состоитъ въ удаленіи молекулъ другъ отъ друга. Дѣйствительно, если объемъ льда при плавленіи уменьшается, то его молекулы, очевидно, должны сближаться. А въ то же время онѣ при этомъ должны менѣе зависѣть другъ отъ друга. Однако, это противорѣчіе не затрагиваетъ собственно механической теоріи тепла, какъ это легко видѣть, если представить себѣ слѣдующій круговой процессъ. Въ цилиндрѣ находится нѣкоторое количество воды и на нее давить поршень, напримѣръ, въ 500 кг вѣсомъ. Воду охлаждають и замораживаютъ; при этомъ она расширяется и подымаетъ поршень. Послѣ этого поршень удаляютъ и нагрѣваютъ цилиндръ. Ледъ таетъ и получается вода, имѣющая температуру 0°. При этомъ круговомъ процессѣ была затрачена работа на поднятіе поршня въ 500 кг. Само собою разумѣется, что на эту работу была израсходована теплота; такимъ образомъ, на плавленіе льда была затрачена теплота въ болѣемъ количествѣ, чѣмъ та, которую вода выдѣлила при замерзаніи. Притокъ тепла былъ больше, чѣмъ его отдача. Но при каждомъ круговомъ процессѣ этого рода температура, которую имѣетъ сообщенная теплота, должна быть выше, чѣмъ температура отданной теплоты. Теплота должна имѣть „паденіе температуры“. Такъ какъ въ данномъ случаѣ теплота была сообщена при температурѣ 0°, то она должна быть выдѣлена при температурѣ ниже 0°, т. е. точка плавленія льда лежала ниже 0°. Давленіе, произведенное на воду, вызвало, такимъ образомъ, пониженіе точки плавленія. У съры имѣетъ мѣсто противоположное явленіе, такъ какъ она при плавленіи расширяется.

186. Независимо отъ того, повышается ли точка плавленія подъ давленіемъ или понижается, плавленіе при всѣхъ условіяхъ требуетъ значительной внутренней работы, которая затрачивается не на повышеніе энергіи молекулярнаго движенія, а на преодоленіе силы сцѣпленія твердаго тѣла. Чтобы расплавить одинъ килограммъ льда, нужно затратить 80 единицъ тепла (§ 48), что соотвѣтствуетъ работѣ въ $80 \times 424 = 33920$ килограмметровъ. Что это количество теплоты расходуется только на то, чтобы произвести внутреннее молекулярное измѣненіе, видно изъ того, что во время плавленія температура не повышается.—Для другихъ тѣлъ теплота плавленія, т. е. внутренняя работа при плавленіи, меньше (§ 50).

При переходѣ тѣла изъ жидкаго состоянія въ твердое происходитъ то же самое молекулярное измѣненіе, но въ обратномъ направленіи. Въ этомъ случаѣ работа не должна затрачиваться на молекулы,—послѣднія сами совершаютъ работу, которая проявляется въ видѣ теплоты, т. е. какъ энергія молекулярнаго движенія.

187. На свободной поверхности жидкости происходитъ испареніе (§ 55), т. е. молекулы жидкости переходятъ въ газообразное состояніе. Пока молекулы принадлежатъ жидкости, онѣ удерживаются вмѣстѣ благодаря силѣ сцѣпленія, которая, правда, значительно меньше, чѣмъ въ твердыхъ тѣлахъ, но все же весьма замѣтна. Требуется нѣкоторая сила, чтобы отдѣлить другъ отъ друга частицы жидкости. Если частицы

жидкости предоставить самимъ себѣ, то онѣ собираются въ капли. Молекулы жидкости совершаютъ движеніе подобно молекуламъ твердаго тѣла. Форма совершаемыхъ ими колебаній опредѣляется молекулярнымъ вліяніемъ сосѣднихъ частицъ. На поверхности жидкости имѣютъ мѣсто своеобразныя условія, такъ какъ въ этихъ условіяхъ молекула окружена жидкостью не со всѣхъ сторонъ. Вслѣдствіе этого молекулы на поверхности совершаютъ колебанія не такъ, какъ молекулы внутри жидкости. Онѣ отдѣляются отъ жидкости и уходятъ въ воздухъ (или въ безвоздушное пространство). Подобное улетучиваніе молекулъ съ поверхности жидкости происходитъ постоянно; происходитъ оно тѣмъ чаще, чѣмъ быстрѣ колебанія, совершаемыя молекулами. Если пространство надъ жидкостью ограничено, то оторвавшіяся молекулы ударяются о стѣнки и отбрасываются отъ нихъ подобно упругимъ шарамъ, т. е. таисъ, что уголъ паденія равенъ углу отраженія. Нѣкоторыя изъ молекулъ возвращаются обратно на поверхность жидкости и снова смѣшиваются съ нею. Если въ опредѣленный промежутокъ времени въ жидкость возвращается столько же молекулъ, сколько ихъ улетучивается изъ нея за тотъ же промежутокъ времени, то получается стаціонарное состояніе и пространство надъ жидкостью насыщено паромъ (ср. § 72). Паръ производитъ давленіе на разграничивающую поверхность и это „давленіе пара“ вызывается ударами, производимыми молекулами о стѣнки, которыми ограниченъ взятый объемъ.

188. Для того чтобы образованіе пара происходило не только на поверхности жидкости, но и внутри ея, т. е. чтобы жидкость кипѣла (ср. § 74), необходимо повысить ея температуру, пока молекулы не начнутъ колебаться такъ сильно, что сила сцѣпленія, которой онѣ сдерживаются, будетъ преодолѣна и ихъ взаимное притяженіе будетъ уничтожено. Кромѣ силы сцѣпленія должно быть преодолѣно и внѣшнее давленіе на жидкость, которое также стремится удерживать молекулы другъ возлѣ друга. Вслѣдствіе этого точка кипѣнія повышается, когда внѣшнее давленіе увеличивается; она, напротивъ, понижается, когда давленіе уменьшается (§ 82). Когда говорятъ, что жидкость кипитъ, то это значитъ, что ея молекулы обладают такой большой энергіей движенія, что отдѣляются отъ жидкости несмотря на силу сцѣпленія и на внѣшнее давленіе.

Для того же, чтобы это могло имѣть мѣсто, необходима значительная внутренняя работа, какъ и при плавленіи, и для перехода жидкости въ паръ нужно даже еще больше энергіи (или работы), чѣмъ для перехода тѣла изъ твердаго состоянія въ жидкое. Для того чтобы 1 кг воды при 100° превратился въ паръ, требуется 540 единицъ тепла (§ 75), что соотвѣтствуетъ работѣ въ $540 \times 424 = 228960$ килограмметровъ. „Лошадиная сила“ совершаетъ въ одну секунду 75 килограмметровъ работы. Слѣдовательно, внутренняя работа, которая нужна для превращенія въ паръ 1 кг воды при 100°, равна той работѣ, которую лошадь въ состояніи совершить въ $228960 : 75 = 3053$ секунды (50 мин. 53 сек.).

Когда паръ опять переходитъ въ жидкое состояніе, то эта внутренняя работа снова обнаруживается. Она проявляется въ видѣ увеличившагося молекулярнаго движенія (теплота при сжиженіи).

189. Для газовъ теорія молекулярнаго движенія развита до высокой степени совершенства, между прочимъ, Рулольфомъ Клаузіусомъ (§ 180). обстоятельное изложеніе этой теоріи выходитъ изъ рамокъ настоящей книги, такъ какъ оно требуетъ

математическихъ выкладокъ. Мы приведемъ здѣсь лишь нѣкоторые выводы этой „кинетической теоріи газовъ“.

Принимаютъ, что молекулы газа (напримѣръ, воздуха) находятся въ непрерывномъ движеніи, при томъ не въ колебательномъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ жидкихъ и твердыхъ тѣлахъ, а въ прямолинейномъ. Когда воздухъ находится въ закрытомъ сосудѣ, его молекулы ударяютъ о стѣнки сосуда и, такъ какъ удары быстро слѣдуютъ другъ за другомъ и происходятъ одновременно въ большомъ количествѣ, то они проявляются въ видѣ непрерывно дѣйствующаго давленія. Если уменьшить объемъ воздуха вдвое (не измѣняя его температуры), то единица поверхности стѣнки сосуда получаетъ въ теченіе такого же промежутка времени вдвое больше толчковъ. Вслѣдствіе этого давленіе удваивается (законъ Бойля I, § 257). Если же нагрѣть воздухъ, не давая ему расширяться, то толчки становятся сильнѣе, такъ какъ скорость молекулъ становится больше. Поэтому давленіе увеличивается съ температурой (ср. § 34). То же самое имѣетъ мѣсто для всѣхъ газовъ. Болѣе подробное разсмотрѣніе этихъ соотношеній, какъ мы увидимъ дальше, имѣетъ большое значеніе для современнаго представленія о внутреннемъ строеніи тѣлъ.

Магнитизмъ



Магнитизмъ — Стрѣлка эклоненій

Открытія и свѣдѣнія приблизительно до 1600 года.

190. Руды играли въ жизни культурныхъ народовъ древности большую роль и были предметомъ внимательныхъ изслѣдованій, такъ какъ изъ рудъ добывались металлы, которые были необходимы для изготовленія земледѣльческихъ орудій и оружія.

Особенно большое вниманіе обратили на себя съ древнѣйшихъ временъ нѣкоторыя желѣзныя руды тѣмъ, что онѣ обладали свойствомъ притягивать желѣзо и руду, содержащую желѣзо. Древнѣйшіе греческіе писатели были знакомы съ желѣзной притягивающей рудой, похожей на камень, и называли ее „тотъ камень“ въ отличіе отъ обыкновенныхъ камней и рудъ. Аристотель рассказываетъ, что Фалесъ Милетскій полагалъ, будто въ „каменѣ“ есть душа, отъ которой исходитъ притяженіе, ибо только одушевленные предметы способны вызывать движеніе. Въ старыхъ греческихъ сочиненіяхъ эта удивительная руда именовалась также „Геркулесовымъ камнемъ“. Этимъ именемъ хотѣли, очевидно, указать на таинственную и мощную силу камня, которой подвластно даже крѣпкое желѣзо.

Впослѣдствіи эти названія вышли изъ употребленія и притягивающее желѣзо получило имя „Магнита“ и „Магнитнаго камня“, вѣроятно по своему первоначальному мѣстонахожденію вблизи города Магнезій въ Малой Азій.

191. Греческіе философы и писатели упоминаютъ о магнитномъ камнѣ, какъ объ удивительномъ произведеніи природы. Указаніемъ на магнитъ пользовались и философы, желавшія привести примѣры непонятнаго, и поэтъ для изображенія чудеснаго. Впрочемъ, у грековъ было очень поверхностное представленіе о свойствахъ магнита. Все, что они знали о немъ, изложено въ діалогѣ Платона, гдѣ Сократъ говоритъ: „Этотъ камень не только самъ притягиваетъ желѣзное кольцо, — онъ одаряетъ своей силой и кольцо, такъ что оно въ свою очередь можетъ притягивать другое кольцо, и такимъ образомъ могутъ висѣть другъ на другѣ множество колець или кусковъ желѣза; это происходитъ только благодаря силѣ магнитнаго камня“. Греки, слѣдовательно, замѣтили, что магнитный камень притягиваетъ желѣзо и въ то же время намагничиваетъ его, такъ что одно кольцо удерживаетъ другое (рис. 154). Но съ удаленіемъ магнита и желѣзо теряетъ свою силу, такъ какъ послѣдняя была въ желѣзѣ только благодаря тому, что магнитъ былъ вблизи. — Греки, вѣроятно, знали также о томъ, что сила магнита проникаетъ и сквозь другія тѣла. Римлянинъ Лукрецій (95—55 до Р. Х.), ученикъ греческихъ философовъ, пишетъ, что куски желѣза, помѣщенные въ мѣдномъ горшкѣ, становятся магнитными, т. е. притягиваютъ другъ друга, если держать подъ горшкомъ магнитъ.

О магнитномъ камнѣ и его силѣ греки и римляне сложили, между прочимъ, множество разсказовъ, относя ихъ къ Индїи, которая уже въ началѣ нашей эры считалась страной чудесъ и о которой невѣроятное не только разсказывалось, — ему даже вѣрили. Плиніи разсказываетъ о двухъ горахъ близъ рѣки Инда, изъ которыхъ одна обладала свойствомъ притягивать желѣзо, а другая отталкивала его. Человѣкъ, носящій подбитую желѣзомъ обувь, стоя на первой горѣ, не былъ поэтому въ состояніи поднять ногу, между тѣмъ какъ вторая гора отталкивала такую обувь съ непреодолимою силой. Крайне опасно было приблизиться къ первой горѣ на кораблѣ, такъ какъ гвозди вытягивались изъ досокъ корабля и послѣдніи распадались.

Рис. 154



Притягательная сила магнитнаго камня.

магнитъ назывался „thsu schu“, т. е. любящій камень, „ибо онъ притягиваетъ къ себѣ желѣзо подобно тому, какъ нѣжная мать притягиваетъ къ себѣ своихъ дѣтей“. Китайцамъ было извѣстно, что брусокъ изъ закаленного желѣза (стали), будучи натертъ магнитнымъ камнемъ, и самъ становится магнитнымъ на продолжительное время. При удаленіи магнитнаго камня сила такого магнита не исчезаетъ. — Затѣмъ, древнимъ китайцамъ былъ хорошо извѣстенъ фактъ, что стрѣлка изъ закаленного желѣза, намагниченная натираниемъ, устанавливается довольно точно въ направленіи къ югу, если подвѣсить ее такъ, чтобы она могла свободно двигаться въ горизонтальномъ положеніи. Если вывести стрѣлку изъ этого направленія, то она всегда возвращается къ нему (рис. 155).

193. Какимъ именно образомъ были сдѣланы эти открытія, достовѣрно неизвѣстно. Сами китайцы утверждаютъ, что направляющая стрѣлка, которую теперь называютъ компасомъ, была у нихъ въ употребленіи раньше, чѣмъ за 2000 лѣтъ до Р. Х. Это, однако, быть можетъ, и преувеличено. Зато не подлежитъ сомнѣнію, что китайскій писатель Гу-Чинъ говоритъ, въ своемъ знаменитомъ словарѣ, въ 121 году до Р. Х., что магнитъ „есть имя камня, который можетъ дать направленіе иглъ“. Стрѣлка компаса у китайцевъ называлась „указателемъ юга“. Вѣроятно древ-

192. Впрочемъ, намеки, которые содержатся въ древнѣйшихъ легендахъ, даютъ вѣрныя указанія постольку, поскольку рѣчь идетъ о томъ, гдѣ искать страну, въ которой свойства магнитнаго камня были извѣстны дольше всего. Самый восточный изъ старыхъ культурныхъ народовъ, китайцы, задолго до всѣхъ другихъ сумѣли дать магнитному камню полезное примѣненіе. Греки и римляне пользовались магнитнымъ камнемъ, какъ цѣлебнымъ средствомъ противъ меланхоліи, худобы, ревматизма, судорогъ; это основывалось, однако, лишь на суевѣрныхъ представленіяхъ о его силѣ. Такія средства такъ же бесполезны, какъ употребленіе намагниченныхъ инструментовъ при леченіи зубныхъ, ушныхъ и глазныхъ болѣзней. И если въ старину думали, что постояннымъ ношеніемъ при себѣ магнита можно пріобрѣсти расположеніе окружающихъ и увлекательное краснорѣчіе, то и въ настоящее время можно встрѣтить подобныя идеи, которыя, разумѣется, недалеко отъ чистыхъ суевѣрій. — У китайцевъ

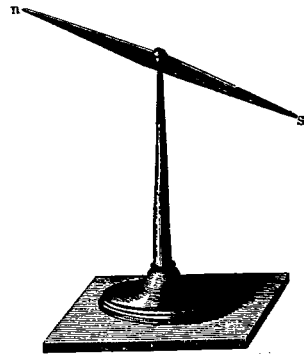
нѣйшимъ „указателемъ юга“ была не намагниченная желѣзная стрѣлка (искусственный магнитъ), а магнитный камень. Въ самомъ дѣлѣ, нетрудно такъ обтесать естественный магнитный камень, чтобы онъ, будучи положенъ на доску, плавающую на водѣ, могъ служить направляющей стрѣлкой. Вслѣдствіе направляющей силы магнитнаго камня доска приметъ такое положеніе, что опредѣленная линия камня расположится съ сѣвера на югъ. Рис. 156 представляетъ такую направляющую стрѣлку. Линія сѣвера-юга идетъ отъ одной звѣздочки къ другой. Доска не притягивается къ краямъ сосуда, такъ какъ сила магнетизма производитъ только вращеніе (ср. § 216).

194. Европейцы познакомились съ компасомъ вѣроятно черезъ посредство арабовъ. Древнѣйшее описаніе его принадлежитъ арабскому ученому Байлаку (1242). Онъ пишетъ: „Мореходы, плавающіе по Сирійскому морю, желая опредѣлить направленіе странъ свѣта въ темную ночь, когда звѣзды невидимы, ставятъ на кораблѣ внизу, куда не задуваетъ вѣтеръ, наполненную водою бочку. На воду пускаютъ стрѣлку, укрѣпленную на деревянномъ крестѣ, и если этотъ крестъ можетъ свободно двигаться, то стрѣлка указываетъ сѣверъ и югъ.“—Такого рода стрѣлка движется, однако, нѣсколько медленно, такъ какъ вода оказываетъ значительное сопротивленіе ея движенію. Кеплеръ (I, § 72), писавшій о компасѣ, далъ его поправку нѣсколько иную форму, при которой сопротивленіе тренія въ водѣ оказываетъ меньшее вліяніе. Для этого онъ помѣщалъ стрѣлку на грушеобразную подставку (рис. 157) и, кромѣ того, уменьшалъ сопротивленіе тренія еще тѣмъ, что для жидкости бралъ смѣсь воды со спиртомъ.

195. Древнѣйшія китайскія повѣствованія объ „указателѣ юга“ связаны, однако, не съ плавающими стрѣлками, а съ такъ называемыми магнитными повозками, которыя по сказанію были въ употребленіи за 2000 лѣтъ до нашей эры, но затѣмъ забылись и вновь появились только въ III вѣкѣ послѣ Р. Х. Магнитная повозка имѣла указатель юга, скрытый въ человѣческой фигуркѣ, которая могла легко поворачиваться вокругъ вертикальной оси. Эта фигурка дѣлалась изъ нефрита, минерала, встрѣчающагося въ Китаѣ, и своей вытянутой рукой указывала на югъ, куда бы ни повернулась сама повозка. Въ ея рукѣ была скрыта направляющая магнитная стрѣлка. Рис. 158 и 159 изображаютъ китайскій „указатель юга“ и магнитную повозку изъ Японіи, повелители которой познакомились съ этимъ полезнымъ приборомъ у китайцевъ въ VII вѣкѣ.

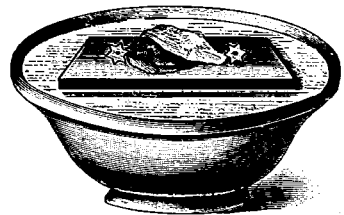
Съ помощью такихъ повозокъ китайскіе императоры могли находить путь по обширнымъ необитаемымъ пространствамъ своего царства. Именно, стрѣлка посто-

Рис. 155



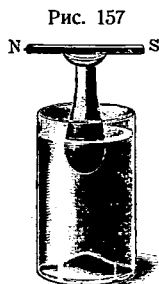
Направляющая стрѣлка.

Рис. 156



Указывающій направленіе магнитный камень (рисунокъ относится къ 1646 году).

янно указывала направлѣніе относительно странъ свѣта, въ которомъ двигалась повозка. Повозка снабжалась, кромѣ того, счетчикомъ, который опредѣлялъ число оборотовъ колесъ. При прохожденіи каждой мили маленькая фигурка ударяла въ колокольчикъ, а послѣ каждой десятой мили другая фигурка ударяла по другому колокольчику. Такимъ образомъ магнитная повозка опредѣляла не только направлѣніе, но и длину пройденнаго пути.

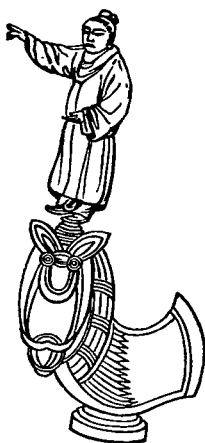


Направляющая стрѣлка Кеплера.

196. Магнитная стрѣлка служила у китайцевъ и для опредѣленія направлѣній въ каждомъ данномъ мѣстѣ. Такъ, она нашла у нихъ примѣненіе при опредѣленіи того, какъ слѣдуетъ располагать строящійся домъ. Это было торжественное дѣйствіе, совершавшееся магомъ. Счастье дома въ значительной степени зависѣло отъ точности, съ которою опредѣлялось это направлѣніе.

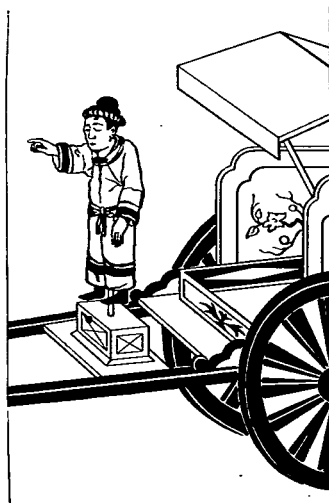
Не было необходимости располагать домъ непременно въ направлѣніи съ сѣвера на югъ. Другія направлѣнія также могли имѣть свое значеніе и свое счастливое вѣщаніе. Отсюда вошло въ употребленіе дѣленіе, при помощи котораго можно было опредѣлять различныя направлѣнія относительно сѣвера и юга.

Рис. 158



Китайскій „указатель юга“.

Рис. 159



Магнитная повозка изъ Японіи.

Рис. 160 представляетъ древнее японское дѣленіе круга. Магнитная стрѣлка имѣетъ форму стрѣлы и остриемъ указываетъ на югъ. Внутренній кругъ даетъ четыре страны свѣта: югъ, востокъ, сѣверъ и западъ. Внѣшній кругъ раздѣленъ на 12 частей, изъ которыхъ каждая снабжена знакомъ, означающимъ имя какого-нибудь животнаго. Тѣ же двѣнадцать знаковъ находятся и на рис. 161 китайскаго дѣленія съ тремя кругами, изъ которыхъ самый внѣшній представляетъ животныхъ, отвѣчающихъ упомянутымъ двѣнадцати знакамъ. Знакомъ сѣвера служитъ крыса, востока заяцъ, юга

лошадь и запада курица. Самый внутренній кругъ рис. 161 содержитъ научные знаки для восьми направлений вѣтра: сѣвера, сѣверо-востока, востока и т. д.

197. У мореплавателей компасъ вошелъ въ употребленіе только позднѣе. Нѣтъ, однако, ничего невѣроятнаго въ томъ, что китайцы уже въ VIII вѣкѣ по Р. Х. во время своихъ дальнихъ морскихъ путешествій изъ Кантона черезъ Цейлонъ до Персидскаго залива правили своими судами при помощи компаса. Въ XIII вѣкѣ компасъ былъ у китайскихъ моряковъ во всеобщемъ употребленіи. Въ одномъ китайскомъ сочиненіи, относящемся къ 1297 году, курсы кораблей указываются именно относительно направленія магнитной стрѣлки.

Въ томъ же столѣтіи компасъ сталъ извѣстенъ и у народовъ Средиземнаго моря, а слухи о немъ проникли во Францію по крайней мѣрѣ лѣтъ за сто до того, такъ какъ о компасѣ упоминается въ одномъ стихотвореніи Гюйо де Провена,

Рис. 160



Магнитная стрѣлка съ японскими дѣлениями круга.

Рис. 161



Китайское дѣленіе круга.

относящемся къ 1190 году. Такимъ образомъ, рассказы о томъ, что Флавіо Джойа изъ Пазитано, близъ Амальфи, изобрѣлъ компасъ въ началѣ XIV вѣка и ввелъ его въ Европѣ, принадлежать къ области фантази. Если за Джойей и есть вообще каюя-нибудь заслуги въ этомъ отношеніи, то развѣ только въ томъ, что онъ ввелъ компасъ на неаполитанскихъ судахъ. Почитаніе его памяти на этомъ основаніи, впрочемъ, очень понятна, такъ какъ введеніе компаса чрезвычайно содѣйствовало развитію мореплаванія.

198. Открытіе, что магнитная стрѣлка устанавливается по направленію съ сѣвера на югъ, тотчасъ же должно было повлечь за собою и дальнѣйшія открытія. Китайцы окрашивали конецъ стрѣлки, указывающій на югъ, красной краской. Такимъ образомъ, имъ было хорошо извѣстно, что два конца стрѣлки существенно отличаются одинъ отъ другого и что на югъ указываетъ всегда одинъ и тотъ же конецъ. Это свойство стрѣлки позднѣе повело къ тому, что направленный къ югу конецъ назвали южнымъ, а другой — сѣвернымъ полюсомъ.

Разумѣется, китайцы знали, что оба эти полюса притягиваютъ желѣзо, но въ

то же время они, конечно, замѣчали, что по отношенію другъ къ другу два полюса обнаруживаютъ нѣчто совсѣмъ особенное. Именно, если двѣ направляющихъ стрѣлки находятся одна возлѣ другой, то трудно не замѣтить, что два южныхъ полюса, равно какъ и два сѣверныхъ, отталкиваются другъ отъ друга, тогда какъ южный и сѣверный полюсы притягиваются другъ къ другу. Одноименные полюсы взаимно отталкиваются, разноименные взаимно притягиваются. Такимъ образомъ, существуетъ не только магнитное притяженіе (дѣйствіе полюса магнита на желѣзо), но и магнитное отталкиваніе. Эти удивительныя особенности впервые упоминаются у Лукреція (§ 190), а греческій историкъ Плутархъ (50—120) рассказываетъ, что египтяне давали магниту имена Горуса и Тифона, символовъ соединенія и отдѣленія. Отсюда можно заключить, что египтянамъ были извѣстны какъ притяженіе, такъ равно и отталкиваніе полюсовъ магнита. Этотъ интересный вопросъ нѣсколько разъяснился только послѣ Возрожденія наукъ въ Западной Европѣ.

199. Китайцы особенно хорошо умѣли примѣнять магнитную стрѣлку въ качествѣ „указателя юга“, положеніе котораго они наблюдали чрезвычайно внимательно. При этомъ они открыли, что стрѣлка указываетъ на югъ и сѣверъ не вполне точно. Въ одномъ китайскомъ сочиненіи XI вѣка говорится: „Маги натираютъ стрѣлку магнитнымъ камнемъ и она можетъ указывать югъ; однако, она всегда отклоняется слегка къ востоку и такимъ образомъ направлена на югъ не вполне точно“.

Пронило много времени, прежде чѣмъ европейцы открыли отклоненіе магнитной стрѣлки отъ направленія ея сѣвера на югъ. Можетъ быть, причина этого лежала въ томъ, что древнѣйшіе европейскіе компасы не имѣли раздѣленнаго круга, а отчасти и въ томъ, что въ эпоху введенія компаса въ средиземноморскихъ странахъ отклоненіе стрѣлки отъ линіи сѣвера-юга было очень незначительно. Отклоненіе стрѣлки компаса стало вполне очевиднымъ только во время путешествія Колумба черезъ Атлантическій океанъ. Именно, Колумбъ отмѣчаетъ, что 14 сентября 1492 года, опредѣливъ свое положеніе (на 200 миль къ западу отъ Ферро) при заходѣ солнца, онъ къ своему большому удивленію замѣтилъ, что стрѣлка уклонялась отъ направленія сѣвера-юга на $5\frac{1}{2}^{\circ}$ къ западу. Удивительно, что онъ не упоминаетъ, что въ то время въ Средиземномъ морѣ стрѣлка уклонялась приблизительно на 6° къ востоку. Едва ли можно допустить, что такое отклоненіе оставалось еще неизвѣстнымъ въ 1492 году. Такимъ образомъ неясно, удивлялся ли Колумбъ тому, что направленіе стрѣлки не совпадало съ линіей сѣвера-юга, или же тому, что стрѣлка уклонялась къ западу, а не къ востоку. Но что бы ни означало его удивленіе, во всякомъ случаѣ его замѣчаніе обратило вниманіе на вопросъ о направленіи магнитной стрѣлки. Что Колумбъ по своему возвращеніи несомнѣнно дѣлалъ наблюденія надъ направленіемъ компасной стрѣлки, ясно изъ письма, написаннаго имъ нѣсколько лѣтъ спустя съ Гаити; въ немъ есть такое мѣсто: „Всякій разъ, когда я плыву изъ Испаніи въ (Вестъ-) Индію, я замѣчаю, отойдя на 100 морскихъ миль къ западу отъ Асорскихъ острововъ, необычайное измѣненіе въ движеніи небесныхъ тѣлъ, въ температурѣ воздуха и въ поверхности моря. Я тщательно отмѣчалъ эти измѣненія и нашелъ, что компасъ, до того отклонявшійся къ сѣверо-востоку, теперь переходилъ къ сѣверо-западу, а когда я выходилъ изъ этой области, которая представляла какъ бы горный хребетъ, то море оказывалось наполненнымъ водорослями, похожими на еловыя вѣтки и съ плодами вродѣ фистанекъ“.

Колумбъ упоминаетъ здѣсь о переходѣ отклоненія стрѣлки отъ линіи сѣвера-юга изъ восточнаго въ западное, какъ объ одномъ изъ многихъ измѣненій въ явленіяхъ природы, которыя наблюдаются по пути изъ Стараго въ Новый Свѣтъ. Такимъ образомъ, онъ не только знаетъ, что магнитная стрѣлка обнаруживаетъ отклоненіе (такъ называемое склоненіе), но и то, что это отклоненіе въ различныхъ мѣстахъ различно. Въ Испаніи стрѣлка отклонялась къ востоку, а въ извѣстномъ мѣстѣ по ту сторону Асорскихъ острововъ она „перепла“ къ западу. Слѣдовательно, гдѣ-то на пройденномъ пути должно было быть мѣсто, гдѣ стрѣлка указывала какъ разъ на сѣверъ, гдѣ, иными словами, склоненіе было равно нулю.

Независимо отъ Колумба склоненіе магнитной стрѣлки вѣроятно наблюдали Джованни Кабото и его сынъ Себастьянъ при своемъ плаваніи черезъ Атлантическій океанъ въ 1497 году, когда они, годомъ раньше Колумба, достигли американскаго материка.

200. Такимъ образомъ великія путешествія съ цѣлью открытій привели къ знакомству со склоненіемъ. Эти интересныя и чрезвычайно важныя для мореплаванія явленія были открыты моряками. Но было трудно заставить ученыхъ признать эти факты. Ихъ нельзя было согласовать съ теоріями ученыхъ, исходившихъ изъ предположенія, что магнитная стрѣлка направлена какъ разъ на сѣверъ. Пятьдесятъ лѣтъ спустя послѣ перваго путешествія Колумба одинъ испанскій математикъ утверждалъ, что наблюденныя уклоненія нужно отнести исключительно къ плохому устройству взятыхъ компасныхъ стрѣлокъ. Но такъ какъ каждое новое плаваніе доставляло все-таки прежніе результаты, то достовѣрность этихъ наблюденій не могла долго оставаться подъ сомнѣніемъ. Къ этому прибавилось, что существованіе склоненія наблюдалось въ различныхъ мѣстахъ и на сушѣ. Географъ Генрихъ Лорети упоминаетъ о склоненіи въ одной статьѣ, относящейся къ 1536 году, а въ томъ же году Георгъ Гартманнъ опредѣлилъ величину склоненія для Нюрнберга и нашелъ, что она составляла $10\frac{1}{4}^{\circ}$ къ востоку.

Гартманнъ (1489—1564), бывшій сначала механикомъ, а затѣмъ священникомъ, объѣздилъ Италію и здѣсь также наблюдалъ положенія магнитной стрѣлки. Въ одномъ письмѣ (1544) къ герцогу Альбрехту Прусскому онъ писалъ, что склоненіе въ Нюрнбергѣ составляетъ 10° , а въ Римѣ только 6° .—Шестью годами позже (1550) профессоръ Фине изъ Парижа сообщилъ, что склоненіе здѣсь было равно 8° къ востоку, а Робертъ Норманъ (§ 201) заявляетъ, что въ 1576 году склоненіе въ Лондонѣ было восточное въ 11° .

201. Такимъ образомъ, къ концу XVI вѣка склоненіе магнитной стрѣлки было извѣстно для многихъ мѣстъ. Что же было причиной этого явленія?

Во времена Колумба былъ общепринятъ взглядъ, что на небѣ существуетъ притягивающая магнитъ точка. Самъ Колумбъ думалъ, что магнитную стрѣлку направляетъ Полярная звѣзда. Но высказывались также и другія предположенія. Фракасторо (I, § 103) допускалъ, на примѣръ, что притягательный пунктъ лежитъ на землѣ, притомъ на далекомъ сѣверѣ, а Олай Магнусъ (1490—1558), умершій въ Италіи, фантазировалъ, что вблизи сѣвернаго полюса находятся большія магнитныя горы, могущія вытягивать гвозди изъ кораблей, а также направлять магнитную стрѣлку. Здѣсь вновь сказались древнегреческія повѣствованія объ индійскихъ магнитныхъ горахъ.

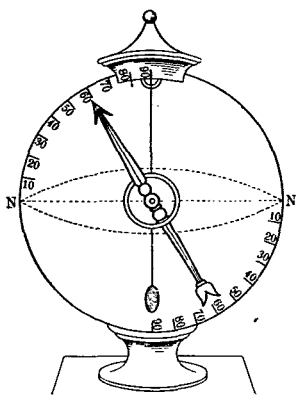
Упомянутый Робертъ Норманъ также придерживался взгляда, что направля-

юная сила исходить из какой-то точки земли. Но у него уже было больше оснований для такого допущения.

Моряк и компасный мастер, Норманъ вѣроятно зналъ, что сѣверный конецъ стрѣлки въ высокихъ широтахъ опускается внизъ. Во всякомъ случаѣ, наклонъ компасной стрѣлки (такъ называемое наклоненіе) наблюдался уже Георгомъ Гартманномъ, который пишетъ въ упомянутомъ выше письмѣ къ герцогу Альбрехту приблизительно слѣдующее: „Кромѣ того я нахожу, что магнитная стрѣлка уклоняется не только отъ полуночи къ востоку, но также и внизъ. Это можно показать слѣдующимъ образомъ. Я подвѣшиваю стрѣлку длиною въ палецъ такъ, чтобы она могла оставаться горизонтальной на остree. Въ такомъ случаѣ ни одинъ изъ концовъ не наклоняется къ землѣ. Но какъ только я натираю одинъ ея конецъ (магнитомъ), она не остается уже горизонтальной, а больше или меньше наклоняется внизъ. О причинѣ этого я не могу ничего сообщить Вашему Королевскому Высочеству“. Норманъ изслѣдовалъ этотъ вопросъ лучше, подвѣсивъ стрѣлку такъ, что она могла свободно вращаться около оси, проходившей черезъ ея центръ тяжести. Этимъ исключалась возможность вращенія стрѣлки подъ вліяшемъ собственнаго вѣса. Норманъ нашелъ, что подвѣшенная такимъ образомъ стрѣлка наклонялась сѣвернымъ концомъ внизъ такъ, что образовала съ горизонтальной линіей уголъ въ $70^{\circ} 50'$.—Это ясно показывало, что притягивающая точка находилась не на небѣ, а скорѣе въ какомъ-то мѣстѣ внутри земли.

202. Мы познакомились теперь съ двумя различно подвѣшенными магнитными стрѣлками. Одна изъ нихъ вращается въ горизонтальной плоскости, безразлично, лежитъ ли она на остree (рис. 155) или же на плавающемъ въ водѣ предметѣ (рис. 157).

Рис. 162



Стрѣлка наклоненій 1646 года.

Другая вращается въ вертикальной плоскости. Первая называется стрѣлкой склоненій (компасная стрѣлка), другая—стрѣлкой наклоненій.—Направление, по которому устанавливается стрѣлка склоненій, называется магнитнымъ меридіаномъ. Чтобы опредѣлить наклоненіе, нужно знать положеніе магнитнаго меридіана, ибо стрѣлка наклоненія занимаетъ правильное положеніе только тогда, когда получаетъ возможность вращаться въ той вертикальной плоскости, въ которой лежитъ магнитный меридіанъ.

Впрочемъ, если подвѣсить магнитную стрѣлку на тонкой и гибкой нити, то она устанавливается въ магнитномъ меридіанѣ сама по себѣ и принимаетъ правильное наклоненіе (рис. 162).

203. Предположеніе Нормана, что притягивающая точка лежитъ ниже поверхности земли, было обосновано значительно лучше, чѣмъ представленіе о магнитныхъ горахъ вблизи географическаго сѣвернаго полюса, но Норманъ не занимался больше этимъ вопросомъ и не высказывалъ своихъ взглядовъ подробно.—Конечно, очень возможно, что онъ и не составилъ себѣ опредѣленнаго взгляда на природу этого притяженія, а удовольствовался замѣчаніемъ, что направленіе магнитной стрѣлки указываетъ на притяженіе не вверхъ, а внизъ.

Большинство изслѣдователей въ своихъ работахъ должны довольствоваться разборомъ мелкихъ деталей; только немногимъ удастся подмѣтить болѣе глубокую связь между постепенно накапливающимися наблюдениями отдѣльныхъ фактовъ. Въ области магнетизма такой итогъ всѣмъ свѣдѣніямъ о магнитахъ и ихъ свойствахъ подвелъ Вильямъ Гильбертъ, который сильно подвинулъ впередъ эту отрасль науки.

Вильямъ Гильбертъ

204. Вильямъ Гильбертъ родился въ 1540 году въ Кольчестерѣ. Онъ изучалъ медицину въ Оксфордѣ и въ Кэмбриджѣ, путешествовалъ заграницей, основался въ 1573 году въ качествѣ практикующаго врача въ Лондонѣ и сталъ лейбъ-медикомъ королевы Елисаветы. Въ этомъ положеніи онъ имѣлъ достаточно времени и возможности заниматься научными изслѣдованіями и работами. Онъ сталкивался также съ лордомъ Фрэнсисомъ Бэкономъ (I, § 167), которому несомнѣнно обязанъ многими указаніями въ своихъ работахъ. Во всякомъ случаѣ онъ блестяще осуществлялъ идеи Бэкона относительно изслѣдованія природы—гораздо лучше самого Бэкона.

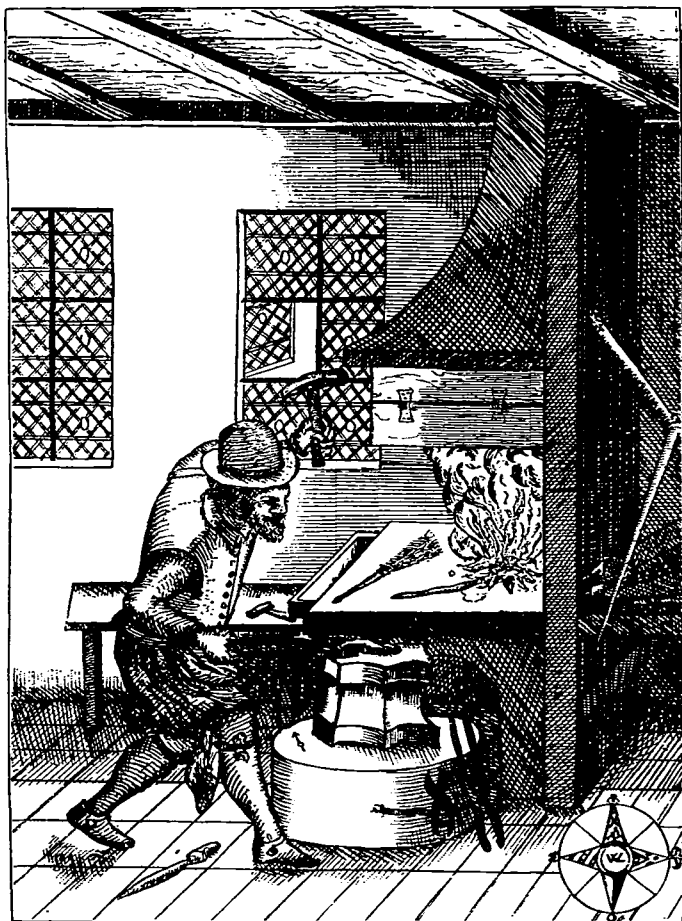
Гильбертъ былъ достойнымъ современникомъ Галилея. Проникнутый тѣмъ же духомъ изслѣдованія, онъ, правда, не былъ равенъ Галилею въ искусствѣ объяснять результаты, полученные изъ опытовъ; зато онъ превосходилъ его въ искусствѣ экспериментированія. Чѣмъ Галилей былъ для уже обогащенныхъ матеріаломъ старыхъ наукъ астрономіи и механики, тѣмъ Гильбертъ сталъ для новыхъ, мало развитыхъ наукъ о магнетизмѣ и объ электричествѣ. Благодаря работамъ Гильберта магнетизмъ и электричество, которые до тѣхъ поръ были только „искусствами“, стали науками.—Онъ умеръ въ 1603 году.

205. Книга Гильберта о магнетизмѣ (и электричествѣ) появилась въ Лондонѣ въ 1600 году. Въ этой книгѣ онъ говоритъ, что земля есть большой магнитъ, подобно стальному магниту имѣющій сѣверный и южный полюсы. Эти магнитные полюсы, по его мнѣнію, совпадали съ географическими. Онъ не говоритъ, какъ говорилъ Норманъ, объ отдѣльномъ центрѣ магнитнаго притяженія, а рассматриваетъ весь земной шаръ, какъ одинъ магнитъ, который и долженъ дѣйствовать, какъ магнитъ, на всякій другой магнитъ, находящійся на его поверхности.—Чтобы доказать вѣрность своей теоріи, Гильбертъ намагнитилъ стальной шаръ такъ, что въ немъ получилось два полюса въ двухъ діаметрально противоположныхъ точкахъ. Этотъ шарообразный магнитъ онъ назвалъ терреллой, т. е. маленькой землей; приближая къ ней маленькую легко подвижную магнитную стрѣлку, онъ могъ наглядно показывать разнообразныя положенія магнитной стрѣлки, которыя она принимаетъ въ различныхъ точкахъ земной поверхности. При помощи терреллы Гильбертъ показалъ, что наклоненіе уменьшается по направленію отъ полюсовъ къ экватору. На самомъ экваторѣ оно равно нулю, т. е. стрѣлка расположена горизонтально. Въ то время была извѣстна величина наклоненія только для Лондона. Въ Парижѣ она была измѣрена лишь въ 1671 году, а въ Берлинѣ въ 1755 году. Такимъ образомъ у Гильберта не было наблюдений, на которыя онъ могъ бы опереться. Онъ вывелъ свои заключенія при помощи терреллы и его заключенія оказались вѣрными. Наклоненіе къ югу уменьшается, а къ сѣверу увеличивается. Пять лѣтъ спустя послѣ смерти

Гильберта, а именно, въ 1608 году путешественникъ Гѣдсонъ, по имени котораго былъ названъ Гѣдсоновъ заливъ, наблюдалъ, что подь сѣверной широтой $75^{\circ} 22'$ наклоніе было равно $89^{\circ} 30'$, тогда какъ въ Лондонѣ оно въ то же время составляло 72° .

206. Что касается положенія магнитныхъ полюсовъ, то мнѣніе Гильберта, что они совпадаютъ съ географическими, оказалось ошибочнымъ. Онъ не имѣлъ до-

Рис. 163



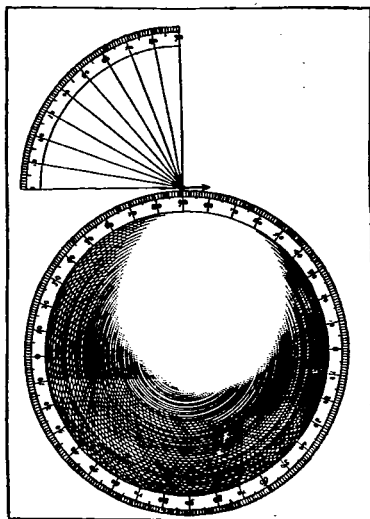
Ковка магнитовъ (изъ книги Гильберта „De Magnete“).

статочныхъ свѣдѣній о направленіи магнитной стрѣлки въ различныхъ мѣстахъ земли, чтобы быть въ состояніи получить правильные выводы. Магнитные полюсы не совпадаютъ съ географическими и магнитный экваторъ, т. е. та линія, на которой наклоніе равно нулю, не совпадаетъ съ географическимъ экваторомъ. Распределение

магнетизма далеко не такъ правильно, какъ объ этомъ думалъ Гильбертъ на основаніи опытовъ со своей террелой. Онъ думалъ, напримѣръ, что по наклоненію въ данномъ мѣстѣ можно опредѣлить его географическую широту (высоту полюса, I, § 46). Однако, какъ мы тотчасъ увидимъ, этого на самомъ дѣлѣ нѣтъ. Здѣсь, быть можетъ, Гильбертъ слишкомъ увлекся мыслью о громадномъ значеніи, которое имѣла бы для мореплаванія возможность опредѣлять широту по наклоненію. Онъ во всякомъ случаѣ ясно понималъ, что неправильная форма земной поверхности оказываетъ большое вліяніе на величину склоненія, а слѣдовательно, и на горизонтальное положеніе магнитной стрѣлки. Здѣсь онъ дѣлалъ допущеніе, въ которомъ должны были найти себѣ объясненіе наблюдешя, производившіяся во время морскихъ путешествій въ Америку. Именно, онъ принималъ, что магнитна только твердая часть земного шара, вода же не магнитна. Поэтому въ Европѣ и въ прилегающей къ европейскому берегу части Атлантическаго океана склоненіе должно быть восточнымъ, такъ какъ здѣсь большія массы земли лежатъ на востокѣ. Но при бѣльшемъ удаленіи вглубь океана стрѣлка должна показывать какъ разъ на сѣверъ, такъ какъ здѣсь возмущающее вліяніе материковыхъ массъ незамѣтно. Съ приближеніемъ къ американскому берегу стрѣлка должна отклоняться отъ сѣвера къ западу.

207. Делла Порта, которому было извѣстно, что магнитная стрѣлка въ различныхъ мѣстахъ обнаруживаетъ различныя отклоненія, въ 1589 году предложилъ сдѣлать путешествіе черезъ Атлантическій океанъ съ 10-футовой компасной стрѣлкой, непрерывно наблюдая ея положеніе. Это дало бы таблицу склоненій за время всего путешествія. Впослѣдствіи мореплаватели могли бы пользоваться этой таблицей и опредѣлять географическую долготу по величинѣ склоненія магнита. Гильбертъ обратилъ вниманіе на то, что это предложеніе не имѣло практическаго значенія, такъ какъ такая таблица имѣла бы значеніе только въ томъ случаѣ, еслибы корабль во время плаванія въ точности придерживался тѣхъ самыхъ широтъ, по которымъ шелъ корабль съ длинной магнитной стрѣлкой. Въ самомъ дѣлѣ, склоненіе въ различныхъ мѣстахъ подъ однимъ и тѣмъ же градусомъ долготы можетъ быть очень различно и въ сѣверныхъ широтахъ оно измѣняется гораздо быстрѣе, чѣмъ въ южныхъ.—Въ настоящее время склоненія и наклоненія для всей земной поверхности извѣстны намъ гораздо точнѣе, чѣмъ во время Гильберта. Однако, для опредѣленія географическаго положенія, т. е. для полученія долготы и широты того мѣста, въ которомъ находится судно, знаніе этого не имѣетъ никакого значенія. Зато, если извѣстны дол-

Рис. 164



Террела Гильберта (изъ книги Гильберта „De Magnele“).

гота и широта данного мѣста, то знаніе склоненія даетъ превосходное средство опредѣлить курсъ корабля.

208. Во времена Гильберта взгляды Коперника на мірозданіе привлекали всеобщее вниманіе. Всякій, занимавшійся естествознаніемъ, долженъ былъ занять то

Рис. 165



Стрѣлка наклоненій, укрѣпленная въ деревянномъ нарѣ и свободно плавающая въ водѣ (изъ книги Гильберта „De Magnete“).

или иное положеніе въ этомъ важномъ вопросѣ. Какъ легко себѣ представить, Гильбертъ былъ приверженцемъ Коперника, какъ и Галилей. Чтеніе книги Гильберта подвинуло Галилея заняться изслѣдованіями о магнитизмѣ. Такъ, онъ задалъ вопросъ, не будетъ ли „свободный“ магнитъ вращаться около своей собственной оси. Будь это такъ, вращеніе земли около ея оси объяснялось бы тѣмъ, что земля есть боль-

шой магнитъ. Это мнѣніе являлось общераспространеннымъ во времена Гильберта, но самъ онъ на основаніи своихъ изслѣдовацій пришелъ къ результату, что вращеніе земли вызывается не ея магнитизмомъ.

209. Уже раньше замѣчали, что вертикально стоящіе бруски желѣза становятся магнитными, и именно такъ, что внизу получается сѣверный полюсъ, а вверху южный. Приблизивъ легкую магнитную стрѣлку къ такому желѣзному бруску, Гильбертъ убѣдился въ томъ, что онъ дѣйствительно имѣлъ свои магнитные полюсы. Внизу притягивался южный полюсъ стрѣлки, а вверху ея сѣверный полюсъ.

Рис. 166



Карта Гильберта (изъ книги „De Magnete“), на которой указано направление магнитной стрѣлки.

Какимъ же образомъ получается магнитизмъ въ вертикальномъ брускѣ? Гильбертъ отвѣчаетъ на этотъ вопросъ слѣдующимъ образомъ: если держать желѣзный брусокъ вблизи южнаго полюса магнита, то и самъ брусокъ обращается въ магнитъ, причемъ на концѣ, обращенномъ къ южному полюсу, появляется сѣверный полюсъ, а на другомъ концѣ бруска южный. Слѣдовательно, если S (рис. 167) есть южный полюсъ, то въ желѣзномъ брускѣ въ A получается сѣверный полюсъ, а въ B южный.

—Наоборотъ, еслибы брусокъ AB приближался концомъ A къ сѣверному полюсу, то въ A получился бы южный полюсъ, а въ B сѣверный.

—Но совершенно такъ же, какъ магнитъ, дѣйствуетъ и земной шаръ, который, по мнѣнію Гильберта, есть большой магнитъ съ полюсами, совпадающими съ географическими.

Поэтому вертикальный брусокъ (который, такимъ образомъ, имѣетъ приблизительно направлеціе стрѣлки наклоненія) вслѣдствіе дѣйствія земного магнитизма долженъ становиться магнитнымъ, а такъ какъ на нижнемъ концѣ бруска образуется

Рис. 167



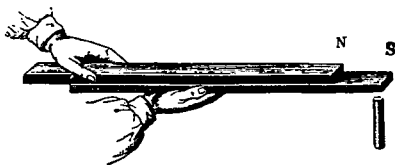
Желѣзо въ присутствіи магнита само дѣлается магнитнымъ.

сѣверный полюсъ, то изъ двухъ магнитныхъ полюсовъ земли тотъ, который лежитъ на сѣверѣ, есть южный полюсъ, а лежащій на югѣ есть сѣверный полюсъ. Это согласуется и съ тѣмъ, что свободно висящая магнитная стрѣлка указываетъ своимъ сѣвернымъ полюсомъ на сѣверъ, а южнымъ на югъ, ибо одноименные полюсы взаимно отталкиваются, а разноименные взаимно притягиваются (§ 198).

210. Въ намагничивающей силѣ земли Гильбертъ видѣлъ подтвержденіе своего взгляда, что земля есть большой магнитъ, но удивительно, что онъ не высказывается ближе объ намагничиваніи желѣза отъ приближенія магнитнаго полюса, хотя притяженіе между магнитомъ и немагнитнымъ желѣзомъ находить себѣ объясненіе въ этомъ явленіи. Между желѣзнымъ брускомъ *AB* и магнитнымъ полюсомъ *S* (рис. 167) существуетъ притяженіе, такъ какъ разноименные полюсы взаимно притягиваются. Полюсъ *B* бруска *AB* можетъ въ свою очередь намагнитить кусокъ желѣза и, слѣдовательно, притягивать его. Когда Платонъ писалъ (§ 191), что магнитъ можетъ передать свою силу желѣзному кольцу, то это означало, что желѣзное кольцо само становится магнитомъ и дѣйствуетъ на окружающіе предметы, какъ магнитъ.

Два разноименныхъ магнитныхъ полюса намагничиваютъ одинъ и тотъ же кусокъ желѣза противоположнымъ образомъ. Южный полюсъ *S* (рис. 168) притягиваетъ маленькій брусокъ желѣза, причѣмъ послѣдній получаетъ сѣверный полюсъ вверху и

Рис. 168



уничтоженіе дѣйствія одного полюса дѣйствіемъ другого.

южный полюсъ внизу. Но если приближать къ южному полюсу *S* сѣверный полюсъ *N*, то маленькій желѣзный брусокъ отпадаетъ: полюсъ *N* производитъ южный полюсъ тамъ, гдѣ полюсъ *S* производилъ сѣверный. Кусокъ желѣза, такъ сказать, одновременно и притягивается и отталкивается и потому падаетъ въ силу собственного вѣса (если *N* и *S* дѣйствуютъ одинаково сильно).

211. Этотъ процессъ можно представить также нѣсколько иначе. Если одинъ конецъ желѣзнаго бруска одновременно является и сѣвернымъ и южнымъ полюсомъ, то, разумѣется, этотъ конецъ является „немагнитнымъ“.

Въ самомъ дѣлѣ, сѣверный полюсъ оказываетъ на желѣзо такъ же, какъ на магнитные полюсы, дѣйствіе, обратное дѣйствию южнаго. Притяженіе сѣвернаго полюса всегда сопровождается отталкиваніемъ южнаго и наоборотъ. Сѣверный магнетизмъ уничтожается южнымъ магнетизмомъ. Каждый изъ нихъ въ отдѣльности оказываетъ дѣйствіе, но если они дѣйствуютъ оба одновременно въ равныхъ „количествахъ“, то они взаимно уничтожаются, нейтрализуютъ другъ друга.—Такой способъ выраженія, конечно, влечетъ за собою то, что магнетизмъ начинаютъ представлять себѣ, какъ нѣчто вещественное. И уже съ тѣхъ поръ стали говорить, что магнитная сила производится „чѣмъ-то“, истекающимъ изъ магнита. Но представленіе объ этомъ „что-то“, истекающемъ изъ магнита, было чрезвычайно неопредѣленно. Со временъ Ньютона (I, § 289) уже нѣсколько больше освоились съ мыслью, что силы могутъ дѣйствовать на разстояніе безъ перемѣщенія вещества, и представленіе объ истеченіи „магнитнаго вещества“ исчезло. Зато удержалось представленіе, что само „магнитное вещество“, магнитный флуидъ, существуетъ.

212. Болѣе обстоятельную обработку этой теоріи въ срединѣ XVIII вѣка далъ, подѣ влияніемъ Франклиновой теоріи электричества, Францъ Эпинусъ (1724—1809).

Эпинусъ, родившійся въ Ростокѣ, былъ профессоромъ въ Берлинѣ и позднѣе въ Петербургѣ. Его работы касаются главнымъ образомъ электричества, а въ связи съ нимъ и магнетизма. Его теорія вкратцѣ состоитъ въ слѣдующемъ. Всѣ тѣла содержать магнитный флуидъ (родъ магнитнаго вещества) и въ „естественномъ“ состояніи, въ которомъ не замѣчается магнитныхъ притяженій или отталкиваній, тѣла содержать этотъ флуидъ въ относительно одинаковомъ количествѣ. Но этотъ флуидъ въ желѣзѣ можетъ скопиться въ одной части тѣла, тогда какъ другая часть совершенно или отчасти будетъ свободна отъ него. Въ такомъ состояніи желѣзо является магнитомъ. Сѣверный полюсъ есть то мѣсто, гдѣ магнитный флуидъ находится въ избыткѣ, а южный то, гдѣ флуидъ вполнѣ или отчасти отсутствуетъ. Два сѣверныхъ полюса отталкиваютъ другъ друга, т. е. между частями магнитнаго флуида имѣетъ мѣсто отталкиваніе. Сѣверный полюсъ притягиваетъ южный, т. е. „естественное“ состояніе стремится снова возстановиться. До сихъ поръ съ этими разъясненіями можно мириться. Но объяснить, почему одинъ южный полюсъ отталкиваетъ другой южный полюсъ, было трудно. Эпинусъ самъ признавалъ эту трудность и долженъ былъ довольствоваться утверженіемъ, что частицы тѣлъ отталкиваются, если онѣ содержатъ меньше магнитнаго флуида, чѣмъ „въ естественномъ“ состояніи. Но это объясненіе очевидно очень искусственно. На самомъ дѣлѣ вся теорія Эпинуса является не больше, чѣмъ вспомогательнымъ средствомъ для запоминанія магнитныхъ явленій. Но и въ этомъ отношеніи она имѣла свое значеніе. Со всякой теоріей всегда связаны извѣстныя представленія. То обстоятельство, что желѣзо намагничивается простымъ приближеніемъ магнита, по теоріи Эпинуса означаетъ, что подѣ влияніемъ магнита магнитный флуидъ распредѣляется въ желѣзѣ извѣстнымъ образомъ. Соотвѣтственно этому говорятъ о намагничиваніи чрезъ влияніе.

213. Теорія Эпинуса, допускавшая только одинъ флуидъ, позднѣе была вытѣснена другой теоріей, принимавшей два флуида. Робертъ Симмеръ (ум. 1763) ввелъ два электрическихъ флуида; въ соотвѣтствіи съ этимъ принимали и два магнитныхъ флуида, что позволяло проще объяснить взаимное отталкиваніе двухъ южныхъ полюсовъ. Послѣднее можно было объяснить теперь такъ же легко, какъ и отталкиваніе между двумя сѣверными полюсами согласно Эпинусу. Южный магнетизмъ отталкивается южнымъ магнетизмомъ, равно какъ сѣверный магнетизмъ отталкивается сѣвернымъ, тогда какъ южный и сѣверный магнетизмы взаимно притягиваются.

Въ „естественномъ“ состояніи желѣзо содержитъ оба рода магнетизма въ равныхъ количествахъ и повсюду равномерно распредѣленными; поэтому желѣзо немагнитно,—два противоположныхъ магнетизма уничтожаютъ дѣйствіе другъ друга. Но если приблизить къ желѣзу магнитный полюсъ, то сѣверный и южный магнетизмы отдѣлятся другъ отъ друга, а желѣзо обратится въ магнитъ и притомъ такъ, что въ немъ образуется полюсъ обратный тому, который къ нему приблизили (рис. 167).

214. Между тѣмъ Гильбертъ нашель, что, если разломить магнитъ на двѣ или на большее число частей, то каждая часть представитъ маленькой магнитъ, который, подобно большому магниту, имѣетъ два полюса. Если, напримѣръ, раздѣлить магнитъ *AB* (рис. 169) на четыре части, то получится четыре маленькихъ магнита *a b*, и если

A есть сѣверный полюсъ, а *B* южный, то *a, a, a, a* будутъ сѣверные полюсы, а *b, b, b, b* южные. Такъ оно бываетъ всегда, какъ бы велико ни было число частей. Отсюда нужно заключить, что каждая, сколь угодно малая, часть магнита и сама есть магнитъ съ двумя полюсами.

215. Этотъ взглядъ былъ проведенъ до конца Шарлемъ Огюстеномъ Кулономъ, которому мы обязаны цѣлымъ рядомъ основныхъ работъ объ электричествѣ и магнитизмѣ. Кулонъ родился въ 1736 году въ Ангулемѣ. Онъ былъ сапернымъ офицеромъ и въ такой должности отправился на Вестъ-Индскіе острова. Спустя де-

Рис. 169



Раздѣленіе магнита на малые магниты.

вятъ лѣтъ онъ снова вернулся во Францію, былъ назначенъ офицеромъ въ Рошфоръ, но по преимуществу занимался научными работами. Въ 1779 году онъ получилъ призъ Академіи за работу о судовомъ компасѣ, въ 1781 году сталъ членомъ Академіи, а въ 1785 году изобрѣлъ свои крутильные вѣсы, съ помощью которыхъ онъ могъ точно мѣрять очень слабыя силы, какъ электрическія и магнитныя притяженія и отталкиванія.—Когда разразилась революція, Кулонъ покинулъ Парижъ и отправился въ деревню, чтобы тамъ безъ помѣхи отдаться своимъ работамъ. Онъ вернулся назадъ только на третьемъ году республики. Въ 1806 году онъ умеръ, окруженный глубокимъ уваженіемъ, какъ человекъ и ученый.

216. Имя Кулона извѣстно больше всего благодаря построеннымъ имъ крутильнымъ вѣсамъ, которыми онъ пользовался при своихъ изслѣдованіяхъ надъ крученіемъ металлическихъ проволокъ. На нижнемъ концѣ изслѣдуемой проволоки подвѣшивалась палочка въ горизонтальномъ положеніи. Если не вращать проволоки, то палочка занимаетъ опредѣленное положеніе, — положеніе равновѣсія. Но если вращать палочку, то проволока закручивается и оказываетъ сопротивленіе. Если выпустить палочку, она начинаетъ колебаться. По величинѣ вѣса и формѣ палочки и по скорости колебаній можно вычислить величину сопротивленія закручиванію. Результатами этихъ изслѣдованій Кулонъ воспользовался затѣмъ для опытовъ съ крутильными вѣсами, при которыхъ измѣрялась величина магнитнаго притяженія и отталкиванія. Внутри стеклянной трубки подвѣшивается проволока, на нижнемъ концѣ которой подвѣшиваютъ магнитную стрѣлку (рис. 170), свободно колеблющуюся въ болѣе широкомъ стеклянномъ цилиндрѣ. Магнитная стрѣлка стремится установиться въ магнитномъ меридіанѣ и при помощи особаго приспособленія вверху, такъ называемой головки (микрометра) закручиванія, нетрудно достигъ того, что проволока не будетъ закручена, когда магнитная стрѣлка установится въ меридіанѣ. Теперь сквозь крышку стекляннаго цилиндра въ него вдвигается магнитный брусокъ такъ, что его сѣверный полюсъ помѣщается возлѣ сѣвернаго полюса стрѣлки. Эти два сѣверныхъ полюса отталкиваютъ другъ друга и величина отклоненія подвижнаго магнита можетъ быть отсчитана на дѣленіяхъ, которыя нанесены на стеклянный цилиндръ (см. рис. 170). Въ этомъ новомъ положеніи стрѣлка находится въ равновѣсіи, такъ какъ закручиваніе проволоки и земной магнитизмъ стремятся повернуть ее въ одну сторону, а взаимное

отталкиваніе двухъ сѣверныхъ полюсовъ дѣйствуетъ въ другую сторону.—Дѣйствіе земного магнетизма на стрѣлку въ наблюдаемомъ положеніи было измѣрено слѣдующимъ образомъ. Вставленный сквозь крышку магнитъ удалялся, такъ что стрѣлка снова устанавливалась въ магнитномъ меридіанѣ. Затѣмъ поворотомъ вращающейся головки стрѣлка снова приводилась въ предшествующее положеніе. Теперь сопротивленіе крученія и вращающая сила земного магнетизма уравнивались другъ друга. Такъ

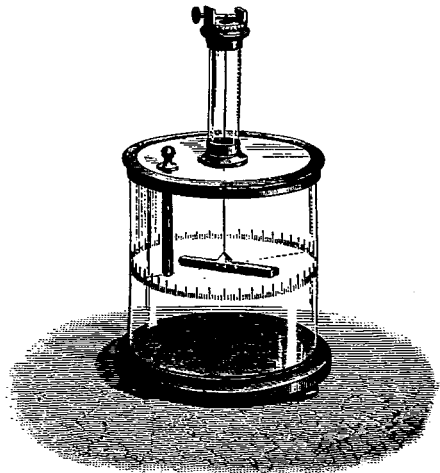
какъ сопротивленіе крученія проволоки было извѣстно изъ предшествующихъ опытовъ, то это опредѣляло мѣру вращающей силы земного магнетизма. Отсюда величина отталкиванія между двумя сѣверными полюсами получалась, какъ сумма сопротивленія крученію и измѣренной вращающей силы земного магнетизма.—Затѣмъ вращеніемъ головки Кулонъ привелъ стрѣлку въ равновѣсіе въ нѣсколькихъ другихъ положеніяхъ. Этимъ путемъ онъ нашелъ, что сила, съ которою отталкиваются другъ отъ друга полюсы, уменьшается съ увеличеніемъ разстоянія между ними и притомъ такъ, что на двойномъ разстояніи отталкиваніе уменьшается вчетверо, а на тройномъ въ девять разъ. Тому

же закону слѣдуетъ и притяженіе между какимъ-нибудь сѣвернымъ и южнымъ полюсами. Такимъ образомъ, убываніе магнитной силы съ разстояніемъ подчиняется тому же закону, какому подчинено убываніе яркости (I, § 83), дѣйствіе теплого излученія, силы тяжести и, какъ мы увидимъ ниже, дѣйствіе электрическихъ силъ. Всѣ дѣйствія на разстояніи слѣдуютъ одному и тому же закону: величина силы убываетъ въ томъ же отношеніи, въ какомъ возрастаетъ квадратъ разстоянія.

Такимъ образомъ Кулонъ доказалъ своими изслѣдованіями, что магнитныя (и электричесія) силы находятся въ извѣстномъ родствѣ съ другими силами природы (свѣтъ, теплота, тяжесть).

217. Кулонъ нашелъ и причину, по которой земной магнетизмъ не смѣщаетъ магнитную стрѣлку, а только вращаетъ ее. Въ самомъ дѣлѣ, если земля дѣйствуетъ подобно магниту, полюсы котораго лежатъ глубоко подъ поверхностью земли на сѣверѣ и на югѣ, то магнитная стрѣлка *ns* (рис. 171) будетъ подвергаться слѣдующему воздѣйствію этихъ полюсовъ: сѣверный полюсъ *n* магнитной стрѣлки будетъ отталкиваться сѣвернымъ магнетизмомъ земли съ силою, направленіе и величина которой пусть выражаются лишею *na*. Напротивъ, южный полюсъ *s* стрѣлки будетъ притягиваться сѣвернымъ магнетизмомъ земли и притомъ съ тою же силою, съ которою полюсъ *n* отталкивается, такъ какъ разстоянія полюсовъ *n* и *s* отъ той точки

Рис. 170

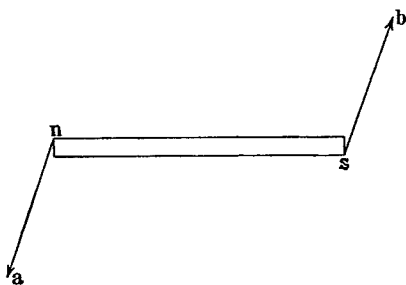


Крутильные вѣсы Кулона.

внутренности земли, изъ которой исходитъ дѣйствіе сѣвернаго магнетизма, не отличаются замѣтно другъ отъ друга. Поэтому отталкиваніе въ n будетъ той же величины, какъ и притяженіе въ s . Но эти притяженіе и отталкиваніе имѣютъ прямо противоположныя направленія, такъ какъ линія отъ n къ магнитному полюсу земли параллельна линіи отъ s къ тому же полюсу. А двѣ силы одинаковой величины и противоположныхъ направленій могутъ производить только вращеніе стрѣлки, а не перемѣщеніе ея изъ одного мѣста въ другое.

То же самое относится и къ силѣ южнаго магнетизма земли, т. е. и она можетъ только вращать стрѣлку. Такимъ образомъ общее дѣйствіе земнаго магнетизма

Рис. 171



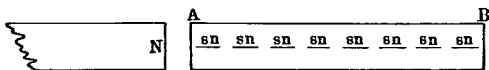
Дѣйствіе земли на магнитную стрѣлку.

на стрѣлку состоитъ въ томъ, что послѣдняя вращается, пока не приходитъ въ определенное положеніе, а именно въ магнитный меридіанъ, который различенъ для разныхъ мѣстъ (ср. § 202).

218. По мнѣнію Кулона магнитъ состоитъ изъ отдѣльных маленькихъ магнитовъ. Въ каждомъ изъ нихъ сѣверный магнетизмъ, слѣдовательно, отдѣленъ отъ южнаго, въ каждой маленькой частицѣ желѣза есть оба магнитныхъ полюса. Въ немагнитичномъ брускѣ желѣза, напротивъ того, двѣ магнитныхъ жидкости смѣшаны другъ съ другомъ въ частичкахъ желѣза. Если помѣстить

противъ конца бруска AB изъ мягкаго желѣза (рис. 172) сѣверный полюсъ N , то сѣверный и южный магнетизмы въ частичкахъ желѣза отдѣлятся другъ отъ друга. Эти частички обратятся въ магниты, сѣверные полюсы которыхъ будутъ обращены къ концу B , а южные къ концу A . Чѣмъ сильнѣе полюсъ N , тѣмъ сильнѣе и по-

Рис. 172



Строеніе магнита по Кулону.

люсы малыхъ магнитовъ. Если удалить полюсъ N , то исчезнетъ и магнетизмъ въ AB , т. е. два рода магнетизма въ желѣзныхъ частичкахъ сольются.—Изъ этихъ соображеній слѣдуетъ, конечно, что каждая частичка желѣза должна содержать одинаковое количество сѣвернаго и южнаго магнитнаго флуида.

219. Еще задолго до Кулона было извѣстно, что дѣйствіе магнитнаго полюса на сталь отличается отъ его дѣйствія на мягкое желѣзо. Если брусокъ AB , къ которому приближаютъ сѣверный полюсъ N , сдѣланъ изъ стали, то онъ намагничивается чрезвычайно мало. По мнѣнію Кулона это означаетъ, что въ частицахъ стали сѣверный магнетизмъ съ трудомъ отдѣлимъ отъ южнаго. Въ нихъ существуетъ ка-

кое-то сопротивление движению магнитного флуида, которое проявляется в виде как бы трения при распределении флуида. Кулон обозначил силу, с которой частицы стали сопротивляются движению флуида, именем задерживательной силы.

Для того чтобы преодолеть задерживательную силу, полюс N должен действовать сильнее. Этого можно достичь, натирая NS посредством N' (рис. 173). Можно, например, положить полюс N' на полюс N и провести им вдоль магнита до S . Затем N' удаляется от магнита, снова накладывается на него в N , снова повторяется движение от N до S и т. д. В таком случае в N образуется северный полюс, а в S южный. Если производить такое натирание южным полюсом, то в N получится южный полюс, а в S северный.—Одно такое движение намагничивает слабо. Натирание нужно повторить несколько раз и намагничиванию можно помочь механическим встряхиванием бруска, например, при помощи ударов молотка. С другой стороны Кулон знал также, что сила намагничивания, которой можно достичь при помощи натирания, имеет свои пределы. Магнитная сила натирающего полюса может вызвать в стальном брусок полярность только определенной силы.

Рис. 173



Магнитование натиранием.

Но раз стальным брусок намагнитчен, он сохраняет свой магнетизм продолжительное время, чем отличается от быстро теряющих его магнитов из мягкого железа. Как сначала задерживательная сила сопротивлялась разделению северного и южного магнетизмов в частицах стали, так теперь она сопротивляется их слиянию, раз они отделены друг от друга. Намагнитченный кусок стали носить поэтому название постоянного магнита,—в отличие от намагнитченного бруска мягкого железа, который перестает быть магнитом, как только намагничивающий полюс (N на рис. 172) удаляется.

Но стальной магнит можно также и „размагнитить“, например, ударя по нему молотком или попеременно нагревая и охлаждая его. Таким образом, задерживательная сила делается меньше, когда частицы стали меняют свое состояние движения, безразлично, будет ли это изменение происходить от ударов молотка, от сверления или от теплоты (ср. § 188).

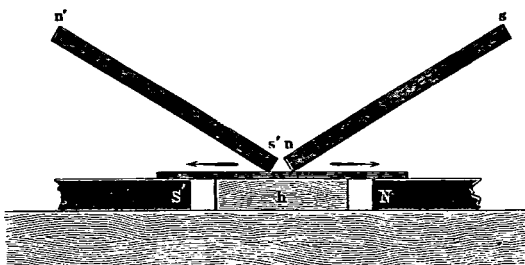
220. Другие два способа намагничивания, при которых пользуются четырьмя магнитами, принадлежат Дюгамелю и Эпинусу. Намагничиваемый брусок (рис. 174) накладывается концами на полюсы S' и N двух магнитов. По первому способу брусок натирается противоположными полюсами s' и n двух магнитов по направлению от середины к концам. Во втором способе оба полюса s' и n перемещаются вместе в одну и ту же сторону, например, вправо, откуда обратно влево, затем снова слева направо и т. д. После нескольких повторений этого движения полюсы s' и n снова снимаются с середины магнита.

221. Допущение Кулона, что процесс намагничивания состоит в перераспределении или в разделении в молекулах железа двух магнитных флуидов, северного и южного, в настоящее время вытеснено теорией, которую предложил в 1797 году ирландский химик Ричард Кирван (ум. 1812) и впоследствии дальние развил Омь.—В противоположность Кулону, Кирван допускал, что

молекулы желѣза представляют самостоятельные маленькіе магниты съ сѣвернымъ и южнымъ полюсами, безразлично, намагничено ли желѣзо или нѣтъ.

Если желѣзо не намагничено, то молекулярные магниты расположены такъ, что южный полюсъ одного лежитъ возлѣ сѣвернаго полюса другого и ихъ дѣйствія взаимно уничтожаются. Эти молекулярные магниты лежатъ на замкнутыхъ линияхъ (рис. 175) и не оказываютъ никакого дѣйствія на внѣшнее пространство, такъ какъ при-

Рис. 174

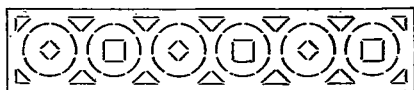


Намагничиваніе четырьмя магнитами.

тяженіе какого-нибудь сѣвернаго полюса уничтожается равнымъ отталкиваніемъ южнаго полюса и обратно.

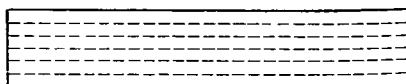
Намагничиваше же состоитъ въ томъ, что эти замкнутыя лиші (рис. 175) размыкаются и молекулярные магниты пріобрѣтаютъ опредѣленное направленіе. Если вообразить себѣ, что всѣ молекулярные магниты направлены одинаково, то намагничиваше будетъ совершенное и внутреннее строеше магнита будетъ представлено рис. 176. Молекулярные магниты образуютъ прямыя лиші и магнитная сила, „свободный магнетизмъ“, проявляется только на концахъ бруска. На одномъ концѣ дѣйствуетъ только сѣверный магнетизмъ, на другомъ только южный. Сила полюсовъ всего

Рис. 175



Молекулярные магниты, расположенные по замкнутымъ кривымъ

Рис. 176



Полное намагничиваніе.

магнита зависитъ отъ силы каждаго отдѣльнаго молекулярнаго магнита и отъ числа маленькыхъ полюсовъ, входящихъ въ составъ большаго.

Однако, въ дѣйствительныхъ магнитахъ соотношенія не такъ просты. Это можно заключить уже изъ того факта, что магнитъ обладаетъ свободнымъ магнетизмомъ не только на полюсахъ и что свободная сѣверно-магнитная сила имѣется въ магнитѣ отъ сѣвернаго полюса до середины и, соответственно, южно-магнитная сила отъ южнаго полюса до середины. Только въ серединѣ есть мѣсто mm' (рис. 177), гдѣ сѣверный и южный магнетизмы уравниваются другъ друга и гдѣ, слѣдовательно, нѣтъ свободнаго магнетизма. Это легко видѣть, погрузивъ магнитъ въ желѣзныя опилки. На полюсахъ, гдѣ магнитная сила больше всего, онѣ висятъ въ наибольшемъ

количествѣ, но между полюсами и серединой онѣ также пристають, хотя въ меньшемъ количествѣ. Только въ серединѣ магнита частички желѣза совсѣмъ не пристають. Поэтому молекулярные магниты не могутъ располагаться по прямымъ линиямъ вдоль по длинѣ магнита; ихъ нужно представлять расположенными по кривымъ линиямъ (рис. 178), которыя не всѣ оканчиваются въ оконечностяхъ магнита, а отчасти въ боковыхъ граняхъ магнита.

222. У Кирвана задерживательная сила получаетъ нѣсколько иное значеніе. Она есть не что иное, какъ сопротивление молекулярныхъ магнитовъ вращенію. Въ мягкомъ желѣзѣ, которое намагничивается легко, это сопротивление незначительно, но молекулярные магниты, когда намагничивающая сила перестаетъ дѣйствовать, снова приходятъ въ первоначальное положеніе и желѣзо снова становится немагнитнымъ. — Въ закаленномъ желѣзѣ или въ стали, напротивъ того, сопротивление вращенію велико и молекулярные магниты не такъ легко подвижны.

Но разъ сопротивление вращенію преодолено, они остаются въ своихъ новыхъ положеніяхъ, т. е. стальной брусокъ обращается въ постоянный магнитъ.

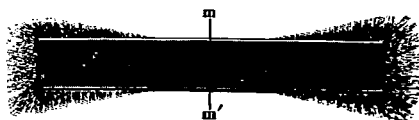
223. Причина, по которой представленіе Кулона о магнитномъ распредѣленіи было вытѣснено теоріей вращенія Кирвана, лежитъ въ томъ, что при намагничиваніи и размагничиваніи желѣза несомнѣнно происходятъ молекулярныя движенія. Именно, при намагничиваніи желѣзнаго бруска его длина слегка возрастаетъ, а толщина нѣсколько уменьшается. Это

указываетъ на то, что его молекулы распредѣляются нѣсколько иначе. Какъ мы увидимъ ниже, съ помощью электрическихъ токовъ можно быстро намагничивать и размагничивать мягкое желѣзо. При этомъ брусокъ попеременно то удлиняется, то укорачивается, другими словами—онъ приходитъ въ колебаніе и звучитъ подобно камертону. Молекулярное движеніе обнаруживается еще и тѣмъ, что брусокъ вслѣдствіе тренія молекулъ нагрѣвается.

224. Чтобы получить магниты возможно бѣльшей силы, имъ даютъ форму подковы. Первые магниты такого рода были изготовлены въ Базелѣ механикомъ Дитрихомъ (ум. 1758).

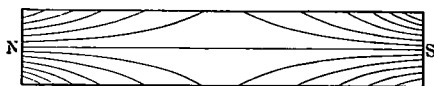
Подковообразный магнитъ (рис. 179) намагничивается таиъ, что его полюсы находятся въ *N* и *S*. Кусокъ мягкаго желѣза, приложенный къ полюсамъ, такъ называемый якорь, удерживается обоими полюсами. Сѣверный полюсъ *N* образуетъ въ якорѣ южный полюсъ *s*, а южный полюсъ *S* магнита образуетъ сѣверный полюсъ *n* якоря. Но образуя южный полюсъ *s*, полюсъ *N* содѣйствуетъ также образованію сѣвернаго полюса *n* и такимъ же образомъ *S* содѣйствуетъ образованію южнаго полюса *s*. Такимъ образомъ, каждый изъ двухъ полюсовъ *N* к *S* подковообразнаго магнита не только притягиваетъ якорь самъ по себѣ, но и усиливаетъ дѣйствіе другого полюса, вслѣдствіе чего увеличивается и притяженіе каждаго изъ нихъ.

Рис. 177



Магнитъ, погруженный въ желѣзныя опилки.

Рис. 178



Расположеніе молекулярныхъ магнитовъ.

Какъ легко видѣть, якорь мѣшаетъ подковообразному магниту терять магнетизмъ, т. е. онъ стремится сохранить направленіе молекулярныхъ магнитовъ. Поэтому подковообразный стальной магнитъ можно намагнитить сильнѣе, если во время намагничиванія къ нему приложенъ якорь. Якорь даже самъ по себѣ можетъ усиливать магнитъ. Именно, если нагружать якорь постепенно все больше и больше, то въ концѣ концовъ (спустя нѣсколько дней) онъ будетъ въ состояніи удерживать гораздо большую тяжесть, чѣмъ вначалѣ. Увеличеніе притягательной силы обусловливается тѣмъ, что молекулярные магниты въ подковообразномъ магнитѣ и въ якорѣ подъ вліяніемъ магнитныхъ силъ принимаютъ самое благоприятное положеніе.

Чтобы предохранить магниты отъ потери магнетизма, ихъ снабжаютъ якорями. Намагниченные бруски сохранять лучше всего такъ, какъ указано на рис. 180. Здѣсь NS и $N'S'$ магнитные бруски, ab и cd якоря (арматуры).

225. По теоріи вращенія Кирвана легко видѣть, что стальной брусокъ можно намагнитить только до извѣстной степени. Въ самомъ дѣлѣ, разъ всѣ молекулярные магниты расположились наивыгоднѣйшимъ образомъ, дальнѣйшее намагничиваніе невозможно. Какъ говорятъ, въ этомъ случаѣ магнитъ насыщенъ магнетизмомъ.

Толстый стальной брусокъ нельзя намагнитить совершенно. Молекулярные магниты принимаютъ надлежащія направленія только во внѣшнихъ слояхъ. Поэтому сильные магниты готовить лучше всего, соединяя нѣсколько тонкихъ магнитныхъ стальныхъ полосъ въ одинъ большой магнитъ, такъ называемый „магнитный магазинъ“ (рис. 181). Одноименные полюсы отдѣльныхъ магнитныхъ полосъ вдѣлываются въ кусокъ мягкаго желѣза (якорь). Однако, увеличеніе числа магнитныхъ полосъ свыше

извѣстнаго предѣла не приноситъ никакой пользы. Когда нѣсколько магнитныхъ полюсовъ соединяются въ одномъ мѣстѣ, то каждый изъ нихъ дѣйствуетъ на осталь-

Рис. 181



Магнитный магазинъ.

ные ослабляющимъ образомъ. Въ виду этого отдѣльнымъ полосамъ магнитнаго магазина даютъ различную длину (рис. 181).

Подобнымъ же образомъ устраиваютъ и сильныя подковообразныя магниты. Наибольше же сильныя магниты можно получать при помощи электричества. О нихъ болѣе подробно будетъ говориться ниже.

Земной магнитизмъ

226. Въ 1635 году въ Лондонѣ вышла въ свѣтъ книга, обратившая на себя большое вниманіе англичанъ, вообще сильно заинтересованныхъ мореплаваніемъ. Авторъ этой книги былъ Генри Геллибрандъ (1597—1637), профессоръ астрономіи въ Лондонѣ.

Именно, Геллибрандъ доказывалъ въ своей книгѣ, что отклоненіе компасной стрѣлки отъ линіи сѣвера-юга ея теченіемъ времени мѣняется. Онъ провелъ въ своемъ саду полуденную линію и съ помощью длинной магнитной стрѣлки опредѣлилъ величину отклоненія стрѣлки отъ линіи сѣвера-юга. При этомъ оказалось, что отклоненіе было теперь меньше, чѣмъ раньше.

Робертъ Норманъ нашелъ для величины этого отклоненія $11^{\circ} 15'$. Эдмундъ Гѣнтеръ, прѣдшественникъ Геллибранда въ должности профессора астрономіи въ Gresham College, измѣрилъ это отклоненіе въ 1622 году и нашелъ для него $6^{\circ} 12'$ къ востоку. Въ 1634 году Геллибрандъ нашелъ для этого отклоненія величину $4^{\circ} 5'$. Такимъ образомъ, за время отъ 1576 до 1634 года отклоненіе уменьшилось весьма значительно.

Въ то же время измѣненія положеній магнитной стрѣлки наблюдали также французскіе физики, которые нашли, что въ Парижѣ въ 1580, 1603 и 1630 годахъ склоненіе было равно $11\frac{1}{2}^{\circ}$, $8\frac{3}{4}^{\circ}$ и $4\frac{1}{2}^{\circ}$ къ востоку. Однако, французы не придали этому явленію большого значенія. Напротивъ того, въ Англии появленіе книги Геллибранда послужило началомъ обширныхъ и продолжительныхъ изслѣдовацій.

227. Большинство работъ въ области магнитизма, появившихся въ ближайшее затѣмъ время, касается, поэтому, магнитнаго состоянія земли. Что касается самихъ магнитовъ и магнитной силы, то здѣсь не пошли дальне того, на чемъ остановился Гильбертъ. Accademia del Cimento повторила опыты Гильберта, но не получила новыхъ результатовъ. Не двинула впередъ это изслѣдованіе и предложенная Декартомъ (I, § 171) теорія магнитной силы. Поэтому мы не будемъ останавливаться на ней подробнѣе, хотя сама по себѣ она отличалась гешальнымъ остроуміемъ. Только когда стали глубже знанія въ области электричества, стало замѣтно дальнѣйшее движеніе и въ области магнитизма.

Первымъ описаніемъ магнитнаго состоянія болѣе значительной части земной поверхности мы обязаны англійскому астроному и физику Эдмунду Галлею, одному изъ знаменитѣйшихъ современниковъ Ньютона. Галлей родился въ 1656 году въ Гаггерстонѣ близъ Лондона. Послѣ обученія въ школѣ Св. Павла въ Лондонѣ онъ поступилъ въ 1673 году въ Оксфордскій университетъ. Его отецъ, богатый фабрикантъ мыла, устроилъ ему здѣсь маленькую физическую лабораторію и снабдилъ его астрономическими инструментами, такъ что уже въ ранней молодости Галлей могъ заниматься самостоятельными работами. Первая опубликованная имъ работа была математическаго содержанія и касалась геометрическаго опредѣленія эксцентриситета планетныхъ орбитъ. Вскорѣ затѣмъ Галлей рѣшилъ составить каталогъ звѣздъ

южного неба. Пользуясь поддержкой короля Карла II, он отправился на остров Св. Елены и здесь определил положения 340 звѣздъ. Въ благодарность онъ назвалъ одно изъ созвѣздій „Дубомъ Карла II“ въ воспоминаніе о томъ дуплистомъ дубѣ, въ которомъ король укрылся послѣ пораженія Вустера войсками Кромвелля.

По возвращеніи съ юга, 22 лѣтъ отъ роду Галлей сталъ членомъ Royal Society. — О его отношеніяхъ къ Ньютону рѣчь была выше (I, § 297). Теперь онъ обра-

Рис. 182



Эдмундъ Галлей.

тился къ изученію земного магнитизма, собралъ всѣ свѣдѣнія о склоненіи магнитной стрѣлки, какія могъ найти, и въ 1683 году опубликовалъ таблицу, въ которой сопоставилъ собранный матеріалъ. Въ позднѣйшей работѣ (1692) онъ занялся вопросомъ о причинѣ измѣненій склоненія, которыя были ему известны по работѣ Геллибранда и которыя обнаруживались и въ собранномъ имъ матеріалѣ, охватывавшемъ время отъ 1640 до 1680 года.

Ни различія склоненій въ различныхъ мѣстахъ, которыя были установлены Галлеемъ, ни измѣнчивость склоненія въ одномъ и томъ же мѣстѣ нельзя было объяснить допущеніемъ Гильберта, что земля есть большой магнитъ съ однимъ сѣвернымъ и однимъ южнымъ полюсами.

Въ самомъ дѣлѣ, по таблицѣ Галлея какъ въ Европѣ, такъ и на западномъ берегу Сѣверной Америки склоненіе было западное, но ни въ одномъ мѣстѣ между этими двумя частями свѣта оно не было нулемъ и не было восточнымъ. По мнѣнію Галлея, это было несовмѣстимо съ теоріей Гильберта и потому онъ допустилъ, что земля имѣетъ не два, а четыре магнитныхъ полюса. Такимъ образомъ, по этой теоріи земля представляла родъ двойного магнита съ двумя сѣверными и съ двумя южными полюсами. Для объясненія же измѣненій склоненія Галлей предложилъ слѣдующую своеобразную теорію. Онъ принималъ, что земля состоитъ изъ твердой внѣшней оболочки и такого же твердаго внутренняго ядра, отдѣленнаго отъ оболочки жидкимъ слоемъ, и что какъ оболочка, такъ и ядро представляютъ самостоятельные магниты съ двумя полюсами каждый. Затѣмъ онъ допустилъ, что оболочка и ядро вращаются около общей оси, но ядро вращается нѣсколько медленнѣе, такъ что приблизительно въ 700 лѣтъ оно отстаеетъ отъ оболочки на одинъ оборотъ. При такомъ, нѣсколько смѣломъ, допущеніи магнитная стрѣлка съ теченіемъ времени должна, конечно, измѣнять свое направленіе въ данномъ мѣстѣ. Это направленіе опредѣляется всѣми четырьмя полюсами и потому, если полюсы перемищаются другъ относительно друга, то это должно влечь за собою измѣненіе величины и направленія общей суммы ихъ дѣйствій. По прошествіи приблизительно 700 лѣтъ эти измѣненія

должны повторяться, такъ какъ въ этомъ случаѣ четыре полюса снова возвращаются къ первоначальному положенію относительно другъ друга. Галлей настолько сжился съ этими мыслями, что не считалъ невозможной обитаемость поверхности земного ядра. Другими словами, онъ вѣрилъ въ возможность подземнаго міра.

228. Благодаря своимъ прекраснымъ связямъ съ правительствомъ, Галлей могъ доставать средства для изслѣдованій, требующихъ большихъ затратъ. Такъ, въ 1698—1702 годахъ онъ предпринялъ на военномъ судиѣ три путешествія по Атлантическому океану для опредѣленія направленія компасной стрѣлки въ возможно бблшемъ числѣ мѣстъ. Эти путешествія захватили берега Африки и Америки и острова Асорсюе, Канарскіе и Св. Елены. Послѣ первыхъ двухъ путешествій Галлей опубликовалъ свои наблюденія въ формѣ карты склоненій, т. е. карты, на которой мѣста съ равными склоненіями были соединены линіями. Такая карта даетъ очень наглядное изображеніе этихъ соотношеній.

Въ то время какъ Галлей собиралъ матеріалъ для карты склоненій, другіе измѣряли наклоненіе во время морскихъ путешествій изъ Англій въ Китай. Но карта этихъ наблюденій, карта наклоненій, была опубликована только въ 1768 году Вильке (§ 51).

Этотъ способъ изображенія магнитнаго состоянія земли сохранился и до сихъ поръ и магнитныя линіи чрезвычайно удобны для наблюденія измѣненій, которымъ подвергается магнетизмъ земли съ теченіемъ времени.

Имя Галлея встрѣчается въ исторіи астрономіи и физики неоднократно. Во время своего пребыванія на островѣ Св. Елены въ 1677 году Галлей наблюдалъ одно прохожденіе Меркурія черезъ дискъ солнца и при этомъ случаѣ натолкнулся на мысль воспользоваться такими же прохожденіями Венеры для опредѣленія разстоянія солнца отъ земли. Въ 1716 году онъ разработалъ этотъ планъ подробнѣе, чтобы дать астрономамъ возможность произвести это наблюденіе при томъ прохожденіи Венеры, которое должно было имѣть мѣсто въ 1761 году. Его указаніями воспользовались какъ при этомъ прохожденіи, такъ и при слѣдующихъ и они привели къ очень точному измѣренію діаметра земной орбиты (I, § 309).—Очень извѣстны также его вычисленія кометныхъ орбитъ, равно какъ и его наблюденія надъ движеніемъ нѣкоторыхъ неподвижныхъ звѣздъ (I, § 322).

Въ 1703 году Галлей сталъ преимникомъ Валлиса (I, § 178) въ качествѣ профессора математики Оксфордскаго университета, а въ 1719 году онъ сталъ, послѣ Флемстида, Королевскимъ астрономомъ на Гриничской обсерваторіи. Въ *Philosophical Transactions* онъ опубликовалъ не менѣе 78 статей. Онъ умеръ въ 1742 году.

229. Неправильности въ направленіи стрѣлки склоненій замѣчаются, однако, не только за большіе промежутки времени. На самомъ дѣлѣ стрѣлка почти никогда не бываетъ въ покоѣ, она постоянно мѣняетъ свое направленіе, какъ открылъ Джорджъ Грэмъ.

Грэмъ родился въ 1675 году въ Горсгиллѣ въ Кѣмберландѣ и молодымъ челоувѣкомъ поступилъ въ ученіе къ знаменитому часовщику Томпюну, который сдѣлалъ первые карманные часы со спиральной пружиной Гука (I, § 165). Томпюну тотчасъ же замѣтилъ выдающійся талантъ молодого Грэма къ механикѣ.

Грэмъ строилъ для Гриничской обсерваторіи различные инструменты, между прочимъ также тотъ секторъ, при помощи котораго Брадлей открылъ абerraцію

(I, § 284). Особенно прославился онъ планетаріемъ, построеннымъ для лорда Оррери и встрѣтившимъ такое одобреніе, что у богачей въ Англии вошло въ моду ставить въ библиотекѣ такой планетарій, хотя его цѣна составляла около 10000 рублей. Этотъ планетарій, указывавшій движенія планетъ вокругъ солнца и движенія спутниковъ вокругъ планетъ, былъ изобрѣтенъ, впрочемъ, не самимъ Грэмомъ, а Петеромъ Апіаномъ, знаменитымъ придворнымъ математикомъ императора Карла V.

Грэмъ былъ не только практическимъ механикомъ, но обладалъ также основательными свѣдѣніями въ астрономіи и физикѣ и написалъ нѣсколько цѣнныхъ статей о научныхъ инструментахъ и физическихъ явленіяхъ. Въ 1728 году онъ былъ принятъ въ члены Royal Society. Онъ умеръ въ 1751 году и былъ похороненъ въ Вестминстерскомъ аббатствѣ,—согласно желанію его учителя и покровителя Томпсона въ одномъ гробу съ послѣднимъ.

230. Для своихъ наблюденій склоненій, которыя Грэмъ дѣлалъ въ 1722—3 годахъ, онъ пользовался стрѣлкой въ 12 дюймовъ длины, подвѣшенной очень чувствительно и вращавшейся надъ раздѣленнымъ кругомъ, на которомъ можно было непосредственно отсчитывать дугу въ двѣ минуты. Грэмъ замѣтилъ, что стрѣлка мѣняла свое направленіе съ часу на часъ. Стрѣлка, собственно, никогда даже и не успокаивалась, а совершала непрерывныя колебанія около положенія равновѣсія. Эти измѣненія, около $1/2^\circ$ величиною, правильно повторялись каждыя сутки. По наблюденіямъ Грэма вечеромъ отъ 6 до 7 часовъ склоненіе было наименьшее, а днемъ между 12 и 4 часами наибольшее. Однако, эти моменты указаны неточно. Склоненіе бываетъ меньше всего между 7 и 8 часами утра и больше всего между 1 и 2 часами пополудни. Такимъ образомъ, въ сѣверномъ полушаріи стрѣлка, начиная съ 1—2 часовъ пополудни, движется на востокъ до 7 или 8 часовъ слѣдующаго утра, а затѣмъ движется къ западу до времени между 1 и 2 часами пополудни.

Цельзіей (§ 25), состоявшій въ перепискѣ съ Грэмомъ, опубликовалъ въ 1740 году рядъ наблюденій надъ суточнымъ движеніемъ стрѣлки склоненій. Эти наблюденія точнѣ опредѣлили моменты наибольшаго и наименьшаго склоненій.

Цельзіей продолжалъ свои магнитныя наблюденія и его ассистентъ Олафъ Гьортеръ на Упсальской обсерваторіи замѣтилъ въ 1741 году, что магнитная стрѣлка приходитъ въ сильное колебаніе всякій разъ, когда появляется сильное сѣверное сіяніе. Такимъ образомъ между сѣверными сіяніями и земнымъ магнетизмомъ существуетъ связь, о чемъ догадывался уже Галлей въ 1716 году на томъ основаніи, что сѣверныя сіянія, какъ ему казалось по его наблюденіямъ, настолько же отклонялись отъ сѣвера, насколько и магнитная стрѣлка.

231. Теорія Галлея о двухъ неподвижныхъ и двухъ подвижныхъ магнитныхъ полюсахъ наша много сторонниковъ, но многимъ эта теорія подземнаго міра (§ 226) казалась слишкомъ смѣлой. Къ числу послѣднихъ принадлежали таюке превосходный математикъ Леонардъ Эйлеръ и Гёттингенскій профессоръ Тобіасъ Майеръ.

Эйлеръ родился въ 1707 году въ Базелѣ и былъ сынъ священника. Въ университетѣ роднаго города, въ которомъ въ то время училъ Іоганнъ Вернули, онъ изучалъ математику. Съ 1727 до 1741 года онъ работалъ въ С.-Петербургѣ въ качествѣ члена Академіи, затѣмъ послѣдовалъ приглашенію Фридриха II въ Берлинъ, но въ 1766 году вернулся въ Петербургъ, гдѣ и умеръ въ 1783 году. Еще въ 1735 году онъ ослѣпъ отъ болѣзни на правый глазъ, а съ 1766 года ослѣпъ

почти совершенно и на лѣвый глазъ. Несмотря на это онъ написалъ массу выдающихся математическихъ работъ, въ которыхъ главнымъ образомъ развивалось основное Ньютономъ и Лейбницемъ дифференціальное и интегральное исчисленія.

Эйлеръ былъ рѣшительнымъ противникомъ Ньютоновой теоріи свѣта, а равнымъ образомъ и теоріи Ньютона о томъ, что сила можетъ дѣйствовать на разстояніе безъ посредства промежуточной среды. Онъ пытался распространить свою теорію эвѳра (см. отдѣлъ О природѣ свѣта) на магнитныя силы, но въ концѣ концовъ оставилъ это и принялъ вмѣстѣ съ Декартомъ, что изъ магнита истекаетъ особый магнитный флуидъ. Что касается земного магнетизма, то онъ пытался объяснить распредѣленіе склоненій при помощи двухъ магнитныхъ полюсовъ, не діаметрально противоположныхъ другъ другу. Однако, его вычисленія плохо согласовались съ наблюдаемыми склоненіями.

Тобіасъ Майеръ (1723—1762), родившійся въ Марбахѣ въ Вюртембергѣ, съ 1751 года профессоръ въ Гёттингенѣ, былъ однимъ изъ крупнѣйшихъ астрономовъ XVIII вѣка. За лунныя таблицы, служившія для опредѣленія долготъ, его вдова получила отъ англійскаго правительства вознагражденіе въ 3000 фунтовъ стерлинговъ (около 30000 рублей). Майеръ также допускалъ существованіе только двухъ полюсовъ, лежащихъ вблизи центра земли. Именно, по его мнѣнію земной магнетизмъ обусловливается существованіемъ короткаго въ сравненіи съ радіусомъ земли, но чрезвычайно сильнаго центрального магнита. Его предположенія были ясны и опредѣленны и могли лечь въ основу вычисленій. Изъ нихъ вытекало, что магнитный экваторъ есть кругъ и что магнитная сила достигаетъ наибольшей величины на магнитныхъ полюсахъ земли, т. е. въ тѣхъ мѣстахъ, въ которыхъ линія, проходящая черезъ полюсы центрального магнита, встрѣчаетъ поверхность земли. Эти выводы изъ допущеній Майера не нашли, однако, точнаго подтвержденія въ фактахъ. Магнитный экваторъ не есть большой кругъ и магнитная сила достигаетъ наибольшей величины не на магнитныхъ полюсахъ.

232. Въ то время какъ теорію земного магнетизма никакъ не удавалось согласовать съ измѣреніями, послѣднія, главнымъ образомъ по требованіямъ практики, продолжались все съ большей точностью. Благодаря наблюденіямъ мореплавателей и путешественниковъ постепенно собирался чрезвычайно богатый матеріалъ. Но этотъ матеріалъ могъ имѣть значеніе только, будучи собранъ и обработанъ. Эту большую работу выполнилъ Христофферъ Ганстенъ.

Ганстенъ родился въ Христіаніи въ 1784 году. Окончивъ гимназію въ родномъ городѣ, онъ въ 1802 году отправился въ Копенгагенъ для изученія права. Вѣроятно онъ избралъ эту спеціальность, чтобы быть въ состояніи возможно скорѣе поддерживать свою мать, жившую въ нуждѣ. Однако, онъ долженъ былъ прервать свое ученіе и принять мѣсто домашняго учителя въ Сорѣ. Но на этомъ мѣстѣ онъ оставался всего полтора года.

Теперь онъ снова провелъ нѣсколько времени въ Копенгагенѣ, гдѣ познакомился съ Эрстедомъ. Послѣдній въ 1804 году вернулся изъ своего перваго путешествія за границу. Въ то время въ области физики замѣчалось броженіе по всей Европѣ и Эрстедъ умѣлъ передать учащейся молодежи энтузіазмъ къ наукѣ, который воодушевлялъ его самого.

Ганстенъ имѣлъ намѣреніе окончить юридическое образованіе, но средствъ

у него не хватило и потому въ 1806 году онъ принялъ мѣсто учителя математики въ классической школѣ въ Фредериксборгѣ.

Случай направилъ его на занятія магнитными изслѣдованіями. Именно, его школа получила въ подарокъ пару глобусовъ, на которыхъ были начерчены магнитныя кривыя, чрезвычайно заинтересовавшія его. Онъ подробно познакомился со всѣмъ, что было извѣстно въ то время о земномъ магнитизмѣ, и началъ производить самостоятельныя изслѣдованія. Въ 1811 году Королевское Научное Общество въ Копенгагенѣ предложило слѣдующую задачу на премію: „можно ли объяснить явленія земного магнетизма существованіемъ одной только магнитной оси или ихъ должно быть нѣсколько?“ Ганстенъ представилъ отвѣтъ на этотъ вопросъ и получилъ премію.

Рис. 183



Христофферъ Ганстенъ.

233. Такимъ образомъ ему пришлось изслѣдовать, нельзя ли объяснить магнитныя явленія при помощи теоріи Тобіаса Майера, т. е. теоріи, что существуетъ только два полюса, лежащихъ вблизи центра земли.

Ганстенъ тотчасъ же принялся за изготовленіе вѣрныхъ магнитныхъ картъ. Въ то время существовало только нѣсколько очень несовершенныхъ картъ склоненія и еще худшихъ картъ наклоненія. Ганстенъ долженъ былъ собирать данныя о положеніи магнитной стрѣлки изъ судовыхъ журналовъ со всѣхъ концовъ земли и на

основаніи этихъ данныхъ составлять карты. Когда его статья была напечатана въ 1819 году, онъ могъ приложить къ ней цѣлый атласъ, карты котораго охватывали время отъ 1600 до 1800 года.

По этимъ картамъ было легко видѣть, что земной магнитизмъ не можетъ обуславливаться существованіемъ одного магнита съ двумя полюсами. Для этого направленія магнитныхъ линій были слишкомъ неправильны. Поэтому Ганстенъ отбросилъ гипотезу Майера и попытался объяснить явленія, подобно Галлею, допусшіемъ четырехъ полюсовъ, не прибѣгая, впрочемъ, къ помощи двойной земли Галлея.

234. Кромѣ богатаго матеріала о распредѣленіи земного магнитизма отвѣтъ Ганстена на задачу Академіи содержалъ также подробныя изслѣдованія о распредѣленіи магнитной силы въ магнитахъ и о взаимодействіи двухъ магнитовъ другъ на друга. Этотъ отвѣтъ явился ближайшей причиной того, что въ 1813 году Ганстенъ былъ назначенъ лекторомъ въ новомъ университетѣ въ Христианіи. Свое новое положеніе онъ долженъ былъ занять только въ слѣдующемъ году, а оставшееся время онъ долженъ былъ использовать для подготовки къ преподавательской дѣятельности. Для этой цѣли онъ и еще нѣсколько молодыхъ ученыхъ, приглашенныхъ въ новый университетъ, получили королевскую поддержку.

Открытіе этого университета происходило при тяжелыхъ обстоятельствахъ. Ганстенъ слѣдующимъ образомъ описываетъ свое путешествіе изъ Копенгагена въ Христианію.

„Когда въ 1814 году наконецъ наступило время занять мѣсто въ университетѣ, я былъ вынужденъ купить старую каперскую шкуну, а также нанять капитана и нѣсколько норвежскихъ матросовъ, которые незадолго передъ тѣмъ были отпущены изъ англійскаго плѣна и страстно стремились попасть снова на родину. Когда норвежцы были освобождены отъ своей присяги королемъ соединенныхъ королевствъ¹⁾, они объявили себя независимыми; но каждому норвежцу въ Дании подъ страхомъ смертной казни было запрещено ѣхать въ Норвегію какимъ-нибудь инымъ путемъ кромѣ пути черезъ Швецію. А здѣсь требовали принесенія присяги на вѣрность королю Швеціи, идти же на это при тогдашнихъ условіяхъ было невозможно. Съ другой стороны, отказъ грозилъ заключеніемъ въ тюрьму. 14 іюля я отплылъ на этомъ безпалубномъ ботѣ изъ Копенгагена въ сопровожденіи молодой жены и младшаго брата. Ночью насъ нѣсколько времени преслѣдовало шведское каперское судно. Когда мы на третье утро подошли уже къ норвежскому берегу, мы, послѣ нѣсколькихъ выстрѣловъ по насъ, должны были сдаться капитану англійскаго крейсера Маккензи, который вель взятый у датчанъ фрегатъ „Венустъ“. Когда нашъ капитанъ и матросы предъявили англійскому капитану свои документы и дали ему свѣдѣнія обо мнѣ и о цѣли моего путешествія, этотъ благородный человѣкъ отпустилъ насъ и пожелалъ намъ счастливаго пути. Присутствіе молодой женщины на борту нашего судна, конечно, очень помогло убѣдить его, что наша экспедиція не имѣла военнаго характера“. Такимъ образомъ Ганстенъ благополучно добрался до своей родины, гдѣ сталъ однимъ изъ первыхъ среди выдающихся людей „самостоятельной“ Норвегіи.

235. Между прочимъ онъ долженъ былъ также преподавать въ университетѣ

¹⁾ Датскимъ. До 1814 года Норвегія была соединена съ Даніей. По Кильскому договору 1814 года Данія должна была отказаться отъ Норвегіи въ пользу Швеціи. *Прим. пер.*

и астрономію и потому ему пришлось налаживать астрономическія наблюденія. Но для такихъ наблюденій не было ни зданія, ни нужныхъ инструментовъ. Онъ досталъ на время взаймы секстанъ и хронометръ. Сначала онъ долженъ былъ дѣлать свои наблюденія въ квартирѣ на второмъ этажѣ въ оживленной части города, но въ 1815 году университетъ построилъ для него восьмиугольный деревянный сарай на южной сторонѣ крѣпости Акергусъ. Было пріобрѣтено и нѣсколько подержанныхъ инструментовъ. Въ этой первой норвежской обсерваторіи Ганстенъ опредѣлилъ географическое положеніе Христіаніи.

Наряду съ преподаваніемъ и астрономическими работами Ганстенъ продолжалъ свои занятія по земному магнитизму. Его трудъ о земномъ магнитизмѣ появился на нѣмецкомъ языкѣ и создалъ Ганстену большія связи съ иностранными учеными.

Рис. 184



Нынѣшняя обсерваторія въ Христіаніи.

Благодаря ему Христіанія стала даже центромъ работъ по изслѣдованію земного магнитизма, такъ какъ Ганстенъ получалъ свѣдѣнія объ измѣреніяхъ и наблюденіяхъ относительно земного магнитизма изъ всѣхъ странъ свѣта.

Эта неустанная работа и уваженіе, пріобрѣтенное Ганстеномъ за границей, конечно, много способствовали тому, что ему удалось въ сравнительно короткое время добиться постройки астрономической (1830) и магнитной (1835) обсерваторій. Въ 1855 году онъ могъ съ гордостью писать: „я думаю, что въ настоящее время изъ всѣхъ обсерваторій четырехъ сѣверныхъ университетовъ наша обставлена лучше всѣхъ“.

Тамъ же онъ говоритъ, что совершенно невѣрно мнѣніе, распространенное въ то время, будто легче получить поддержку для науки и искусства отъ абсолютнаго правительства, чѣмъ отъ народнаго представительства, которое отчасти состоитъ изъ людей, мало знакомыхъ съ наукой. „Норвежскій университетъ имѣетъ всѣ основанія

быть благодарнымъ за щедрость, съ которою онъ былъ обставленъ во всѣхъ отношеніяхъ“.

Стортингъ далъ также средства для путешествія въ Сибирь, которое Ганстенъ предпринялъ въ 1828—30 годахъ для производства тамъ магнитныхъ наблюденій.

Кромѣ большого числа научныхъ работъ Ганстенъ писалъ также общедоступныя книги и статьи, между которыми особенно нужно отмѣтить его путевыя замѣтки, переведенныя также на французскій и нѣмецкій языки. Въ 1861 году онъ вышелъ въ отставку, а въ 1873 году умеръ.

236. Теперь мы познакомимся съ магнитнымъ состояніемъ земли, а равно съ его измѣненіями за послѣднія столѣтія, пользуясь отчасти картами Ганстена.

При помощи своей терреллы Гильбертъ могъ указать нѣсколько главныхъ особенностей магнитнаго состоянія земли. Эти главныя особенности были слѣдующія: склоненія различны въ различныхъ мѣстахъ; на поверхности земли есть точки, въ которыхъ магнитная стрѣлка отклонена къ востоку, есть точки, въ которыхъ она указываетъ какъ разъ на сѣверъ, и такія, въ которыхъ она отклонена къ западу.

Наклоненіе также различно въ различныхъ мѣстахъ. Гильбертъ правильно указывалъ, что наклоненіе къ сѣверу отъ Англій увеличивается, а къ югу уменьшается. Онъ думалъ далѣе, что есть два магнитныхъ полюса—одинъ на сѣверномъ географическомъ полюсѣ, гдѣ сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки указываетъ внизъ, а другой на южномъ географическомъ полюсѣ, гдѣ внизъ направленъ южный магнитный полюсъ стрѣлки. Соотвѣтственно этому, думалъ Гильбертъ, на экваторѣ магнитная стрѣлка должна висѣть въ горизонтальномъ положеніи и магнитный экваторъ долженъ совпадать съ географическимъ.

Взгляды Гильберта относительно наклоненія и магнитныхъ полюсовъ невѣрны, поскольку рѣчь идетъ о географическомъ положеніи. Земля имѣетъ два магнитныхъ полюса и одинъ магнитный экваторъ въ томъ смыслѣ, который даетъ этимъ словамъ Гильбертъ и въ которомъ они употребляются еще и теперь. Но положеніе полюсовъ и экватора отличается отъ того, какое предполагалъ Гильбертъ.

Магнитное состояніе земли можно прекрасно представить при помощи „магнитныхъ“ линій.

Одну группу такихъ линій можно получить, соединивъ, согласно способу Галлея, линіями тѣ точки, въ которыхъ стрѣлка компаса имѣетъ одинаковое направленіе, т. е. гдѣ склоненіе или отклоненіе отъ линіи сѣвера-юга имѣетъ одну и ту же величину.

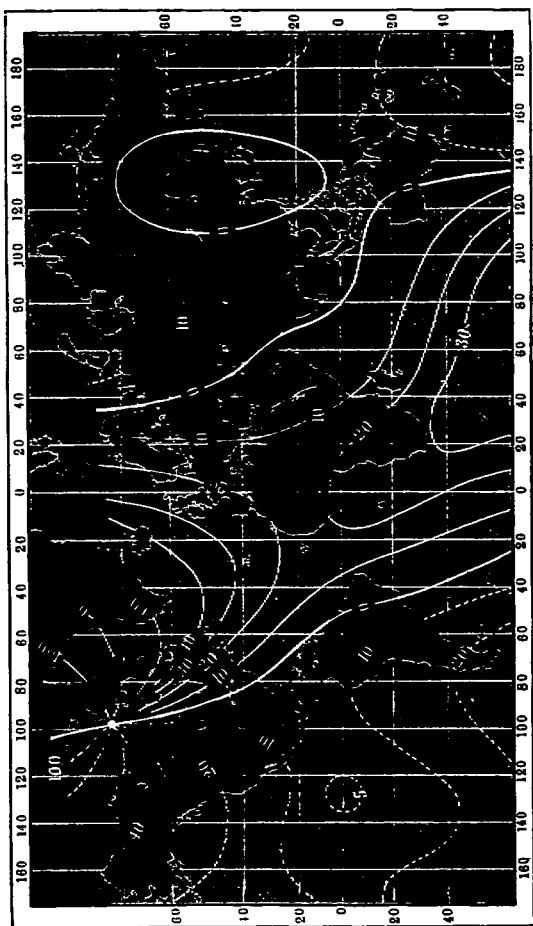
Эти линіи называются изогоническими линіями или изогонами. Рис. 185 представляетъ распредѣленіе склоненій для 1860 года. Числа на изогонахъ даютъ величину склоненія.

На линіяхъ, обозначенныхъ 0, магнитная стрѣлка указываетъ какъ разъ на сѣверъ. Одна изъ этихъ линій идетъ отъ Кольскаго полуострова мимо Петербурга черезъ Россію, перерѣзываетъ Каспійское море, обходитъ дугою Переднюю Индію и идетъ къ Австраліи и дальше на югъ. Другая такая линія проходитъ черезъ Гѣлсоновъ заливъ и восточную часть Соединенныхъ Штатовъ и идетъ мимо Вестъ-Индій черезъ Бразилію дальше къ югу. Остальныя линіи соотвѣтствуютъ—сплошныя западному, а пунктирныя восточному склоненію.

237. Легко видѣть, что всѣ безъ исключенія изогоны должны проходить

черезъ географическіе полюсы земли. Конечно, на географическихъ полюсахъ магнитная стрѣлка, какъ и на всякомъ другомъ мѣстѣ земной поверхности, устанавливается въ определенномъ направленіи, но это направленіе не можетъ быть определено по отношенію къ линіи сѣвера-юга, такъ какъ черезъ полюсы проходятъ всѣ географическіе меридіаны. Такимъ образомъ, на полюсахъ можно определять положеніе магнитной стрѣлки какъ относительно меридіана Парижа, напримѣръ, такъ

Рис. 185



Карта склоненій для 1860 года.

и относительно меридіана Манилы: на полюсѣ эти меридіаны пересѣкаются. Удаляясь отъ полюса, можно такъ выбрать свой путь, что стрѣлка получитъ какое угодно склоненіе, т. е. всѣ изогоны проходятъ черезъ географическіе полюсы.

Но на земной поверхности есть, кромѣ того, еще двѣ другихъ точки, черезъ которыя проходятъ всѣ изогоны, именно тѣ двѣ точки, въ которыхъ стрѣлка склоненія стоитъ отвѣсно, т. е. магнитные полюсы. Въ этихъ точкахъ склоненіе также можетъ

имѣть какую угодно величину. Въ самомъ дѣлѣ, въ этихъ точкахъ магнитизмъ земли дѣйствуетъ не по горизонтальному, а только по вертикальному направленію. Удаляясь же отъ магнитнаго полюса, можно, очевидно, идти по любой изогонѣ.

Эта замѣчательная особенность изогонъ, что онѣ должны проходить и черезъ магнитные и черезъ географическіе полюсы, обуславливается очевидно не какой-либо своеобразной особенностью земнаго магнитизма, а только тѣмъ способомъ, который былъ принятъ для представляющаго направленія магнитной стрѣлки. Еслибы для этой цѣли были взяты лиши, которыя дають для каждаго мѣста направленіе магнитной стрѣлки, то географическіе полюсы не имѣли бы той особенности, которую имъ дають изогоны. Черезъ географическіе полюсы проходила бы только одна такая линія.

Непосредственными измѣреніями опредѣлено положеніе только одного изъ двухъ магнитныхъ полюсовъ. Въ 1831 году извѣстный англійскій полярный изслѣдователь Джонъ Россъ (1777—1856) достигъ сѣвернаго магнитнаго полюса. Онъ находится на открытомъ Россомъ полуостровѣ Вootія Феликсъ въ арктической части Америки подъ $70^{\circ} 30'$ сѣверной широты и $97^{\circ} 40'$ западной долготы. Южнаго магнитнаго полюса еще не достигли, но его положеніе было вычислено на основаніи расположенія магнитныхъ линій, причѣмъ было найдено, что онъ лежитъ къ югу отъ Тасманіи подъ $73^{\circ} 39'$ южной широты и $146^{\circ} 15'$ восточной долготы.

238. Нулевая изогоня раздѣляетъ поверхность земли на двѣ неравныя части. Въ одной изъ этихъ частей, включающей Атлантическій океанъ, склоненіе западное, въ другой части, которая охватываетъ Азію, Тихій океанъ и большую часть Америки, склоненіе восточное.

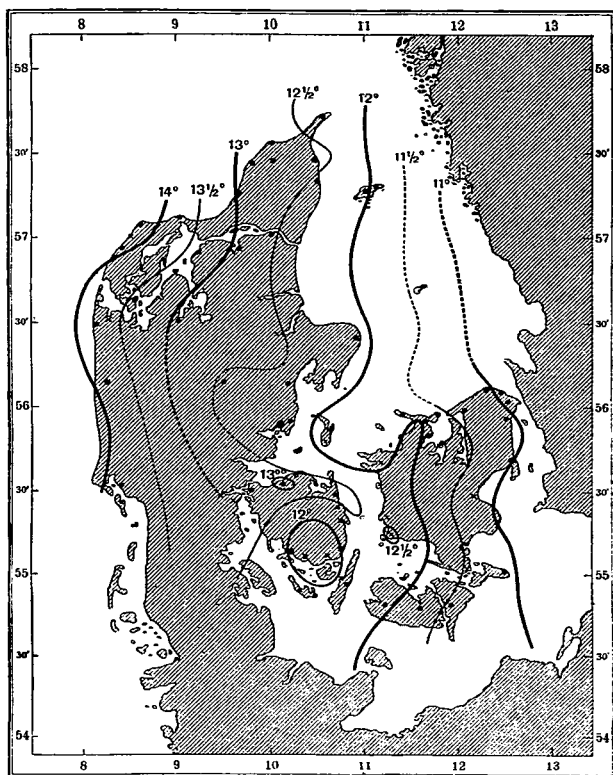
Если направляться отъ нулевой изогоня Стараго Свѣта къ западу, начиная съ сѣвера Норвегіи, то западное склоненіе магнитной стрѣлки будетъ постоянно увеличиваться, т. е. идя такимъ образомъ, мы проходили бы послѣдовательно черезъ всѣ изогоны. Перейдя къ другой нулевой изогонѣ къ сѣверу отъ магнитнаго полюса, мы даже нашли бы склоненіе 180° ,—другими словами, сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки указывалъ бы на югъ—по направленію отъ сѣвернаго географическаго полюса къ магнитному.

Напротивъ того, направляясь изъ Сѣверной Европы въ Нью-Йоркъ, мы отъ одной нулевой изогоня перешли бы почти непосредственно къ другой и, слѣдовательно, склоненіе не увеличивалось бы непрерывно. Приблизительно до 30° западной долготы оно увеличивается, но затѣмъ снова убываетъ съ приближеніемъ къ другой нулевой изогонѣ. Такъ же обстоитъ дѣло и въ южномъ полушаріи, т. е. по направленію къ полюсу измѣненія склоненія гораздо больше, чѣмъ по направленію къ экватору.

239. Не слѣдуетъ, однако, забывать, что карта рис. 185 представляетъ только важнѣйшія особенности распредѣленія изогонъ. На самомъ дѣлѣ онѣ идутъ гораздо неправильно, какъ это ясно показываетъ рис. 186. Послѣдняя карта составлена Адамомъ Паульсеномъ, директоромъ метеорологическаго института въ Копенгагенѣ. Изогоня $12\frac{1}{2}^{\circ}$ (западн.) сначала идетъ въ юговосточномъ направленіи, затѣмъ въ южномъ до окрестностей Ааргуса, далѣе описываетъ большую дугу къ западу, проходитъ къ сѣверу отъ Фюнена къ Большому Бельту, тамъ поворачиваетъ рѣзкимъ изломомъ и черезъ Фюненъ и Малый Бельтъ проходитъ къ Альсену. Изогоня 12° также сильно искривлена, а въ южной части Фюнена есть даже замкнутая изогоня 12° .

Еще болѣе замѣчательный примѣръ неправильнаго распредѣленія изогонъ представляет остров Борнгольмъ и его окрестности (рис. 187). Еслибы склоненіе убывало равномѣрно отъ Зеландіи до Борнгольма, то на западномъ берегу острова оно

Рис. 186



Расположеніе изогонъ въ Даші (1891).

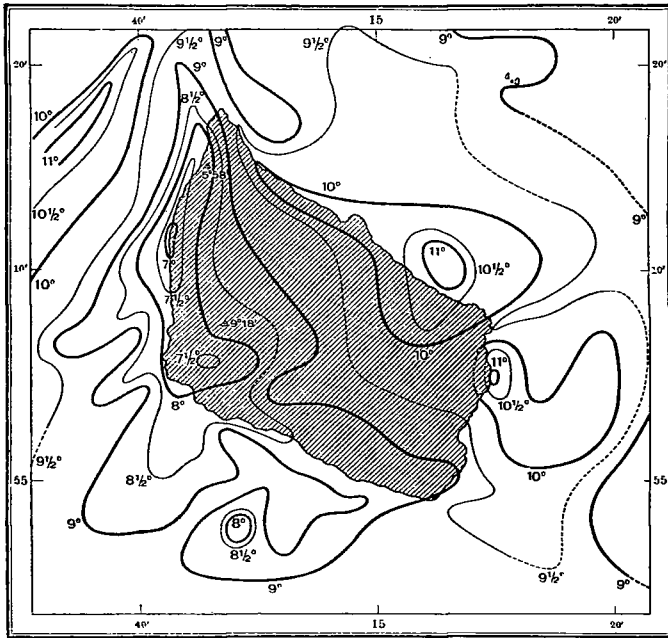
должно было бы составлять $9\frac{1}{2}^{\circ}$, а на восточномъ берегу $9\frac{1}{4}^{\circ}$ (западн.). Но близъ Гасле, на западномъ берегу склоненіе составляетъ только 7° , а вблизи Сванеке (на восточномъ берегу) свыше $10\frac{1}{2}^{\circ}$. Это явленіе обусловлено тѣмъ, что этотъ островъ состоитъ изъ гранита, содержащаго желѣзо и отклоняющаго стрѣлку въ сторону суши. Поэтому склоненіе на западномъ берегу меньше, чѣмъ на восточномъ.

240. На картѣ рис. 185 кромѣ двухъ нулевыхъ изогонъ, идущихъ отъ полюса къ полюсу, есть еще одна замкнутая линія, лежащая частью въ восточной Азіи, частью въ Тихомъ океанѣ, на которой склоненіе равно нулю. Въ этой замкнутой линіи склоненіе восточное, внутри ея западное (до 5°). Распредѣленіе магнетизма здѣсь, очевидно, еще своеобразнѣе, чѣмъ на Борнгольмѣ и на замкнутой изогонѣ Фюнена.

Но, какъ показаль уже Геллибрандъ (§ 225), и нулевая и другія изогоны не остаются неподвижными. Двѣ карты рис. 188 и рис. 189, взятая изъ магнитнаго атласа

Ганстена, даютъ положеніе изогонъ для 1700 и 1800 годовъ. Сравнивая ихъ съ картой для 1860 года (рис. 185), можно ясно видѣть перемѣщеніе изогонъ съ теченіемъ времени.

Рис. 187

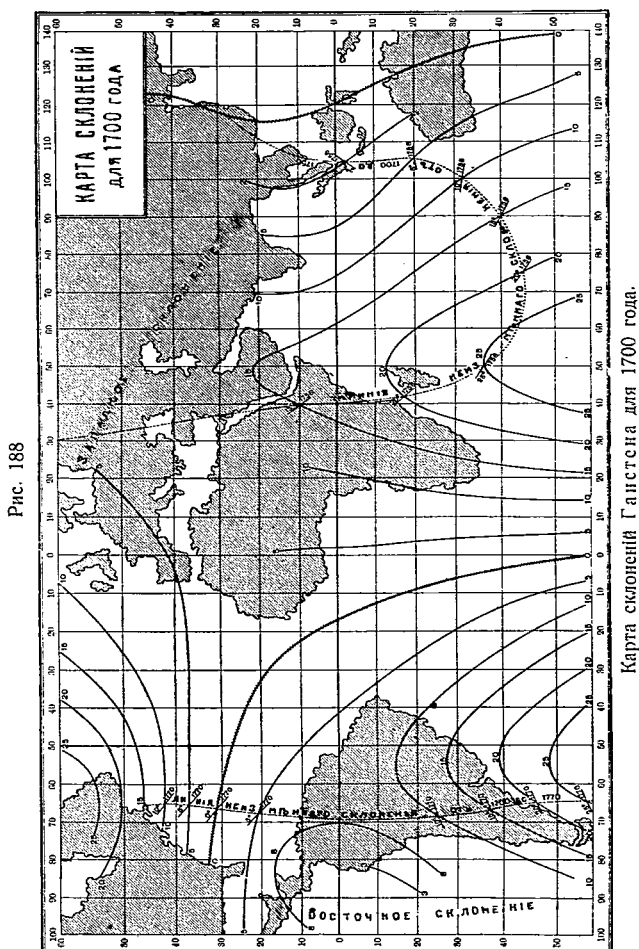


Расположеніе изогонъ на о. Борнгольмъ и вокругъ него (1891).

Слѣдующее сопоставленіе показываетъ, какъ измѣнялось склоненіе съ теченіемъ времени въ Копенгагенѣ и въ Лондонѣ:

Копенгагенъ		Лондонъ	
Годъ	Склоненіе	Годъ	Склоненіе
—	—	1576	11°15' къ востоку
—	—	1634	4° 5' "
1649	1°30' къ востоку	—	—
—	—	1657	0° 0' "
1672	2°30' къ западу	1672	2°30' къ западу
1730	10°37' "	1720	13° 0' "
1792	18°23' "	1790	23°39' "
1807	18°26' "	1800	24°36' "
1819	18° 6' "	—	—
—	—	1831	24° 0' "
1848	16°23' "	—	—
1878	12° 2' "	1878	19° 4' "
1883	11°38' "	—	—
1891	11° 1' "	—	—

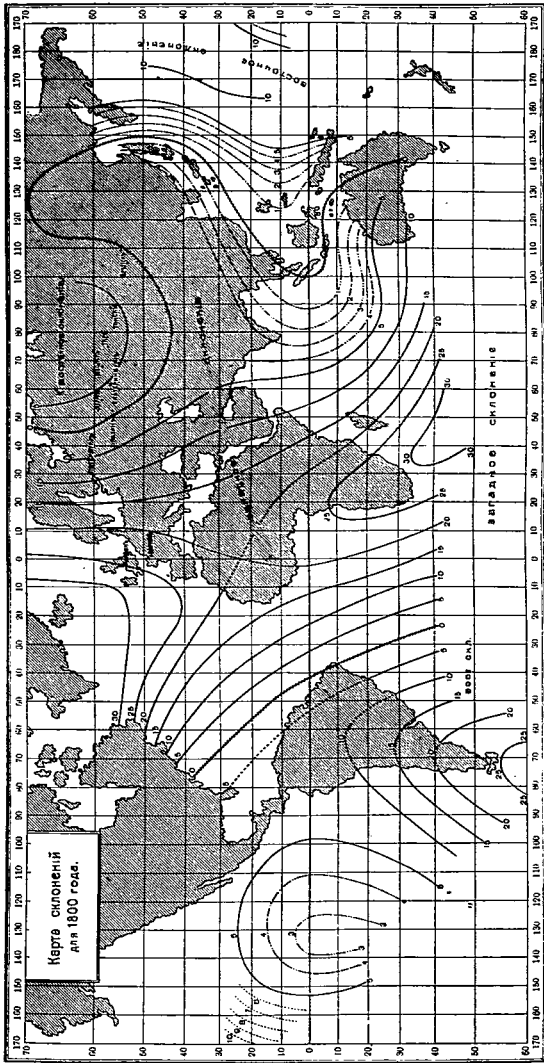
Такимъ образомъ, около 1660 года нулевая изогона проходила черезъ Копенгагенъ. До этого времени склоненіе было восточное, а послѣ 1660 года оно стало западнымъ, причемъ достигло наибольшей величины около 1808 года. Съ этого времени стрѣлка снова возвращается къ востоку. Стрѣлку склоненія можно рассматри-



вать, какъ родъ маятника, который совершаетъ чрезвычайно медленные колебанія съ востока на западъ и обратно. Въ Копенгагенѣ стрѣлкѣ понадобилось около 148 лѣтъ, чтобы перейти отъ сѣвернаго положенія къ крайнему западному. Но годовое измѣненіе въ различныя времена было различно; въ настоящее время оно составляетъ для Копенгагена 5'. Поэтому нельзя сказать, понадобится ли стрѣлкѣ для возвращенія къ сѣверному положенію столько же времени. Вѣроятно для совершенія полного колебанія стрѣлкѣ потребуется около 600 лѣтъ.

241. Чтобы получить распределение положений стрѣлки наклоненія въ разныхъ мѣстахъ земной поверхности, на картѣ соединили (по предложенію Вильке, § 228) тѣ точки, въ которыхъ наклоненіе одно и то же. Такимъ образомъ получаютъ такъ называемыя изоклиническія линіи или изоклины. Какъ показываетъ рис. 190,

Рис. 189

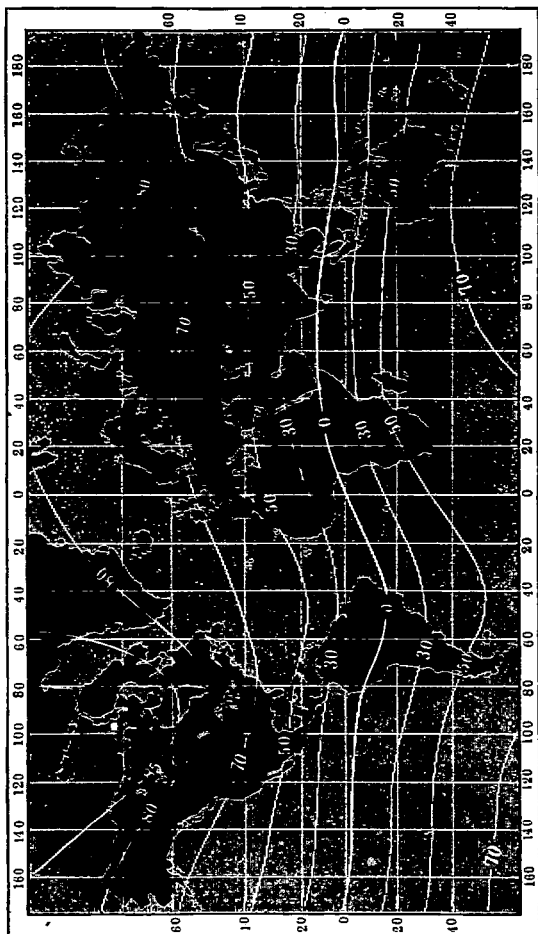


Карта склоненій Ганстена для 1800 года.

онѣ идутъ гораздо правильнѣе изогонѣ, хотя онѣ далеко не представляютъ собою параллельныхъ круговъ, какъ думалъ Гильбертъ. Чѣмъ ближе къ магнитнымъ полюсамъ, тѣмъ неправильнѣе форма изоклинѣ. Линія, обозначенная на рисункѣ 0,

представляет магнитный экваторъ, т. е. ту линію, на которой стрѣлка наклоненія устанавливается горизонтально. Къ сѣверу отъ этой линіи направленъ внизъ сѣверный полюсъ стрѣлки, а къ югу отъ нея южный. Магнитный экваторъ лежитъ частью къ сѣверу, а частью къ югу отъ географическаго экватора и пересѣкаетъ географи-

Рис. 190



Карта наклоненій для 1860 года.

ческой въ Гвинейскомъ заливѣ; затѣмъ онъ проходитъ къ сѣверу отъ послѣдняго приблизительно до середины Тихаго океана, гдѣ снова переходитъ на югъ отъ географическаго экватора.

Въ 1893 году наклоненіе въ Копенгагенѣ составляло $68^{\circ} 50'$, въ сѣверной Ютландіи $70\frac{1}{2}^{\circ}$, въ южной $68\frac{1}{2}^{\circ}$.

Какъ и склоненіе, наклоненіе измѣняется съ теченіемъ времени. Эти измѣненія происходятъ въ періоды такой же длины, какъ и измѣненія склоненія, но они гораздо меньше послѣднихъ. Измѣреніе наклоненія представляетъ гораздо большія

трудности, чѣмъ измѣреніе склоненія. Подвѣиваніе и намагничиваніе стрѣлки наклоненій должны быть сдѣланы чрезвычайно тщательно для того, чтобы измѣренія вышли сколько-нибудь вѣрными. Для полученія точной величины наклоненія необходимо произвести цѣлый рядъ опредѣленій, о которыхъ мы не можемъ говорить здѣсь подробно. Эти трудности объясняютъ, почему изъ прошлаго у насъ имѣется гораздо меньше свѣдѣній о наклоненіи, чѣмъ о склоненіи. Въ Лондонѣ наклоненіе возростало приблизительно до 1720 года. Въ этомъ году его величина составляла $74^{\circ} 42'$. Съ тѣхъ поръ оно непрерывно уменьшается; въ 1879 году оно было равно $67^{\circ} 42'$.

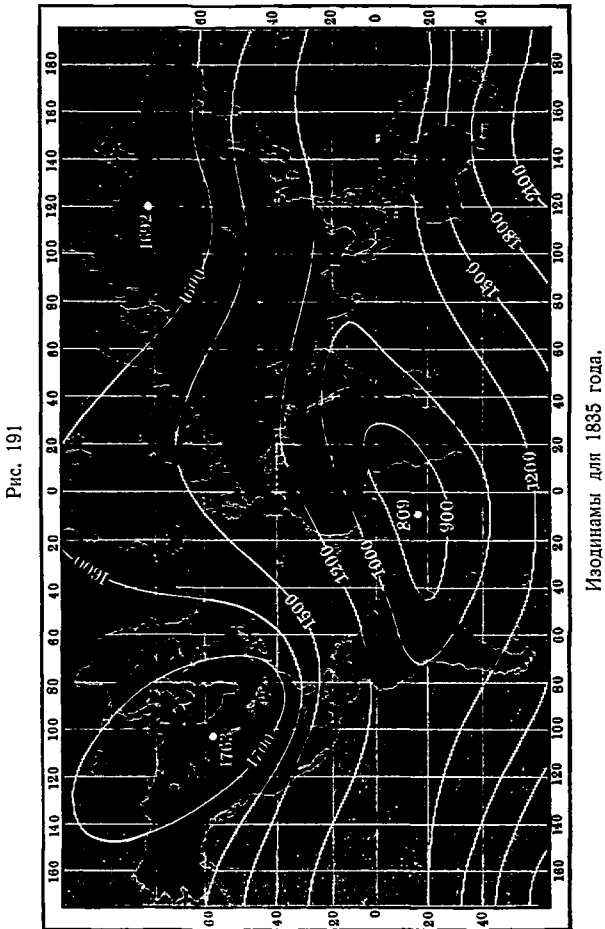
Въ Даніи наклоненіе уменьшалось все время, за которое имѣются вѣрныя свѣдѣнія. Въ 1820 году оно было равно $70^{\circ} 37'$, а въ 1892 всего только $68^{\circ} 50' 1)$. Съ тѣхъ поръ наклоненіе не измѣнилось замѣтнымъ образомъ, такъ что принимаютъ, что оно уже достигло своей наименьшей величины.

242. До Ганстена интересовались главнымъ образомъ только измѣреніемъ склоненій, такъ какъ оно имѣетъ большое практическое значеніе. Но Ганстенъ собиралъ матеріалъ не только для картъ наклоненія,—онъ придавалъ большое значеніе опредѣленіямъ силы земного магнетизма для различныхъ мѣстъ. Онъ понималъ, что сила или напряженіе земного магнетизма представляетъ такой же важный элементъ магнитнаго состоянія земли, какъ и направленіе магнитной стрѣлки. На это обращалъ вниманіе еще Борда (1733—1799) и отдѣльныя измѣренія дѣлались еще во второй половинѣ XVIII вѣка. Но лишь наблюденія Александра фонъ-Гумбольдта, произведенныя имъ во время путешествія по Америкѣ (въ 1798—1804 годахъ), поставили эти вопросы на очередь въ ученыхъ кругахъ. Гумбольдтъ опредѣлялъ напряженіе земного магнетизма, согласно указашю Борда, при помощи колебашій магнитной стрѣлки. Здѣсь не мѣсто для подробнаго изложенія того, какъ производятся эти опыты, трудные во многихъ отношеніяхъ. Но легко видѣть, что магнитную силу земли можно измѣрить при помощи колебаній магнита тѣмъ же способомъ, какимъ измѣряется притягательная сила земли при помощи колебаній маятника. Для опредѣленія полной магнитной силы земли Гумбольдтъ заставлялъ колебаться стрѣлку наклоненія въ магнитномъ меридіанѣ. Если же онъ хотѣлъ опредѣлить только горизонтальную слагающую этой магнитной силы, что значительно легче, то онъ заставлялъ качаться стрѣлку склоненія, сосчитывая колебанія, которыя она совершала въ опредѣленное время.

Гумбольдтъ нашелъ, что въ Перу магнитная сила земли была меньше всего на магнитномъ экваторѣ. Она возрастала и къ сѣверу и къ югу. Изъ этого наблюденія Гумбольдтъ сдѣлалъ выводъ, что магнитная сила возрастаетъ по направленію отъ магнитнаго экватора къ магнитнымъ полюсамъ и здѣсь достигаетъ наибольшей величины. Однако, позднѣе онъ самъ убѣдился въ томъ, что онъ ошибался. До Гумбольдта былъ общераспространенъ взглядъ, что сила земного магнетизма одна и та же повсюду на землѣ. Гумбольдтъ нашелъ, что это не такъ, и первыя наблюденія повидимому указывали на простую связь между силой земного магнетизма и изоклинами. Но когда нападаешь на слѣдъ какого-нибудь закона природы, то, какъ пишетъ самъ Гумбольдтъ, взгляды, складывающіеся вначалѣ, въ большинствѣ случаевъ позднѣе нуждаются въ поправкахъ.

1) Лучи сѣверныхъ сіяшій, какъ мы увидимъ ниже, сходятся въ той точкѣ неба, на которую указываетъ южный полюсъ стрѣлки наклоненія. На основаніи рисунковъ Тихо Браге было вычислено, что наклоненіе на островѣ Гвенѣ въ 1584 году составляло $72^{\circ} 25'$.

Первая сколько-нибудь точная карта величинъ силы земного магнетизма въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности была опубликована въ 1826 году Ганстеномъ. Линіи, соединяющія тѣ мѣста, въ которыхъ напряженіе земного магнетизма имѣть одну и ту же величину, называются изодинамическими линіями или изодинамами. Предположеніе Гумбольдта, что сила земного магнетизма возрастаетъ по направлешию отъ экватора къ полюсамъ, въ общемъ справедливо, но эта сила достигаетъ наибольшей величины не на самыхъ полюсахъ.



Рисунокъ 191 даетъ распределешию изодинамъ для 1835 года. Въ сѣверномъ полушаріи вблизи магнитнаго полюса находится точка, въ которой сила земного магнетизма больше, чѣмъ въ окружающихъ мѣстахъ (эта точка обозначена числомъ 1763). Второй максимумъ сѣвернаго полушарія лежитъ въ сѣверной Азіи (1692). Въ этомъ мѣстѣ сила нѣсколько меньше, чѣмъ въ первомъ. Какъ видно изъ рисунка, изоди-

намы расположены неправильно и между ними есть даже замкнутыя кривыя. Числа при нихъ указываютъ величины магнитной силы въ соответственныхъ мѣстахъ, выраженные произвольно выбранной единицей. Въ южномъ полушаріи максимумъ силы находится на большомъ разстояніи отъ магнитнаго полюса. Впрочемъ, точность опредѣленія максимальныхъ пунктовъ здѣсь еще очень сомнительна. Между Африкой и Южной Америкой находится точка минимума. Она обозначена на картѣ числомъ 809.

243. Среди тѣхъ, кого работы Гаусгена направили на изслѣдованіе земного магнетизма, на первомъ мѣстѣ нужно поставить великаго математика и астронома Карла Фридриха Гаусса. Онъ родился въ бѣдной семьѣ въ Брауншвейгѣ въ 1777 году, посѣщалъ гимназію своего родного города и затѣмъ поступилъ въ Гёттингенскій университетъ. Еще будучи студентомъ, онъ обратилъ на себя вниманіе статью о построеніи нѣкоторыхъ правильныхъ многоугольниковъ, напримѣръ, семнадцатиугольника, а въ возрастѣ 25 лѣтъ онъ опубликовалъ свое знаменитое вычисленіе орбиты планеты Цереры (I, § 313). Эта работа, которая и теперь еще представляетъ основу теоретической астрономіи, вышла въ 1809 году, слѣдовательно, 200 лѣтъ спустя послѣ появленія знаменитой *Astronomia nova* Кеплера, въ дополненномъ видѣ подъ названіемъ „Теорія движенія небесныхъ тѣлъ“. И подобно тому, какъ Кеплеръ въ предисловіи къ своему труду могъ говорить, что превосходному полководцу Тихо удалось проникнуть военныя хитрости Марса и дать матеріалъ для вычисленія планетныхъ орбитъ, такъ Гауссъ могъ писать, что ему удалось справиться съ орбитами кометы: „Благодаря новымъ побѣдамъ, одержаннымъ при помощи Ньютонова закона притяженія, удалось, наконецъ, обуздать кометы, которыя долгое время блуждали, казалось, не подчиняясь никакому закону, и которыя постоянно оказывались бунтовщицами, когда ихъ считали уже побѣжденными; теперь онѣ уже болѣе не враги, а дружественныя гости“.

Въ области математики Гауссъ прокладывалъ новые пути въ различныхъ направленіяхъ. Мы упомянемъ здѣсь только изобрѣтеніе способа наименьшихъ квадратовъ, который находитъ широкое примѣненіе въ исчисленіи вѣроятностей, напримѣръ, въ томъ случаѣ, когда изъ ряда добытыхъ опытомъ результатовъ, неизбѣжно содержащихъ ошибки наблюденій, желаютъ вывести возможно точное среднее значеніе.

Какъ и Ньютонъ, Гауссъ имѣлъ обыкновение подолгу не публиковать своихъ работъ, изъ-за чего нерѣдко долженъ былъ уступать другимъ честь перваго рѣшенія важныхъ математическихъ задачъ.

Послѣ того какъ Гауссъ окончилъ университетъ, герцогъ Брауншвейгскій, который оказывалъ ему поддержку въ видѣ стипендіи во время прохожденія университетскаго курса, назначилъ ему содержаніе по 400 талеровъ въ годъ; это содержаніе было повышено до 650 талеровъ, послѣ того какъ Гауссъ отклонилъ пред-



Гауссъ и Веберъ.

Рис. 192

ложепіе занять должность директора Петербургской обсерваторіи. Съ 1807 года онъ былъ профессоромъ и директоромъ обсерваторіи въ Гёттингенѣ. Отклонилъ онъ также и приглашеніе въ Берлинъ. Гауссъ вообще неохотно покидалъ Гёттингенъ, даже если дѣло шло о маленькомъ путешествіи. Однако, его удалось убѣдить принять участіе въ създѣ естествоиспытателей въ Берлинѣ въ 1828 году. Здѣсь онъ познакомился съ Вильгельмомъ Эдуардомъ Веберомъ, который въ то время былъ профессоромъ въ Галле. Дружба, связавшая при этомъ случаѣ этихъ двухъ людей, повела къ тому, что три года спустя Веберъ былъ приглашенъ въ Гёттингенъ.

Веберъ былъ родомъ изъ Виттенберга, гдѣ его отецъ былъ профессоромъ богословія. Уже въ возрастѣ 21 года (въ 1825 году) онъ, совмѣстно со своимъ братомъ Эрнестомъ Генрихомъ, опубликовалъ „Ученіе о волнахъ на основаніи опытовъ“. Позднѣе мы встрѣтимъ его имя въ ученіи объ электричествѣ. Здѣсь нужно упомянуть только о его дѣятельности въ области магнетизма.

Гауссъ занимался изслѣдованіями по земному магнетизму еще до того, какъ Веберъ переѣхалъ въ Гёттингенъ; онъ предложилъ послѣднему принять участіе въ этихъ работахъ. До этого Веберъ работалъ преимущественно въ области ученія о волнахъ и ученія о звукѣ. Не подлежитъ сомнѣнію, что Гауссъ получалъ отъ Вебера цѣнныя указанія при своихъ физико-математическихъ изслѣдованіяхъ, а что касается изслѣдованій о земномъ магнетизмѣ, то здѣсь большое значеніе имѣло вліяніе Александра фонъ-Гумбольдта.

244. Александръ фонъ-Гумбольдтъ былъ однимъ изъ наиболѣе выдающихся ученыхъ, которые въ началѣ XIX вѣка дали сильный толчокъ къ новому всестороннему и глубокому научному изслѣдованію и идеаломъ которыхъ являлось общество, гдѣ руководящую роль должны играть дѣйствительно образованные люди. Александръ фонъ-Гумбольдтъ и его братья, языковѣдъ и государственный дѣятель Вильгельмъ фонъ-Гумбольдтъ, въ первой половинѣ XIX вѣка занимали въ германской умственной жизни положеніе, подобное тому, какое въ датской занимали братья Эрстеды. Каждый изъ нихъ былъ самостоятеленъ въ своей области, но онъ не былъ невѣждой и въ другихъ областяхъ. Они интересовались всѣми сторонами духовной жизни. Это не были односторонніе ученые специалисты—это были люди всесторонне образованные, для которыхъ ни одна область духовной жизни не оставалась незнакомой. Они вѣрили въ единство всей человѣческой духовной дѣятельности. Только даръ проникновенія можетъ дать духовно-самостоятельнымъ людямъ вѣру, теперь не очень распространенную, въ великую міровую гармонию. Многие, конечно, могутъ быть поверхностно увлечены такимъ міровоззрѣніемъ, но только немногіе въ состояніи удержатъ его навсегда. Для этого нужна наполненная работой жизнь въ дѣйствительномъ мірѣ, а искусство понимать духовное величіе міра и въ то же время неизмѣнно и терпѣливо работать надъ кропотливыми мелочами встрѣчается рѣдко. Но этой способностью обладали оба Гумбольдта и оба Эрстеды. И потому именамъ этихъ братьевъ навсегда принадлежитъ почетное мѣсто въ исторіи наукъ.

Александръ фонъ-Гумбольдтъ родился въ 1769 году въ Берлинѣ. Вмѣстѣ съ братомъ Вильгельмомъ онъ подготовлялся къ научнымъ занятіямъ дома, а съ 1787 года онъ посвятилъ себя изученію естественныхъ наукъ, математическихъ, государственныхъ и лингвистическихъ во Франкфуртѣ-на-Одерѣ, въ Берлинѣ, въ Гёттингенѣ и въ Фрейбергѣ. Въ 1792 году онъ получилъ мѣсто въ горномъ департа-

ментъ, а вскорѣ затѣмъ и мѣсто старшаго горнаго инженера во Франконіи. Въ 1797 году Гумбольдтъ вышелъ въ отставку, чтобы предпринять большое путешествіе для изслѣдованія Южной Америки. Въмѣстѣ съ французскимъ ботаникомъ Бонпланомъ (1773—1858) онъ получилъ отъ испанскаго правительства разрѣшеніе разѣзжать по испанскимъ владѣніямъ въ Америкѣ. Это путешествіе продолжалось пять лѣтъ, а отчетъ о немъ выходилъ въ Парижѣ съ 1807 до 1827 года. Этотъ отчетъ

Рис. 193



Александръ фонъ-Гумбольдтъ.

состоитъ изъ 30 томовъ и содержитъ 1425 гравюръ на мѣди. Первая нѣсколько лѣтъ по возвращеніи Гумбольдтъ провелъ въ Берлинѣ, затѣмъ переѣхалъ въ Парижъ, чтобы руководить изданіемъ описанія своего путешествія, а въ 1827 году снова вернулся въ Берлинъ. Въ 1829 году онъ принялъ участіе въ экспедиціи для изслѣдованія сѣверной Азіи, которая была предпринята по порученію русскаго императора Эренбахомъ и Розе.

Прежде всего Гумбольдтъ хотѣлъ поднять въ общественномъ мнѣніи значеніе естествознанія. Онъ хотѣлъ связать изслѣдованіе природы съ общимъ духовнымъ развитіемъ человѣчества; подъ старость онъ попытался подвести итоги тому, чего онъ достигъ въ этомъ направленіи, въ своемъ большомъ трудѣ „Космосъ“. Въ предисловіи

къ этому труду, переведенному на всѣ главные языки, Гумбольдтъ говоритъ: „Когда внѣшнія условія жизни и непреодолимое стремленіе къ разнообразнымъ знаніямъ побуждали меня въ теченіе многихъ лѣтъ заниматься повидимому исключительно, для подготовки къ большому путешествію, отдѣльными дисциплинами, изучать описательную ботанику, географію, химію, астрономическое опредѣленіе мѣстъ и земной магнетизмъ, то все же настоящая цѣль этого обученія была болѣе высокой. Главнымъ побужденіемъ являлось стремленіе охватить явленія тѣлесныхъ вещей въ одной общей связи, понять природу, какъ нѣчто цѣлое, движимое и оживляемое внутренними силами. Благодаря знакомству съ высокоодаренными людьми, я рано пришелъ къ взгляду, что безъ серьезнаго стремленія къ познанію частныхъ всякое широкое и обобщающее міровоззрѣніе можетъ быть только призракомъ. Но въ естествознаніи и отдѣльныхъ части, по своей внутренней сущности, способны оплодотворять другъ друга какъ бы благодаря какой-то силѣ приспособленія. Описательная ботаника, не заключенная въ узкой кругъ опредѣленія родовъ и видовъ, ведетъ наблюдателя, странствующаго по далекимъ странамъ и по высокимъ горамъ, къ ученію о географическомъ распредѣленіи растений на землѣ въ соотвѣтствіи съ разстояніемъ отъ экватора и съ высотой мѣста. А для того чтобы, въ свою очередь, выяснить запутанныя причины этого распредѣленія, нужно разобрать законы температурныхъ различій климатовъ и метеорологическихъ процессовъ атмосферы. Такъ каждый классъ явленийъ ведетъ любознательнаго наблюдателя къ другому классу, который лежитъ въ основѣ перваго или зависитъ отъ него“.

Гумбольдтъ хотѣлъ охватить въ своемъ трудѣ все знаніе о небесныхъ и земныхъ явленіяхъ. Его трудъ долженъ былъ дать физическое описаніе не только земли, но и всей вселенной.

Гумбольдта называли Аристотелемъ своего времени, и не безъ основанія, такъ какъ въ его „Космосѣ“ обнаруживается необычайный даръ собирать отдѣльныя явленія и составлять изъ нихъ одно стройное цѣлое.

О дѣятельности Гумбольдта въ области метеорологіи и климатологіи будетъ сказано ниже. Его возвышенный взглядъ на задачи изслѣдованія природы будетъ оказывать плодотворное вліяніе во всѣ времена. Его вліяніе было не только многостороннимъ, оно будетъ и продолжительнымъ. Гумбольдтъ умеръ въ 1859 году 90 лѣтъ отъ роду.

245. Въ области физическихъ явленій Гумбольдтъ особенно интересовался магнитными и метеорологическими. Соотношенія земного магнетизма указываютъ на то, что между различными частями воспринимаемой чувствами природы существуетъ связь, которая позволеть предполагать, что предметы, далекіе въ міровомъ пространствѣ другъ отъ друга, принадлежать одному цѣлому. Ньютоновъ законъ притяженія соединяетъ неразрывной связью всѣ тѣла, обмѣнъ свѣта и тепла происходитъ на разстояніи милліоновъ миль и явленія земного магнетизма даютъ дальнѣйшее доказательство связи между далекими другъ отъ друга міровыми тѣлами. Это вѣроятно и способствовало увеличенію интереса Гумбольдта къ этимъ явленіямъ и, какъ было уже упомянуто, онъ побудилъ Гаусса и Вебера заняться магнитными изслѣдованіями, такъ какъ понималъ, что изученіе подробностей можетъ дать возможность выработать и общій взглядъ на эти явленія.

Гауссъ основательно разработалъ математическую сторону вопроса о взаимно-

дѣйстви магнитовъ. Плодомъ его продолжительныхъ занятій магнитными изслѣдованіями былъ знаменитый трудъ „Обиія предложенія относительно притягательныхъ и отталкивательныхъ силъ, дѣйствующихъ обратно пропорціонально квадрату разстоянія“.

Для измѣренія магнитныхъ величинъ Гауссъ построилъ соотвѣтственные приборы. Вмѣстѣ съ Веберомъ и Гумбольдтомъ ему удалось основать „магнитный кружокъ“, работавшій по заранѣ составленному плану. Такимъ образомъ было собрано много результатовъ наблюденій, произведенныхъ въ различныхъ мѣстахъ въ одно и то же время.— По возвращеніи изъ азіатскаго путешествія Гумбольдтъ побудилъ Петербургскую Академію наукъ устроить по всему государству магнитныя и метеорологическія станціи, а въ самой столицѣ центральную станцію. Такимъ образомъ, „магнитный кружокъ“ располагалъ большимъ числомъ станцій во всѣхъ странахъ Европы. Семь разъ въ году на этихъ станціяхъ измѣрялись магнитныя величины. Полученный матеріалъ обрабатывался и публиковался Гауссомъ и Веберомъ.

Веберъ былъ въ числѣ семи извѣстныхъ Гёттингенскихъ профессоровъ, уволенныхъ въ отставку въ 1837 году за то, что они не признали реакціонной конституціи, введенной новымъ регентомъ. Однако, Веберъ оставался въ Гёттингенѣ до 1843 года, чтобы вмѣстѣ съ Гауссомъ продолжать магнитныя наблюденія и обрабатывать ихъ результаты. Отъ 1843 до 1847 года Веберъ былъ профессоромъ въ Лейпцигѣ. Въ послѣднемъ году онъ былъ снова приглашенъ въ Гёттингенъ. Гауссъ умеръ въ 1855 году, а Веберъ въ 1891 году.

246. Нужно помнить, что для объясненія особенностей распредѣленія земного магнетизма Ганстенъ долженъ былъ обратиться къ допущенію Галлея относительно четырехъ магнитныхъ полюсовъ. Тѣмъ не менѣе, ему не удалось достичь согласованія фактовъ съ теоріей. Поэтому Гауссъ отбросилъ предположеніе о существованіи одной или нѣсколькихъ магнитныхъ осей въ землѣ. Онъ исходилъ скорѣе изъ ясно высказанной гипотезы Гильберта, что земля есть большой магнитъ. Это нужно понимать, однако, въ томъ смыслѣ, что земля есть большой магнитъ потому, что въ ней и на ней находится огромное число малыхъ магнитовъ. Совокупность дѣйствій этой массы отдѣльныхъ магнитовъ и составляетъ земной магнетизмъ. Другими словами, Гауссъ исходилъ изъ того факта, что на землѣ и въ землѣ находятся магнитныя частицы, изъ которыхъ каждая содержитъ равное количество сѣвернаго и южнаго магнетизма. А такъ какъ магнитная сила дѣйствуетъ на разстояніе и подчиняется общему закону дѣйствій на разстояніе, то отдѣльные магниты должны быть всюду и должны въ любомъ мѣстѣ дѣйствовать совмѣстно, какъ одинъ большой магнитъ (ср. § 216).

Гауссъ вывелъ математическую формулу, при помощи которой опредѣлялась величина и направленіе магнитной силы для каждаго мѣста земной поверхности.— Само собою разумѣется, формула Гаусса ничего не говоритъ о сущности земного магнетизма и о его отношеніи къ другимъ силамъ природы, какъ и Ньютоновъ законъ притяженія ничего не говоритъ о причинѣ притягательной силы. Гауссъ искалъ и нашелъ только выраженіе дѣйствительныхъ соотношеній. Къ вопросу о сущности земного магнетизма мы вернемся ниже (въ отдѣлѣ объ электричествахъ).

247. Открытыя Грэмомъ суточные колебанія, равно какъ и другія периодическія колебанія земного магнетизма точно наблюдались на многочисленныхъ обсер-

ваторіяхъ. Въ сѣверномъ полушаріи стрѣлка склоненій между 7 и 8 часами утра достигаетъ самаго восточнаго своего положенія, а между 1 и 2 часами пополудни: самаго западнаго. Въ южномъ полушаріи движеніе стрѣлки обратное. Суточные колебанія, наименьшія въ экваторіальныхъ странахъ, наибольшія у полюсовъ, измѣняются также и по временамъ года, т. е. соотвѣтственно положенію на небѣ солнца. Вліяніе солнца на земной магнитизмъ ясно проявляется также черезъ посредство солнечныхъ пятенъ. Іоганнъ Ламонтъ (1805—1879), директоръ Мюнхенской обсерваторіи: въ 1851 году обратилъ вниманіе на то, что измѣненіе склоненія происходитъ періодически—съ періодомъ приблизительно въ $10\frac{1}{2}$ лѣтъ, а въ 1852 году Р. Вольфъ (1816—1893) въ Цюрихѣ показалъ, что этотъ періодъ земнаго магнитизма совпадаетъ съ періодомъ солнечныхъ пятенъ. Въ годы съ большимъ количествомъ пятенъ магнитная стрѣлка безпокойна и колеблется больше, чѣмъ въ годы съ малымъ числомъ пятенъ.

Что вліяніе солнца на земной магнитизмъ не есть простое тепловое дѣйствіе, можно, по мнѣнію нѣкоторыхъ, заключить изъ того, что на магнитную стрѣлку вліяетъ также положеніе луны и другихъ небесныхъ тѣлъ.

Что касается движенія стрѣлки наклоненій, то наибольшимъ наклоненіе бываетъ въ 11 часовъ утра, а наименьшимъ въ 8 часовъ вечера. Соотвѣтственно, горизонтальная слагающая земнаго магнитизма достигаетъ минимума въ 11 часовъ и максимума въ 8 часовъ.

Измѣненія склоненія, наклоненія и горизонтальной магнитной силы лѣтомъ бываютъ больше, чѣмъ зимою.

248. Не слѣдуетъ, однако, думать, что эти суточные колебанія очень правильны и что ихъ легко наблюдать. Вѣрнѣе будетъ сказать, что магнитная стрѣлка никогда не бываетъ въ покоѣ. Почти всегда можно наблюдать неправильныя магнитныя возмущенія. Когда они отличаются особой силой, ихъ называютъ магнитными бурями.

Причиною такой бури можетъ быть солнечное пятно. Такого рода буря, наблюдавшаяся какъ въ Старомъ, такъ и въ Новомъ Свѣтѣ, имѣла мѣсто 13—14 февраля 1892 года. Она началась, когда видимое простымъ глазомъ солнечное пятно проходило черезъ середину солнечнаго диска. Въ Копенгагенѣ магнитная стрѣлка отклонилась на $1^{\circ} 20'$. Горизонтальная слагающая во время этой бури увеличилась, но затѣмъ быстро уменьшилась. Въ сѣверной Норвегіи, гдѣ также наблюдалась эта магнитная буря, стрѣлка отклонилась на 12° и повсюду на землѣ въ электрическихъ проводахъ наблюдались токи, мѣшавшіе работѣ телеграфа.

Сѣверныя сіянія и землетрясенія также сильно дѣйствуютъ на магнитную стрѣлку. Такъ, напримѣръ, одно землетрясеніе въ Греціи сопровождалось колебаніями магнитной стрѣлки по всей западной Европѣ.

Въ высшей степени важно слѣдить за этими магнитными бурями. Полное наблюденіе ихъ можно производить только при помощи самопишущихъ приборовъ, на которыхъ колебанія стрѣлки автоматически записываются лучемъ свѣта, дѣйствующимъ на свѣточувствительную бумагу.

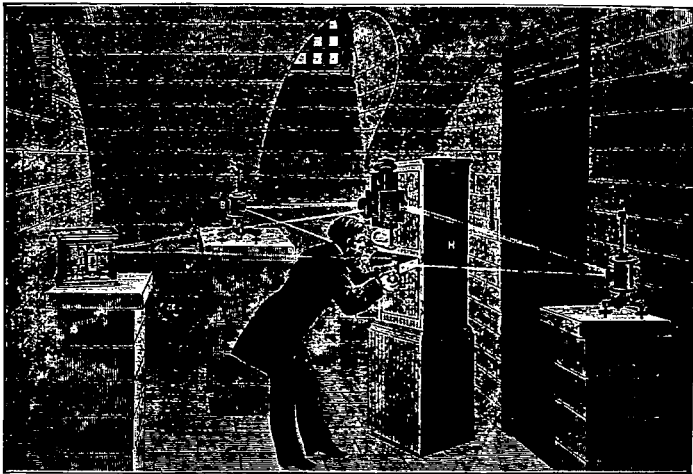
Со стрѣлкой склоненій, подвѣшенной на шелковой нити, соединено зеркало, которое колеблется вмѣстѣ съ стрѣлкою. Лучъ свѣта, который отбрасывается на зеркало при помощи линзы, отражается послѣднимъ и попадаетъ на кусокъ свѣточувствительной бумаги, наведенной на валъ, приводимый въ равномерное вращеніе посредствомъ часоваго механизма. Такимъ образомъ свѣтовой лучъ производитъ на

бумагъ волнообразную линию соотвѣтственно колебаніямъ стрѣлки. Подобнымъ же образомъ можно регистрировать и колебанія стрѣлки наклоненій. Въ этомъ случаѣ зеркало должно колебаться вмѣстѣ со стрѣлкой наклоненій. При помощи небольшого груза стрѣлку наклоненій устанавливають въ горизонтальномъ положеніи. Если вертикальная слагающая магнитной силы увеличивается, то сѣверный конецъ стрѣлки наклоняется нѣсколько внизъ, если же она уменьшается, то сѣверный конецъ стрѣлки нѣсколько подымается вверхъ: тѣ же движенія дѣлаетъ и зеркало.

Измѣреніе горизонтальной слагающей магнитной силы производится при помощи стрѣлки склоненій, подвѣшенной на двухъ нитяхъ (двунитный или бифилярный подвѣсъ). Стрѣлку устанавливають въ магнитномъ меридіанѣ такъ, чтобы нити совершенно не были закручены. Вращеніемъ головки прибора стрѣлку заставляютъ стать перпендикулярно къ магнитному меридіану.

При измѣненіи горизонтальной слагающей магнитной силы подвѣшенная такимъ образомъ магнитная стрѣлка очевидно будетъ поворачиваться, притомъ такъ, что

Рис. 194

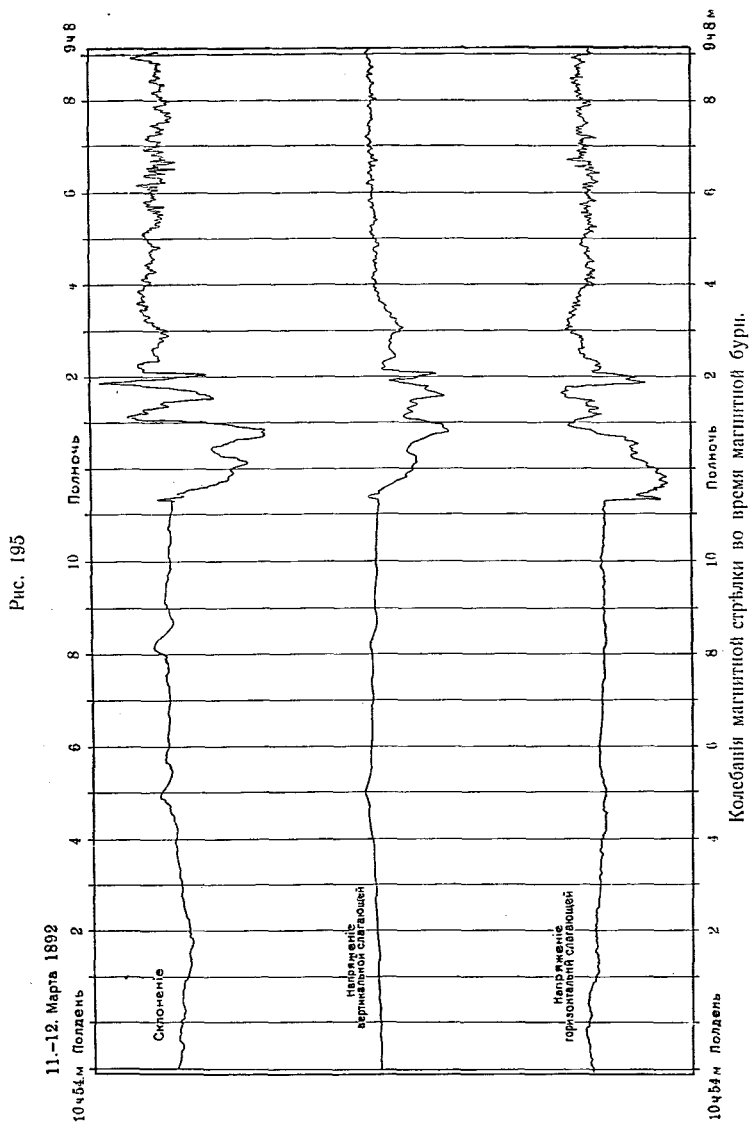


Самопинущіе приборы для наблюденій надъ земнымъ магнетизмомъ.

при увеличеніи магнитной силы сѣверный полюсъ стрѣлки будетъ слегка возвращаться къ первоначальному положенію, при уменьшеніи же ея стрѣлка будетъ закручиваться еще больше.

Рис. 194 показываетъ, какъ устанавливаются самопинущіе приборы. Для защиты отъ сотрясеній и измѣненій температуры ихъ помѣщаютъ въ погребѣ. Въ ящикѣ *H* находится часовой механизмъ, вращающій валъ со свѣточувствительной бумагой. Лампа *L* посылаетъ лучи къ прибору *D* для опредѣленія склоненія (деклинаторъ), къ прибору для наклоненія *C* (инклинаторъ) и къ прибору *B* для опредѣленія горизонтальной слагающей земного магнетизма. Зеркала этихъ трехъ приборовъ отражаютъ каждый по свѣтовому лучу на свѣточувствительную бумагу, на которой эти лучи зачерчиваютъ колебанія соотвѣтственныхъ стрѣлокъ. На рис. 195 предста-

влены кривыя, вычерченныя приборами магнитной обсерваторіи въ Копенгагенѣ во время магнитной бури 11 и 12 марта 1892 года. Эти рисунки вполнѣ понятны. Если бы стрѣлки оставались въ покоѣ, то вычерчивались бы прямыя лініи. Такимъ обра-



зомъ, отступленія отъ прямой лініи указываютъ движенія стрѣлокъ. Вертикальная составляющая земного магнетизма наблюдается на инклинаторѣ, а горизонтальная составляющая на магнитной стрѣлкѣ, подвѣшенной на двухъ нитяхъ.

249. Самые ранние европейские судовые компасы состояли из магнитной стрелки, укрепленной на куске пробки, которая плавала в чашке с водой (ср. § 193, рис. 156). Но уже во времена Гильберта компас имел современное устройство. Рис. 196 представляет изображение компаса из книги Гильберта „De Magnete“. Самой магнитной стрелки не видно, она прикреплена к нижней стороне легкого кружка, на верхней стороне которого указаны страны света. Теперь общепринято указывать место северного полюса геральдическим изображением лилии, которая, как известно, представляла герб французских королей. Этот обычай ввел Флавио Джойа (§ 197), желавший почтить изображением лилии властителя Неаполя, происходившего из французского графского рода.

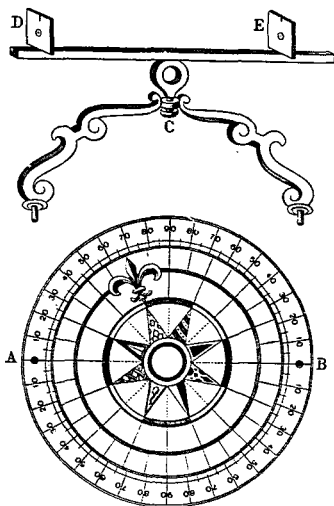
Моряки называют этот компасный кружок картушкой или розой ветров. Она состоит из восьмиконечной звезды, концы которой указывают север, северо-восток, восток, юго-восток, юг, юго-запад, запад и северо-запад. На круг, описанный вокруг восьмиконечной звезды, указаны направления между севером и северо-востоком, северо-востоком и востоком и т. д. Эти направления называют северосеверо-востоком, востокосеверо-востоком, востокоюго-востоком, югоюго-востоком и т. д. За кругом, разделенным на 16 частей, следует круг, который делят на 32 части (румбы). Известно, кто ввел это деление, но известно, что оно было в употреблении в Голландии с конца XV века. Теперь оно принято везде.

Компас Гильберта, кроме того, был снабжен визиром, который при помощи двух шипов насаживался на круг, охватывавший картушку, но не связанный с нею. На этом круге были сделаны обыкновенные круговые деления (разделенный компас), счет которых начинался от отверстий *A* и *B* для шипов.

Как и стрелка рисунка 155, магнитная стрелка компаса висит на острие и может свободно вращаться в горизонтальной плоскости. Она устанавливается в магнитном меридиане и лилия картушки указывает север. Направив затем визирь на какой-нибудь другой предмет, можно отсчитать на картушке, на какой угол от направления севра-юга отклонена линия визирования.

На рис. 197 изображена картушка в том виде, в каком ее делают теперь согласно указаниям знаменитого английского физика лорда Кельвина (Вильяма Томсона). Восемь тонких, но сильных магнитных стрелок лежат на тонких шелковых нитях, соединяющих края картушки с ее серединой, которою она помещается на поддерживающее ее острие. Рис. 198 показывает способ подвешивания картушки. *AB*— картушка, *CD*— магниты, поддерживаемые тонкими нитями.

Рис. 196

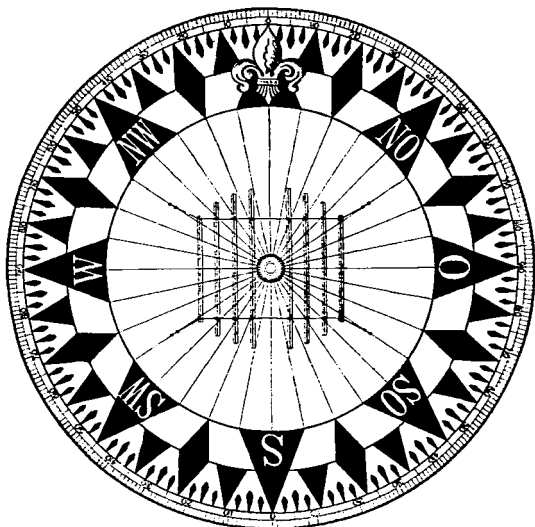


Компас Гильберта.

Закрытое пространство *E* содержит вязкую жидкость, а *F* представляет тяжелый грузъ. Все приспособленіе при помощи ниповъ *G* и *H* подвѣшивается на Кардановомъ подвѣсѣ (ср. I, § 129).

250. Для того чтобы пользоваться компасомъ, необходимо, разумѣется, знать склоненіе для данного мѣста, т. е. у мореплавателя должны быть вѣрныя карты

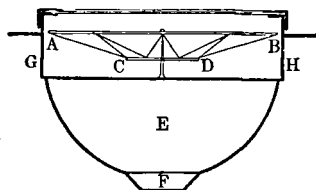
Рис. 197



Компасъ лорда Кельвина (В. Томсона).

склоненій. Но въ то же время онъ долженъ знать и то вліяніе, которое оказываютъ

Рис. 198



Подвѣсъ картушки компаса.

на компасную стрѣлку желѣзныя части корабля. Даже на деревянномъ суднѣ стрѣлка компаса можетъ уклоняться отъ магнитнаго меридіана. На желѣзныхъ судахъ вліяніе желѣза на магнитную стрѣлку, конечно, гораздо больше, чѣмъ на деревянномъ суднѣ, на которомъ бываетъ замѣтно вліяніе главнымъ образомъ желѣзныхъ цѣпей и якорей.

Магнитныя силы, вызываемыя желѣзомъ судна, частью обуславливаются тѣмъ, что судно представляетъ постоянный магнитъ съ опредѣленными полюсами, частью тѣмъ, что желѣзныя части судна намагничиваются земнымъ магнетизмомъ. Но полюсы, которые обуславливаются этими вліяніями, мѣняють свое положеніе въ зависимости отъ направленія корабля въ данный моментъ. Наконецъ, желѣзо судна дѣйствуетъ на стрѣлку компаса, какъ и всякое другое желѣзо.

Свой постоянный магнетизмъ судно приобретаетъ обыкновенно во время постройки. Въ это время отдѣльныя части судового корпуса довольно долго остаются въ одномъ и томъ же положеніи, а постоянныя встряхиванія при склепываніи отдѣль-

ныхъ частей усиливаютъ вліяніе земного магнетизма (ср. § 219). Мѣстонахожденіе полюсовъ, отвѣчающихъ постоянному магнетизму судна, конечно, зависитъ отъ того направленія, которое судно имѣло во время постройки. Сѣверный магнитный полюсъ образуется въ частяхъ, направленныхъ къ сѣверу, а южный магнитный полюсъ въ частяхъ, направленныхъ къ югу.

Когда компасъ помѣщаютъ на желѣзное судно, его стрѣлка даетъ вѣрныя показанія только при одномъ положеніи судна. Поэтому нужно стремиться уничтожить дѣйствіе судна на компасную стрѣлку; для этого вблизи ея помѣщаютъ магнитъ. Рѣдко удается достигнуть этого въ полной мѣрѣ и приходится постоянно провѣрять, не произошло ли измѣненій въ магнетизмъ судна или въ предохранительныхъ магнитахъ.

Если компасъ на суднѣ даетъ вѣрныя показанія при опредѣленномъ направленіи судна, то при поворотѣ судна онъ не можетъ оставаться вѣрнымъ даже въ томъ случаѣ, когда дѣйствіе постоянного магнетизма судна устранено: мягкое желѣзо судна различно намагничивается земнымъ магнетизмомъ при разныхъ положеніяхъ судна. Поэтому судовой компасъ долженъ быть снабженъ таблицей поправокъ къ показаніямъ стрѣлки соотвѣтственно тому направленію, которое имѣетъ судно. Чтобы получить такую таблицу судно заставляютъ дѣлать на рейдѣ полный поворотъ, въ то же время опредѣляя склоненіе стрѣлки для любого направленія.

Электричество

Открытія и свѣдѣнія до 1790 года

Эпоха до Гильберта

251. Въ древности янтарь игралъ очень важную роль у обитателей береговъ Балтійскаго и Сѣвернаго морей, такъ какъ онъ шелъ въ обмѣнъ за металлы, доставлявшіеся народами береговъ Средиземнаго моря.

Неизвѣстно, получили ли греки янтарь впервые отъ финикійскихъ мореплавателей или же онъ дошелъ къ нимъ по сухому пути. Во всякомъ случаѣ, мѣновая торговля вдоль по Одери и Вислѣ до Дуная и даже до По доставляла въ Грецію большое количество янтаря. Фалесъ Милетскій, вѣроятно, зналъ, что отъ тренія янтарь пріобрѣтаетъ свойство притягивать легкія тѣла, напримѣръ, солому. Быть можетъ, это наблюденіе, которое приписываютъ Фалесу, было сдѣлано совершенно случайно. Такъ какъ янтарь идетъ на украшенія, то, быть можетъ, при его обработкѣ или же во время натиранія готовыхъ издѣлій (бусъ), съ цѣлью придать имъ блескъ или подновить ихъ, и было замѣчено, что такія бусы, будучи натерты, притягиваютъ волосы, перья и пр.

Въ своемъ „Космосѣ“ Гумбольдтъ рассказываетъ, что дикари замѣтили и въ другихъ предметахъ то же явленіе, что и въ янтарѣ: „Не безъ изумленія замѣтилъ я на лѣсистыхъ берегахъ Ориноко во время игръ дѣтей дикарей, стоящихъ на самой низкой ступени, что имъ извѣстно полученіе электричества при помощи тренія. Мальчики терли сухія, плоскія и блестящія сѣмена одного ползучаго стручковаго растенія, пока тѣ не начинали притягивать волокна хлопчатой бумаги и бамбука“.

Въ другихъ тѣлахъ греки, повидимому, не замѣтили свойства электризоваться треніемъ, за однимъ исключеніемъ, быть можетъ. Именно, Теофрастъ (371 до Р. Х.), крупнѣйшій геологъ и ботаникъ древности, называетъ кромѣ янтаря еще одинъ камень, линкуріонъ, который послѣ натиранія пріобрѣтаетъ свойство притягивать. Какой именно камень онъ имѣлъ въ виду, неизвѣстно; вѣроятно, это былъ какой-нибудь драгоцѣнный камень, между которыми есть нѣсколько обладающихъ этой способностью. Аристотель также извѣстно притягательное дѣйствіе янтаря, но онъ замѣчаетъ, что оно значительно слабѣе притяженія магнита.

Какъ Фалесъ, такъ и Аристотель думали, впрочемъ, что притягательная сила янтаря обусловлена тѣмъ, что онъ есть одушевленный предметъ. Позднѣе былъ общепринятъ взглядъ, что эта удивительная притягательная сила вызывается теплотой, образующеюся при треніи.

Такъ же мало, какъ и греки, освѣтили эти явленія арабы. Впрочемъ, послѣдшіе называютъ еще одно вещество кромѣ янтаря, гагаты (твердый блестящій каменный уголь), обладающій свойствомъ послѣ натиранія притягивать легкія частицы соломы.

Не пошли дальше и изслѣдователи среднихъ вѣковъ. Правда, они часто говорятъ о притяженіи янтаря, составляющемъ предметъ удивленія, но это не давало

толчка къ дальнѣйшимъ изслѣдоваціямъ.—Нужно почти удивляться тому, что алхимики при своихъ разнообразныхъ работахъ надъ извѣстными тогда веществами не сдѣлали случайно открытія, что янтарь не единственное тѣло, которое отъ натирания пріобрѣтаетъ притягательную силу.

252. Только съ того времени, когда въ эпоху Возрожденія ученые снова обратились къ изученію древнихъ авторовъ, переданныя послѣдними отдѣльныя наблюденія дали плодотворныя указанія. Даже Аристотель пріобрѣлъ совершенно новое значеніе для естествознанія, когда начали изучать самые его труды, вмѣсто того, чтобы схоластически заниматься только комментаріями къ нему. Испанецъ Лудовико Вивесъ (1492—1540), другъ Эразма Роттердамскаго, подчеркиваетъ, что, обращаясь со своими вопросами только къ Аристотелю, а не къ самой природѣ, ученые дѣйствуютъ совершенно не въ духѣ Аристотеля, ибо дѣйствительнаго знанія природы достигаютъ не при помощи остроумныхъ гипотезъ и передачи расказней.

Но переходъ къ свободному изслѣдованію происходилъ медленно. Однако, въ концѣ концовъ ученые дошли до того, что стали строить дальше, исходя изъ свѣдѣній, накопленныхъ древними. И наблюденіе, что янтарь пріобрѣтаетъ при натираніи особую силу, образовало исходный пунктъ новыхъ изслѣдовацій.

253. Вильямъ Гильбертъ, съ которымъ мы уже познакомились въ другой области физики, какъ съ изслѣдователемъ, прокладывавшимъ новые пути (§ 204), задалъ себѣ вопросъ, нѣтъ ли какихъ-нибудь тѣлъ, помимо янтаря и гагата, которыя при натираніи пріобрѣтали бы такое же свойство, какъ и они. И надо поставить въ большую заслугу Гильберту, что на этотъ вопросъ, который, конечно, задавался раньше и другими, онъ отвѣтилъ опытами. При этихъ опытахъ выяснилось, что есть много другихъ веществъ, обладающихъ въ этомъ отношеніи свойствами янтаря. Между прочимъ Гильбертъ называетъ алмазъ, сафиръ, аметистъ, горный хрусталь, сѣру и смолу. Всѣ эти вещества, будучи натерты, пріобрѣтаютъ способность притягивать. Съ другой стороны онъ нашелъ, что многія тѣла при натираніи не пріобрѣтаютъ такой способности. Къ нимъ принадлежатъ, напримѣръ, смарагдъ, агатъ, жемчугъ, мраморъ, кости и всѣ металлы.

254. Гильбертъ далъ этой удивительной притягательной силѣ имя,—онъ назвалъ ее электрической силой, такъ какъ впервые она была замѣчена у янтаря, который по гречески называется „электронъ“. Отъ слова „электрическая сила“ впоследствии было образовано слово „электричество“. Самъ Гильбертъ не употреблялъ этого слова, но онъ называлъ тѣла электрическими и неэлектрическими соотвѣтственно тому, сообщаютъ ли имъ натираніе притягательную силу или нѣтъ.

Гильбертъ былъ искусный экспериментаторъ и внимательный наблюдатель. При своихъ опытахъ онъ очень скоро замѣтилъ, что всѣ тѣла безразлично, принадлежатъ ли они къ группѣ „электрическихъ“ или къ группѣ „неэлектрическихъ“, притягиваются наэлектризованнымъ тѣломъ, т. е. такимъ тѣломъ, которому натираніемъ сообщена способность притяженія. Онъ показалъ это слѣдующимъ образомъ. Палочки изъ различныхъ веществъ насаживались на острие, подобно стрѣлкѣ компаса, такъ что они могли свободно вращаться безъ замѣтнаго тренія. Когда къ такой палочкѣ приближали наэлектризованное тѣло, палочка притягивалась, независимо отъ того, изъ какого вещества она была сдѣлана. Затѣмъ Гильбертъ показалъ, что жидкости

также притягиваются наэлектризованнымъ тѣломъ, а воздухъ, пламя и раскаленная тѣла не притягиваются.

Однако, для того чтобы электрическіе опыты удавались, необходимо выполнение извѣстныхъ условій. Гильбертъ замѣтилъ, что электризація удается гораздо лучше въ ясные и сухіе солнечные дни, какіе бывають въ Лондонѣ при сѣверномъ и восточномъ вѣтрѣ, чѣмъ во влажномъ воздухѣ, когда дуетъ южный или западный вѣтеръ. Если наэлектризованное тѣло окружено влажнымъ воздухомъ, напримѣръ, выдыхаемымъ воздухомъ, или же если оно сбрызнуто водою или спиртомъ, то электричество этого тѣла весьма значительно ослабляется и даже совершенно исчезаетъ. Напротивъ того, обрызгиваніе масломъ не оказываетъ дурного дѣйствія.

255. Гильбертъ производилъ опыты и съ магнетизмомъ и съ электричествомъ, но въ противоположность прежнимъ изслѣдователямъ онъ ясно различалъ электрическую и магнитную силы. Онъ пишетъ: 1. Электрическая сила возникаетъ благодаря тренію, напротивъ того, магнитная сила существуетъ въ магнитахъ всегда и сама по себѣ. 2. Электричество исчезаетъ въ влажномъ воздухѣ, тогда какъ магнитъ сохраняетъ свою силу, какихъ бы предметовъ онъ ни касался. 3. Электричество притягиваетъ всѣ тѣла, магнитъ только очень немногія.—На основаніи этихъ и нѣкоторыхъ другихъ различій Гильбертъ дѣлаетъ выводъ, что электрическая и магнитная силы отличаются другъ отъ друга по существу. Соглашаясь съ прежними теоріями, онъ допускалъ, что электрическая сила обусловлена тѣмъ, что при натираніи изъ тѣла „нѣчто“ истекаетъ.

256. Наблюденія Гильберта, который опубликовалъ свои результаты въ книгѣ „De Magnete“, побудили многихъ другихъ физиковъ повторить эти опыты и сдѣлать новые. Къ двумъ группамъ электрическихъ и неэлектрическихъ тѣлъ постоянно прибавлялись новые члены и дѣлались другія интересныя наблюденія. Напримѣръ, Accademia del Cimento открыла, что наэлектризованное тѣло теряетъ свое электричество, если помѣстить его въ содѣйствіе пламени.

Но первый крупный шагъ, который сдѣлало ученіе объ электричествѣ послѣ смерти Гильберта, связанъ съ именемъ знаменитаго Магдебургскаго бургомистра Отто фонъ-Герике. При своей любви къ эффектнымъ опытамъ онъ былъ самымъ подходящимъ человѣкомъ для продолженія этого дѣла. Прежде всего нужно было получить дѣйствія электричества болѣе отчетливо. Гильбертъ и его ближайшіе преемники довольствовались тѣмъ, что натирали маленькія электрическія тѣла и наблюдали ихъ притяженіе. Герике, наоборотъ, построилъ машину, которая производила электричество. Онъ приготовилъ шаръ изъ сѣры, наполнивъ расплавленной сѣрой полый стеклянный шаръ, который потомъ, когда сѣра застыла, онъ разбилъ. Затѣмъ онъ снабдилъ этотъ шаръ желѣзною осью и помѣстилъ на особомъ станкѣ такъ, что его можно было вращать вокругъ оси (рис. 199).

Такимъ образомъ шаръ изъ сѣры представлялъ то тѣло, которое наэлектризовывалось треніемъ. Герике производилъ треніе тѣмъ, что нажималъ рукою на шаръ, приводившійся во вращательное движеніе.

Съ этой первой электрической машиной Герике сдѣлалъ нѣсколько важныхъ открытій. Шаръ изъ сѣры электризовался гораздо сильнѣе, чѣмъ кусокъ янтаря, съ которымъ экспериментировалъ Гильбертъ. Между прочимъ Герике замѣтилъ, что пушинка сначала притягивалась наэлектризованнымъ шаромъ, но затѣмъ, прикоснув-

шись къ шару, отталкивалась послѣднимъ. Онъ могъ даже удерживать пушинку въ воздухѣ, вынимая шаръ изъ станка и держа его подъ пушинкой (рис. 199). Такимъ образомъ онъ открылъ, что существуетъ не только электрическое притяженіе, но и электрическое отталкиваніе. Къ своему удивленію Герике замѣтилъ дальше, что пушинка, коснувшаяся наэлектризованнаго шара изъ сѣры, притягивалась его тѣломъ, напримѣръ, его носомъ. Но какъ только она касалась его тѣла, она снова притягивалась шаромъ изъ сѣры.

Затѣмъ Герике наблюдалъ, что электрическая сила можетъ распространяться по льняной ниткѣ. Онъ прикрѣпилъ такую нитку, длиною въ 1 локоть, къ деревянной палочкѣ и приблизилъ къ верхнему концу нитки натертый шаръ изъ сѣры. Теперь нитка могла притягивать легкіе предметы своимъ нижнимъ концомъ, какъ будто ее наэлектризовали.

Но самое удивительное явленіе онъ наблюдалъ, электризуя шаръ въ темной комнатѣ. Именно, при этомъ на рукѣ, которая натирала шаръ, былъ видѣнъ отчет-

Рис. 199



Электрическая машина Отто фонъ-Герике.

ливый, хотя слабый и беспокойный свѣтъ, и этотъ свѣтъ сопровождался особымъ шумомъ—потрескиваніемъ. Этотъ „электрическій свѣтъ“ показался ему чрезвычайно удивительнымъ. При электризации сѣрнаго шара былъ всегда слышенъ шумъ: приблизивъ ухо, Герике всегда слышалъ легкій трескъ.

Герике сдѣлалъ еще другой интересный опытъ. Онъ водилъ наэлектризованный шаръ вокругъ пушинки, подвѣшенной на ниткѣ. Пушинка поворачивалась за шаромъ, оставаясь обращенной къ нему всегда одной и той же стороной. Такимъ образомъ пушинка вращалась и Герике сейчасъ же пришло на мысль, что вращательныя движенія земли и небесныхъ тѣлъ вызываются электрическими силами (ср. § 208).

257. Какъ ни были интересны эти открытія Герике, сначала они привлекли мало вниманія. Прошло много времени раньше, чѣмъ стали точнѣе изслѣдовать электрическія отталкиванія, проводимость электрической силы и электрическія свѣтотворныя явленія.

Чтеніе книги Герике „Nova Experimenta“, появившейся въ 1672 году, побудило Роберта Бойля (I, § 255) заняться не только опытами съ воздушнымъ насосомъ, но и электрическими изслѣдованіями. Бойль замѣтилъ, что не только наэлектризованное тѣло можетъ притягивать ненаэлектризованное, но и наоборотъ—ненаэлектризованное тѣло можетъ притягивать наэлектризованное. Такимъ образомъ, это дѣйствіе взаимное, какъ и дѣйствіе между магнитнымъ полюсомъ и кускомъ желѣза. Бойль показалъ затѣмъ, что электрическая сила дѣйствуетъ и въ безвоздушномъ пространствѣ и что для сильной электризаціи треніемъ тѣло должно быть чистымъ, теплымъ и гладкимъ.

Весьма характеренъ для тогдашнихъ свѣдѣній объ электричествѣ тотъ фактъ, что Ньютонъ показывалъ въ Royal Society приборъ, служащій теперь игрушкой, какъ въ высшей степени интересный электрическій аппаратъ. На деревянномъ дискѣ лежитъ кольцо, а на кольцѣ стеклянная пластинка. Въ промежуткѣ между деревяннымъ кружкомъ и стеклянной пластинкой находятся обрѣзки бумаги. Если электризовать стеклянную пластинку треніемъ, то обрѣзки бумаги притягиваются ею, а затѣмъ отталкиваются. Прикоснувшись дерева, они снова притягиваются стеклянной пластинкой, затѣмъ снова отталкиваются и т. д. Здѣсь мы имѣемъ то же самое явленіе, которое Герике вызывалъ инымъ способомъ, а именно при помощи сѣрнаго шара и пупинки. Но ни Герике, ни Ньютонъ не даютъ объясненія тому, отчего происходитъ это явленіе.

258. Съ явленіями электрическаго свѣта, разумѣется, встрѣчались всѣ, кто только занимался электрическими опытами. Тщательно обставляя опыты, старались получить возможно сильныя дѣйствія. Въ 1700 году одному англичанину Воллу удалось такъ сильно наэлектризовать кусокъ янтаря, что отъ этого куска къ его пальцу проскочила электрическая искра. Эта искра сопровождалась сильнымъ шумомъ, напоминавшимъ тотъ шумъ, который слышится, когда каменный уголь трещитъ на огнѣ. Что въ своихъ опытахъ Воллъ получалъ очень сильныя дѣйствія, можно заключить изъ того, что онъ сравнивалъ электрическую искру и связанный съ нею шумъ съ молніей и громомъ.

Въ 1709 году были опубликованы важныя изслѣдованія Фрэнсиса Гауксби, хранителя физическихъ приборовъ Royal Society. Удивительно, что до насъ не дошло никакихъ свѣдѣній о жизни этого человѣка, хотя онъ былъ членомъ названнаго общества и опубликовалъ 43 статьи, касающіяся различныхъ областей физики.

Въ его книгѣ, которая появилась въ 1709 году, описано много опытовъ, въ томъ числѣ „различныя поразительныя явленія относительно свѣта и электричества“. На гравюрахъ на мѣди представлены и „машины“, служившія для производства этихъ опытовъ.

Прежде всего описывается весьма „современная“ для того времени машина—воздушный насос вмѣстѣ съ нѣкоторыми изъ важнѣйшихъ его приложений.

Затѣмъ идетъ изслѣдованіе явленія, упомянутаго Пикаромъ (I, § 271), что Торричелліева пустота дѣлается свѣтящеюся, когда встряхиваютъ барометръ. Это замѣченное Пикаромъ явленіе возбудило большое удивленіе. Его старались объяснить различнымъ образомъ. Дѣлая точное наблюденіе, Гауксби замѣтилъ, что это свѣтовое явленіе тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болше треніе между стекломъ и ртутью. Это навело его на предположеніе, что данное явленіе есть электрическое и что оно вызывается именно треніемъ. Правильность своей догадки онъ доказалъ слѣдующимъ опытомъ,

Онъ помѣстилъ полый стеклянный шаръ на токарномъ станкѣ такъ, что его можно было приводить въ быстрое вращеніе (рис. 200). Прикладывая руку къ вращающемуся шару, Гауксби наэлектризовывала послѣдній. Послѣ удаленія затѣмъ воздуха изъ шара, послѣдній наполнялся свѣтомъ, похожимъ на тотъ, который замѣчался въ Торричеллиевой пустотѣ при встряхиваніи барометра.

Мы не будемъ здѣсь входить въ дальнѣйшія изслѣдованія Гауксби объ электрическомъ свѣтѣ въ пространствѣ съ разрѣженнымъ воздухомъ. Ниже мы будемъ имѣть еще случай говорить о дальнѣйшемъ развитіи этого вопроса.

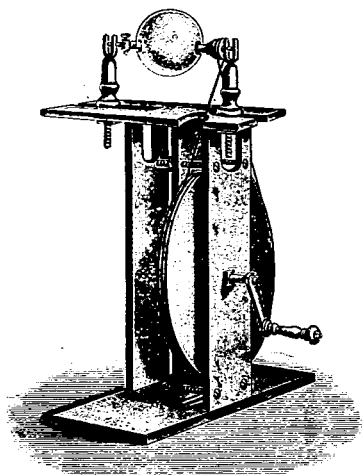
Съ Гауксби заканчивается первый періодъ ученія объ электричествѣ—періодъ Гильберта-Герике. Гильбертъ основалъ этотъ отдѣлъ физики, а Герике выяс-

нилъ такіе важные факты, что для дальнѣйшихъ изслѣдованій было заложено хорошее основаніе. Однако, вначалѣ ученіе объ электричествѣ развивалось медленно. Было чрезвычайно трудно сохранять электрическое состояніе, такъ что для удачі опытовъ требовалось большое искусство экспериментированія. Даже при соблюденіи предосторожностей, указанныхъ Гильбертомъ, эти дѣйствія были слабы. Только свѣтотвыя электрическія явленія наблюдались легко.

259. Слѣдующій періодъ исторіи ученія объ электричествѣ начинается открытіемъ Стефана Грэйа, современника Гауксби. О жизни этого ученаго также извѣстно очень мало. Сначала онъ былъ оптикомъ; извѣстно еще, что это былъ прилежный и осторожный наблюдатель. Изъ одного случайнаго замѣчанія его друга, священника Вилера, который былъ членомъ Royal Society, какъ и Грэй, можно было заключить, что Грэй родился въ 1670, а умеръ въ 1736 году.

Грэй началъ въ 1729 году свои электрическія изслѣдованія обычными опытами съ натираніемъ. Для ихъ производства онъ пользовался стеклянной трубкой въ $2\frac{1}{2}$ фута длиной и въ 2 дюйма шириной. Какъ и Герике, онъ сейчасъ же замѣтилъ притяженіе, производимое натертой трубкой на пушинку. Для защиты отъ пыли Грэй закрылъ отверстія этой стеклянной трубки пробками; при этомъ онъ замѣтилъ, что эти пробки при натираніи стекла становятся электрическими, т. е. что онѣ притягиваютъ перо. Но по Гильберту пробка принадлежала къ „неэлектрическимъ“ тѣламъ. Это побудило Грэйа къ дальнѣйшимъ наблюденіямъ надъ проводимостью электрической силы. Онъ воткнулъ въ пробку деревянную палочку и на другомъ концѣ палочки укрѣпилъ шарикъ слоновой кости. При натираніи стеклянной трубки электричество распространялась отъ пробки по деревянной палочкѣ до шарика слоновой кости. То же получалось и тогда, когда деревянная палочка замѣнялась метал-

Рис. 200



Свѣтящійся шаръ Гауксби.

лической проволокой. Этимъ способомъ Грэй проводилъ электричество по металлической проволокъ длиною въ 26 футовъ, которая свѣшивалась съ балкона.

Для того чтобы отвести электричество еще дальше, Грэй взялъ пеньковую бечевку, которую подвѣсилъ на ниткѣ, укрѣпленной на гвоздѣ. Одинъ конецъ бечевки онъ соединилъ съ пробкой, а другой съ шарикомъ слоновой кости. Теперь электричество не достигало шарика, а уходило по ниткѣ къ гвоздю и исчезало. Значить, проволоку, по которой должно было идти электричество, нельзя было подвѣшивать такимъ способомъ.

260. Вскорѣ послѣ того Грэй случилось навѣстить своего друга Вилера и ему захотѣлось познакомить Вилера со своими опытами. Вилеръ предложилъ подвѣсить пеньковую бечевку на шелковыхъ нитяхъ, полагая, что по такимъ тонкимъ нитямъ электричество не сможетъ уйти. Теперь опытъ удался въ совершенствѣ, даже съ бечевой длиною въ 765 футовъ, которую пришлось подвѣсить на большомъ числѣ шелковинокъ. Электричество распространялось теперь вплоть до шарика слоновой кости, привязаннаго къ концу пеньковой бечевки. При одномъ изъ этихъ опытовъ одна шелковинка разорвалась и была замѣнена металлической проволокой. Теперь электричество снова не доходило до конца пеньковой бечевки, а уходило по металлической проволокъ.

Грэй и Вилеръ стали изслѣдовать эти явленія внимательно и нашли, что пеньковая бечевка, шелковая нитка и металлическая проволока дѣйствуютъ здѣсь весьма различно. Пеньковая бечевка проводитъ электричество хорошо, металлическая проволока еще лучше, а шелковинка, напротивъ, совершенно не проводитъ его.

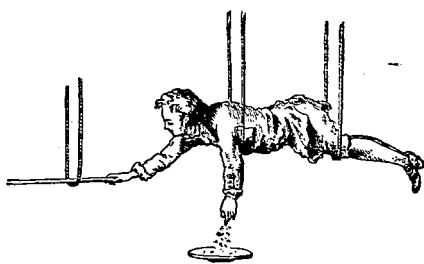
При дальнѣйшемъ изслѣдованіи Грэй нашелъ, что есть цѣлый рядъ тѣлъ, которыя, подобно пеньковой бечевкѣ и металлической проволокъ, хорошо проводятъ электричество, но, съ другой стороны, есть также рядъ тѣлъ, которыя, подобно шелку, плохо проводятъ электричество или даже совсѣмъ не проводятъ его. Соотвѣственно этому тѣла, такимъ образомъ, распадаются на хорошіе и дурные проводники электричества. При этомъ выяснилось, что „электрическія“ тѣла Гильберта были дурными проводниками, а его „неэлектрическія“ тѣла—хорошими.

Грэй различалъ тѣла, проводящія электричество, и тѣла, непроводящія электричества, но позднѣе Эпинусъ (§ 212) показалъ, что тѣлъ, совершенно непроводящихъ электричества, вообще не существуетъ. Поэтому мы будемъ пользоваться обозначеніями „хорошихъ“ и „дурныхъ“ проводниковъ.

Къ хорошимъ проводникамъ принадлежатъ металлы, уголь, растворы солей, живыя ткани растений и животныхъ, ленъ и хлопчатая бумага.

Дурными проводниками являются янтарь, смола, сѣра, иеллакъ, каучукъ, эбонигъ, воскъ, стекло, фарфоръ, шерсть, шелкъ, перья, волоса (мѣхъ), драгоценные камни, сухое дерево, сухой воздухъ.

Рис. 201



Опытъ Грѣя.

261. Грэй произвелъ одинъ поразительный опытъ, показавшій, что человѣческое тѣло является хорошимъ проводникомъ электричества. Рис. 201 даетъ старинное изображеніе этого опыта. На немъ представленъ мальчикъ, висящій на двухъ веревкахъ, сплетенныхъ изъ волоса. Одной рукой онъ касается натертой стеклянной палочки и электричество распространяется до другой руки, которая притягиваетъ бумажные обрѣзки.

Въ другомъ опытѣ мальчика ставили на кусокъ смолы, который не позволялъ электричеству уходить изъ тѣла, какъ не позволяли этого волосяныя веревки.

Послѣ того какъ выяснилось, что человѣческое тѣло—хорошій проводникъ электричества, стало также ясно, почему дѣленіе тѣла на „электрическія“ и „неэлектрическія“, предложенное Гильбертомъ, совпадало съ дѣленіемъ на „хорошіе“ и „дурные“ проводники Грэя.

„Электрическими“ тѣлами по Гильберту являются тѣ тѣла, которыя при натраніи пріобрѣтаютъ способность притяженія. По Грэю „электрическія“ тѣла—дурные проводники, т. е. по нимъ электричество не распространяется (или почти не распространяется). Если въ дурномъ проводникѣ получить электричество треніемъ, то оно удерживается въ тѣлѣ и лишь съ трудомъ уходитъ изъ него, а потому тѣло назлектризовывается.

Напротивъ, когда электричество получается треніемъ въ хорошемъ проводникѣ, то его вовсе нельзя замѣтить, если не принять особыхъ предосторожностей, такъ какъ изъ хорошаго проводника оно мгновенно уходитъ въ тѣ тѣла, съ которыми сообщается этотъ проводникъ.

Впослѣдствіи было доказано, что треніемъ могутъ быть назлектризованы всѣ тѣла. Но если этимъ способомъ желаютъ назлектризовать какой-нибудь хорошій проводникъ, напримѣръ, металлическую пластинку, то нужно прикрѣпить ее на дурномъ проводникѣ такъ, чтобы получающееся на металлической пластинкѣ электричество не могло уходить съ нея. Если же держать такую пластинку въ рукѣ, то получаемое треніемъ электричество будетъ мгновенно уходить въ землю черезъ тѣло.

262. Грэй значительно подвинулъ впередъ ученіе объ электричествѣ. Именно, онъ выяснилъ условія, при которыхъ электричество можно сохранять болѣе продолжительное время, а это дало возможность точнѣе изучить его дѣйствія. При помощи шелковыхъ нитей и кусковъ смолы Грэю удалось сохранить электричество въ одномъ тѣлѣ нѣлыхъ 30 дней.

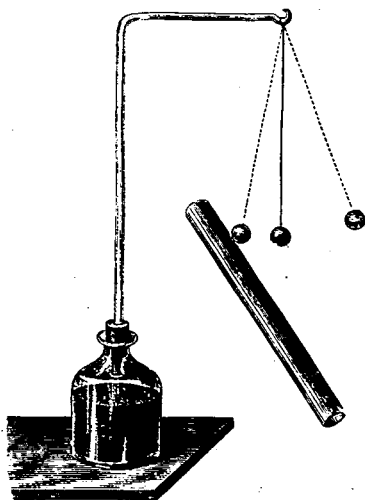
Грэй сдѣлалъ еще одно важное открытіе. Онъ нашелъ, что мальчику (рис. 201) не нужно касаться стеклянной палочки, чтобы назлектризоваться. Ему стоило только держать руку вблизи натертой стеклянной палочки—и все его тѣло становилось назлектризованнымъ. Мы сейчасъ же увидимъ, какъ велико значеніе этого открытія, которое было разъяснено только впослѣдствіи.

О сущности электричества Грэй составилъ себѣ весьма неопредѣленное представленіе. Онъ называетъ электричество „чѣмъ-то, что проникаетъ все назлектризованное тѣло и наполняетъ всѣ поры этого тѣла“. И въ то время и позднѣе много размышляли надъ вопросомъ, чтó собственно представляетъ собою электричество. Мы не будемъ входить въ подробности этихъ умозрѣній, а будемъ идти тѣмъ, указаннымъ исторіей, путемъ, на которомъ можно было чего-нибудь достигнуть. Этотъ путь состоялъ въ накопленіи новыхъ опытныхъ данныхъ объ электричествѣ.

263. Работы Грэя печатались въ изданияхъ Royal Society, которая въ то время читались во всѣхъ ученыхъ обществахъ Европы. Этимъ путемъ свѣдѣнія объ опытахъ Грэя расходились въ самыхъ широкихъ кругахъ и вызывали дальнѣйшія изслѣдованія. Но лишь немногимъ удавалось получить новые результаты. Къ этимъ немногимъ принадлежалъ Шарль Франсуа Десистернэ Дюфэ (1698—1739). Прослуживъ короткое время въ арміи въ качествѣ младшаго офицера, онъ оставилъ военную карьеру и посвятилъ себя изученію естествознанія, а именно химіи. Уже въ 1723 году онъ сталъ членомъ Академіи, а съ 1732 года сталъ завѣдывающимъ ея ботаническимъ садомъ. При своихъ изслѣдованіяхъ по электричеству онъ обратилъ особое вниманіе на электрическую искру, о которой Грэй говоритъ мало. Дюфэ электризовалъ мальчика на кускѣ смолы и къ большому изумленію аббата Нолле (§ 267) извлекалъ изъ мальчика электричесія искры. Глядя рукой лежавшую на шелковой подушкѣ кошку, онъ назлектризовывалъ ее до такой степени, что отъ нея получались искры. Еще большее значеніе, чѣмъ эти опыты съ электрической искрой, имѣли два другихъ открытія Дюфэ. Одно изъ этихъ явленій наблюдалъ уже Герике, а именно, что электрическое тѣло сначала притягиваетъ неэлектрическое, но затѣмъ, послѣ соприкосновенія, отталкиваетъ его. Если подвѣшенный на шелковинкѣ шарикъ изъ бузиновой сердцевины (рис. 202) приблизить къ натертой стеклянной палочкѣ, то шарикъ сначала притянется къ ней, но затѣмъ, коснувшись ея, оттолкнется. Герике наблюдалъ это явленіе, но не объяснилъ его. Дюфэ даетъ слѣдующее объясненіе: Всѣ электрическія тѣла притягиваютъ всѣ неэлектрическія, но когда неэлектрическое тѣло касается электрическаго, оно само дѣлается электрическимъ и потому отталкивается отъ перваго. Съ помощью этого положенія Дюфэ могъ, какъ ему казалось, объяснить много удивительныхъ наблюденій, сдѣланныхъ другими изслѣдователями. Это положеніе получило важное расширеніе благодаря другому открытію самого Дюфэ.

Однажды Дюфэ повторялъ опытъ Герики и старался удержать въ воздухѣ легкое тѣло (онъ пользовался листикомъ золота), отталкивая его наэлектризованной стеклянной палочкой. Приблизивъ къ золотому листку кусокъ смолы, наэлектризованный трѣпемъ, онъ ожидалъ, что послѣдній также оттолкнетъ золотой листокъ, такъ какъ между всѣми двумя наэлектризованными тѣлами возникаетъ отталкиваніе. Но вышло какъ разъ обратное тому, чего онъ ожидалъ,—смола весьма сильно притягивала золотой листокъ. Какъ можно было согласовать это съ другими наблюденіями? Продолжая свои изслѣдованія, Дюфэ нашелъ, что, хотя всѣ электрическія тѣла притягиваютъ всѣ неэлектричесія, но два электричесія тѣла отталкиваются далеко не всегда. Причиною

Рис. 202



Электрическій маятникъ

этого, говорить Дюфэ, является то, что „существуетъ два рода электричества — одинъ родъ я называю стекляннѣмъ электричествомъ, а другой смоляннѣмъ. Первый родъ получается (трениемъ) въ стеклѣ, въ драгоценныхъ камняхъ, въ волосахъ, въ шерсти и т. д., другой—въ янтарѣ, смолѣ, шелкѣ и т. д. Существенное различіе этихъ двухъ родовъ электричества состоитъ въ томъ, что каждый изъ нихъ отталкиваетъ электричество того же рода, но притягиваетъ электричество другого рода“.

264. Съ такъ называемымъ электрическимъ маятникомъ (рис. 202) нетрудно убѣдиться въ томъ, что существуетъ два рода электричества. Сначала натираютъ стеклянную палочку и приближаютъ ее къ шарикъ изъ бузиновой сердцевины. Послѣдній притягивается, касается стеклянной палочки, получаетъ отъ нея электричество и затѣмъ отталкивается ею. Теперь шарикъ „заряженъ“ стекляннѣмъ электричествомъ. Если затѣмъ удалить стеклянную палочку и вмѣсто нея приблизить натертую смоляную палочку, то шарикъ быстро притянется къ ней. Но коснувшись смоляной палочки, онъ снова оттолкнется отъ нея, такъ какъ теперь вмѣсто стекляннаго электричества онъ имѣетъ смоляное. Если затѣмъ снова поднести къ нему стеклянную палочку, то она притянетъ шарикъ, заряженный смоляннѣмъ электричествомъ. Одноименныя электричества взаимно отталкиваются, разноименныя—притягиваются.

Опредѣлить заранѣе, какого рода электричество получится на данномъ тѣлѣ при натираниі его другимъ, невозможно, но при помощи стеклянной палочки и электрическаго маятника нетрудно рѣшить, получило ли оно стеклянное электричество или смоляное.

При помощи двухъ электрическихъ маятниковъ легко также показать, что бузиновый шарикъ, прикоснувшись къ натертой стеклянной палочкѣ, получаетъ стеклянное электричество. Въ самомъ дѣлѣ, если „зарядить“ шарики двухъ маятниковъ отъ одной и той же стеклянной палочки, то они отталкиваются другъ отъ друга. Если „зарядить“ ихъ отъ одной смоляной палочки, то между ними также происходитъ отталкиваніе. Но если „зарядить“ одинъ шарикъ стекляннѣмъ электричествомъ, а другой смоляннѣмъ, они взаимно притягиваются.

Хотя было нетрудно повторить опыты Дюфэ, которые всѣми признавались правильными, однако, его допущеніе, что существуетъ два рода электричества, встрѣтило возраженія со стороны многихъ физиковъ. Ниже мы еще вернемся къ многолѣтнему спору о томъ, существуетъ ли одинъ только родъ электричества или же ихъ есть два.

Грэй имѣлъ удовольствіе познакомиться съ изслѣдованіями Дюфэ и призналъ, что они представляли большой шагъ впередъ. Своими статьями и лекціями Жанъ Деагюлье (1683—1744) много способствовалъ тому, что результаты изслѣдованій этихъ и другихъ ученыхъ стали извѣстны въ болѣе широкихъ кругахъ. Деагюлье былъ сынъ одного протестантскаго священника, который послѣ отмѣны Нантскаго Эдикта покинулъ Францію и переселился въ Англію. Нѣкоторое время онъ былъ профессоромъ въ Оксфордѣ, затѣмъ читалъ лекціи въ Лондонѣ и въ Голландіи. Позднѣе онъ сталъ священникомъ и наконецъ капелланомъ принца Уэльскаго. Имъ было введено для проводника названіе кондуктора. Онъ очень хорошо опредѣлялъ различіе между хорошими и дурными проводниками электричества. Если прикоснуться къ хорошему проводнику, говорилъ онъ, то послѣдній въ то же мгновеніе

теряетъ все свое электричество. Но если прикоснуться къ дурному проводнику, то онъ теряетъ электричество только въ точкѣ соприкосновенія. Соответственно названію кондуктора, для дурныхъ проводниковъ позднѣе было введено названіе изолятора.

265. Электрическая машина Отто фонъ-Герике не нашла большого распространенія. Исслѣдовашія Грэй и Дюфэ внесли новую жизнь въ изученіе электричества въ университетахъ; появилась настоятельная потребность въ лучшихъ приборахъ для полученія электричества, чѣмъ та стеклянная трубка, которая служила для этой цѣли со временъ Гильберта.

Лейпцигскій профессоръ физики Христіанъ Августъ Гаузенъ въ 1743 году построилъ, по совѣту своего ученика Литцендорфа, электрическую машину, въ которой сѣрный шаръ Герике былъ замѣненъ стекляннымъ.—Профессоръ Бозе (1710—1761) въ Виттенбергѣ раздобылъ себѣ такую машину со стекляннымъ шаромъ и значительно усовершенствовалъ ее тѣмъ, что снабдилъ ее такъ называемымъ кондукторомъ—трубкой изъ жести, которую держало „изолированное“ лицо, т. е. лицо, стоящее на кускѣ смолы или висящее на шелковыхъ шнурахъ.

Бозе прикрѣпилъ къ кондуктору пучекъ проволоки, которая, свѣшиваясь до шара, касалась его, пока онъ электризовался вращеніемъ и прикосновеніемъ руки. Электричество шло изъ шара по проволокамъ къ кондуктору и на послѣднемъ собиралось въ такомъ количествѣ, что изъ него можно было извлекать сильныя искры. Бозе извлекалъ такія сильныя искры, что чувствовалъ отъ нихъ сотрясеніе во всемъ тѣлѣ. Ему удалось даже зажечь электрической искрой порохъ, что безуспѣшно пытался сдѣлать Дюфэ.

На рис. 203 изображена электрическая машина аббата Нолле, которая въ существенныхъ чертахъ имѣла такое же устройство, какъ и машина Бозе. Стеклянный шаръ приводился въ движеніе при помощи безконечнаго шурка и электричество по металлической цѣпи передавалось кондуктору, подвѣшенному на шелковыхъ шнурахъ.

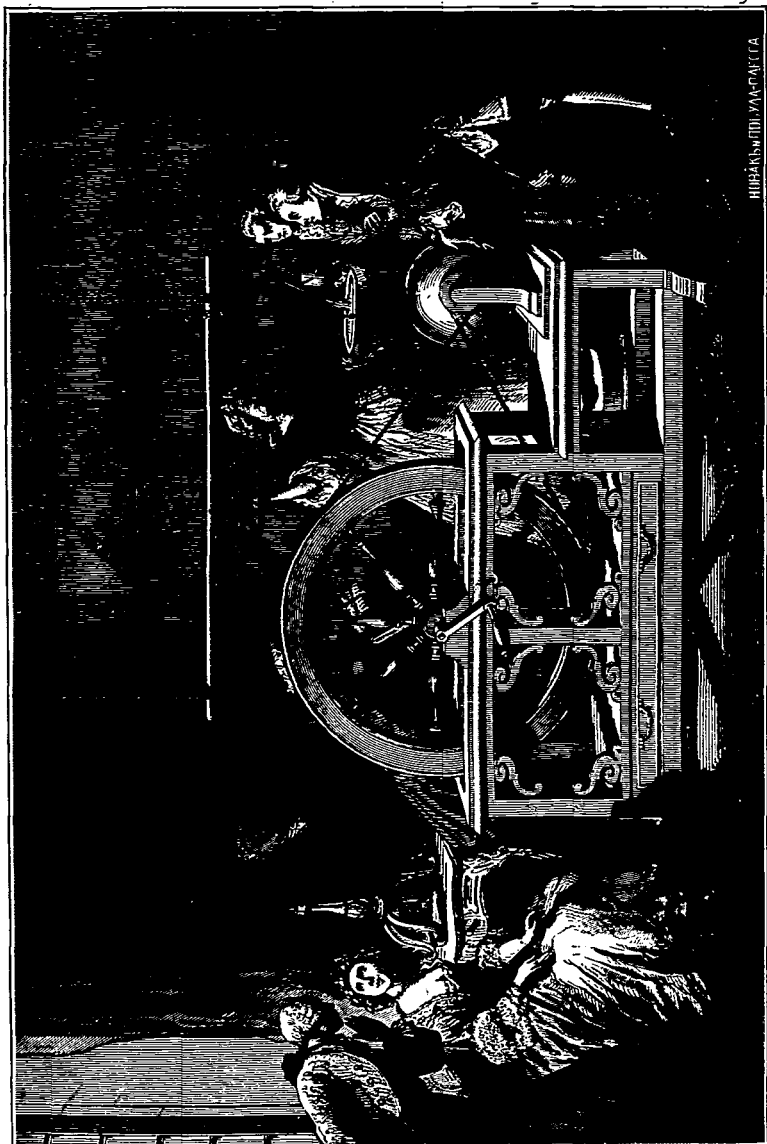
Значительное улучшеніе было внесено въ электрическую машину профессоромъ Винклеромъ (1703—1770) въ Лейпцигѣ, который ввелъ особое приспособленіе для натиранія. Въмѣсто того, чтобы натирать стекло рукою, онъ производилъ треніе при помощи двухъ кожаныхъ подушекъ, набитыхъ конскимъ волосомъ и прижимающихся пружинами къ стеклу. Благодаря этому приспособленію машина стала значительно сильнѣе и Винклеръ получалъ очень сильныя электрическія искры. Такимъ образомъ, онъ могъ зажечь винный спиртъ искрою, извлеченной пальцемъ изъ кондуктора.

Мы можемъ оставить дальнѣйшее развитіе деталей электрической машины. Главныя части ея были изобрѣтены въ Германіи, но наиболѣе цѣлесообразную форму и устройство отдѣльныхъ частей далъ тотъ опытъ, который накоплялся у всѣхъ физиковъ Европы въ послѣдней половинѣ XVII вѣка благодаря множеству экспериментовъ съ ихъ машинами.

Стеклянный шаръ былъ замѣненъ стекляннымъ цилиндромъ, а послѣдній стекляннымъ кругомъ, имѣющимъ то преимущество, что приспособленіе для натиранія, въ формѣ вилки, могло дѣйствовать на обѣ стороны стекла одновременно. Проволоки, висѣвшія съ кондуктора Бозе, были замѣнены металлической вилкой, между

зубьями которой двигался кругъ. Эти зубья были усажены остриями со стороны, обращенной къ стеклу. Острия проводили электричество отъ стекла къ вилкѣ.

Рис. 203



Электрическая машина аббата Нолле.

Отсюда оно шло къ кодуктору, обыкновенно состоявшему изъ одного или изъ нѣсколькихъ полыхъ латунныхъ цилиндровъ, укрѣпленныхъ на стеклянныхъ подставкахъ.

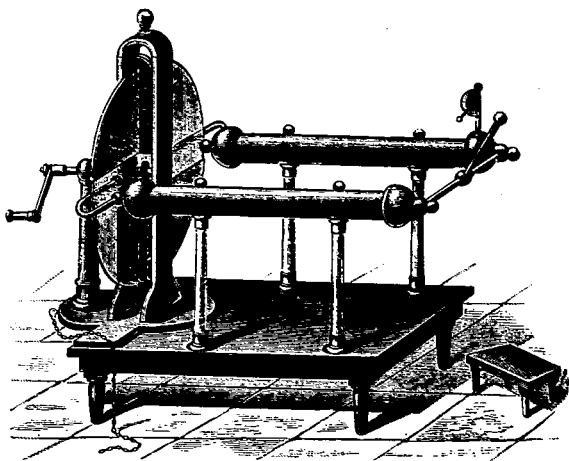
Приспособленіе для натирашія играетъ важную роль въ электрическихъ машинахъ и потому указаніе англійскаго физика Джона Кантона (1718—1772) покрывать натирающія подушки оловянной амальгамой и мѣломъ внесло значительное улучшение. Съ такими натирающими подушками машина давала значительно больше электричества, чѣмъ раньше. Въ настоящее время пользуются обыкновенно амальгамой, предложенной въ 1788 году Францомъ фонъ-Кинмайеромъ въ Вѣнѣ и состоящей изъ 2 частей ртути, 1 части цинка и 1 части олова.

При употребленіи электрической машины скоро замѣтили, что приспособленіе для натирания должно сообщаться проводникомъ съ землей для того, чтобы машина могла давать сильныя искры. Этого достигли тѣмъ, что къ металлическому штативу, на которомъ укрѣплены натирающія части, привѣсили металлическую цѣпь.

Равнымъ образомъ скоро узнали, что хотя стекло и дурной проводникъ электричества, тѣмъ не менѣе оно ненадежный изоляторъ. А именно, стекло гигроскопично, т. е. оно притягиваетъ влагу изъ воздуха и покрывается тонкимъ налетомъ воды, вслѣдствіе чего электричество уходитъ съ него. Поэтому стеклянные изоляторы стали покрывать тонкимъ слоемъ шеллаковаго лака. Впрочемъ, есть и такіе сорта стекла, которые являются дурными изоляторами сами по себѣ.

На рис. 204 изображена довольно близкая къ современнымъ электрическая машина, построенная въ 1766 году зятемъ Джона Доллонда, оптикомъ Джессомъ

Рис. 204



Электрическая машина Рамсдена.

Рамсденомъ (1735—1800). Натирание производится здѣсь двумя подушками, укрѣпленными на металлическомъ штативѣ, съ котораго виситъ цѣпь до земли. Средняя часть круга, которая не натирается, покрыта лакомъ. Натираясь при вращеніи о подушки, кругъ электризуется и для того, чтобы помѣшать утечкѣ электричества, часть круга окружаютъ особымъ чехломъ изъ шелка, который помѣщается между натирающими подушками и острыми вилочкѣ. Послѣднія проводятъ электричество отъ круга

къ кондуктору, состоящему изъ двухъ цилиндровъ на стеклянныхъ подставкахъ. Зарядъ кондуктора измѣряется при помощи такъ называемаго квадрантнаго электрометра Генли. На кондукторѣ укрѣплена отвѣсно небольшая металлическая палочка. Легкій маятникъ (деревянная палочка или соломинка съ бузиннымъ шарикомъ на нижнемъ концѣ), висѣющій на этой палочкѣ, отталкивается отъ металлической палочки тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше заряженъ кондукторъ. Величину отклоненія маятника можно отсчитывать на раздѣленномъ полукругѣ.—Болѣе точное объясненіе дѣйствія электрической машины будетъ дано ниже.

266. Уже въ 1745 году было сдѣлано открытіе, которому суждено было имѣть большое значеніе для развитія ученія объ электричествѣ. Замѣчательно, что это открытіе было сдѣлано почти одновременно въ Помераніи и въ Голландіи.

Въ Помераніи изобрѣтателемъ былъ соборный настоятель Э. Г. фонъ-Клейстъ въ Камминѣ. Онъ вложилъ въ бутылочку отъ лекарства, которую держалъ въ рукѣ, гвоздь, приблизилъ ее къ заряженному кондуктору и затѣмъ снова удалилъ ее. Коснувшись затѣмъ гвоздя другой рукой, онъ получилъ сильный электрическій ударъ. Позднѣе онъ нашель, что этотъ ударъ бываетъ значительно сильнѣе, если склянка наполнена спиртомъ или ртутью.

Нѣсколько мѣсяцевъ спустя (въ декабрѣ 1745 года) Клейстъ сообщилъ о своемъ наблюденіи протодіакону въ Данцигѣ, а послѣдній передалъ о немъ бургомистру этого города Даніэлю Гралату, который только что основалъ „общество естествоиспытателей“. Гралатъ наполнилъ бутылку водою наполовину, помѣстивъ въ нее желѣзную палочку съ шарикомъ на верхнемъ концѣ и привелъ этотъ шарикъ въ соприкосновеніе съ заряженнымъ кондукторомъ электрической машины. Этимъ бутылка была „заряжена“ и Гралатъ показалъ силу этого заряда слѣдующимъ образомъ. Онъ образовалъ „цѣпь“ изъ 20 человѣкъ, державшихся за руки. Первый человѣкъ имѣлъ въ одной рукѣ заряженную бутылку, а у послѣдняго въ цѣпи одна рука была свободна. Когда этотъ послѣдній касался рукою шарика на желѣзной палочкѣ, то всѣ 20 человѣкъ получали электрическій ударъ. Напротивъ, удара не было, если послѣдній человѣкъ касался самой бутылки, равно какъ и въ томъ случаѣ, когда шарика желѣзной палочки касался кто-нибудь, не стоявшій въ цѣпи.—Гралатъ сдѣлалъ изъ своихъ опытовъ важный выводъ, что „заряженная“ бутылка даетъ электрическіе удары только въ томъ случаѣ, когда между желѣзной палочкой и внѣшней поверхностью бутылки устанавливается соединеніе.

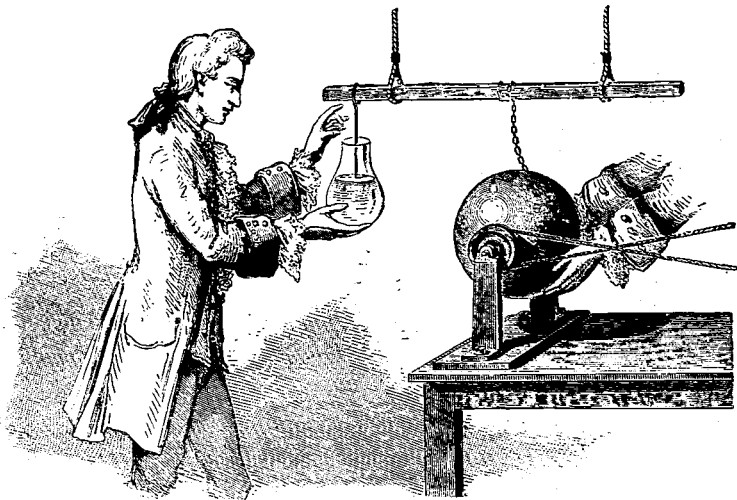
267. Какъ оказалось въ началѣ 1746 года, такая же удивительная бутылка была тѣмъ временемъ открыта и въ Лейденѣ, а именно въ лабораторіи извѣстнаго профессора Питера Мусхенбрука (1692—1761). Терпя неудобства при своихъ электрическихъ опытахъ отъ того, что электричество исчезало такъ быстро, Мусхенбрукъ старался устранить это тѣмъ, что собиралъ его въ тѣлѣ, окруженномъ дурнымъ проводникомъ. Онъ наливалъ въ бутылку воды и пытался отвести электричество въ воду по висѣвшей съ кондуктора проволоцѣ, что, однако, не удавалось ему. Однажды Кунэусъ, знакомый Мусхенбрука, занимавшійся физическими опытами въ его лабораторіи, держалъ въ рукахъ бутылку, въ которую отводилось электричество (рис. 205); случайно прикоснувшись къ отводящей проволоцѣ, онъ получилъ сильный электрическій ударъ. Мусхенбрукъ повторилъ опытъ и получилъ

такой сильный ударъ, что, какъ онъ позднѣе писалъ Реомюру, не хотѣлъ бы получить такой ударъ еще разъ даже за королевскій тронъ Франціи.

Упомянутый выше аббатъ Нолле получилъ извѣстіе объ этой бутылкѣ изъ Лейдена и, такъ какъ онъ былъ въ перепискѣ, такъ сказать, со всѣмъ ученымъ міромъ, то бутылка почти повсюду стала извѣстна подъ именемъ „лейденской“, банки, тогда какъ Клейста рѣдко называютъ ея изобрѣтателемъ. Нолле (1700—1770) былъ членомъ французской Академіи и благодаря своей обширной перепискѣ пользовался такимъ огромнымъ вліяніемъ, которое намъ теперь даже трудно понять, послѣ того какъ мѣсто научной переписки вездѣ заняла періодическая печать. И то, что электрическая банка повсюду называется лейденской банкой, а не банкой Клейста, нужно приписать исключительно вліянію Нолле.

268. Объясненія того, какъ дѣйствуетъ эта усиливающая банка, не было, но пользовались ею много, такъ какъ она давала электричество значительной силы.

Рис. 205

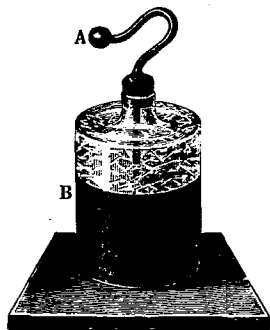


Опытъ въ Лейденѣ.

Очень скоро узнали также, какъ нужно „заряжать“ ее. Какъ въ опытѣ Клейста, такъ и въ опытѣ Мусхенбрука банку во время заряданія держали въ рукѣ. Следовательно, внѣшняя поверхность банки при зарядкѣ должна была соединяться съ землей посредствомъ проводника. Вильямъ Ватсонъ (1715—1787), хранитель физическаго кабинета Royal Society, нашелъ, что банка заряжается тѣмъ сильнѣе, чѣмъ лучше отведена ея внѣшняя поверхность къ землѣ. Нѣкій докторъ Бевисъ, лондонскій врачъ, покрылъ внѣшнюю поверхность банки фольгой. Благодаря этому электричество отводилось со всей ея поверхности, хотя бы съ землею соединялась—прикосновеніемъ руки или какимъ-нибудь инымъ способомъ—только одна ея точка. Другое усовершенствованіе банки, введенное также Ватсономъ, состояло въ томъ, что онъ покрылъ фольгою также внутреннюю поверхность банки и прикрѣпилъ на ниж-

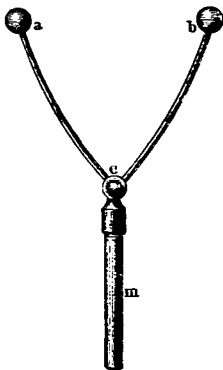
немъ концѣ металлической палочки небольшую металлическую цѣпочку, которая доходила до дна банки. Теперь жидкость была лишней и банка получила то устройство, существенныя черты котораго она сохранила и до нынѣшняго дня (рис. 206). Ни внутренняя, ни наружная обкладка изъ фольги не доходятъ до горлышка банки. — Для „разряда“ банки, какъ показалъ Гралатъ, нужно установить соединеніе между внутренней и внѣшней обкладкой банки при помощи проводника. Это можно сдѣлать, касаясь одною рукой внѣшней обкладки, а другою шарика на концѣ металлической палочки. Но если банка сильно заряжена, электрической ударъ становится не-

Рис. 206.



Лейденская банка.

Рис. 207



Разрядникъ.

приятнымъ и въ такомъ случаѣ удобнѣе производить разрядъ при помощи такъ называемаго разрядника (рис. 207). Однимъ изъ двухъ шариковъ *a* и *b* касаются шарика банки, а другимъ ея внѣшней обкладки, держа разрядникъ за стеклянную ручку *m*.

Упомянутый выше докторъ Бевисъ построилъ еще одинъ, болѣе простой, приборъ для собирающаго электричества — такъ называемую Франклинову доску. Она состоитъ изъ куска плоскаго

стекла, покрытаго фольгой съ обѣихъ сторонъ, но не до самыхъ краевъ (рис. 208). Чтобы зарядить ее, одну обкладку соединяютъ проводникомъ съ кондукторомъ электрической машины, а къ другой обкладкѣ для отвода электричества въ землю прикасаются рукою. Когда нужно разрядить эту доску, то, какъ и въ лейденской банкѣ, обѣ ея обкладки соединяютъ какимъ-нибудь проводникомъ.

269. Въ лейденской банкѣ можно было сохранять электричество болѣе продолжительное время. Можно было касаться ея внутренней или внѣшней обкладки, не замѣчая никакого дѣйствія. Можно было даже, удаливъ металлическую палочку съ цѣпочкой, закупорить банку, спустя нѣкоторое время снова вложить металлическую палочку и затѣмъ, соединивъ проводникомъ обѣ обкладки, убѣдиться, что банка еще заряжена.

Лемоннье, лейбъ-медикъ Людовика XVI, сдѣлалъ наблюденіе, имѣвшее большое значеніе для объясненія явленій лейденской банки. А именно, онъ замѣтилъ, что внѣшняя обкладка банки электризуется и притягиваетъ легкія тѣла, если поставить заряженную банку на изолирующую подставку, напримѣръ, на кусокъ смолы, и затѣмъ коснуться ея шарика. Однако, Лемоннье не повелъ дѣла дальше. Только Франклинъ далъ объясненіе этому интересному явленію.

270. Бенджаминъ Франклинъ родился въ 1706 году на маленькомъ островкѣ Бостонской гавани, Говернорсъ-Айландѣ. Отецъ его былъ англійскаго, а мать голландскаго происхожденія. Бенджаминъ, въ семьѣ котораго было 16 дѣтей, рано дол-

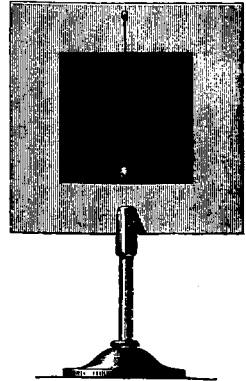
женъ былъ стать помощникомъ своего отца, который былъ мыловаромъ; правильное образованіе онъ получалъ лишь въ теченіе короткаго времени. Въ возрастѣ 12 лѣтъ онъ поступилъ въ обученіе къ своему старшему сводному брату, типографу и издателю газеты. Онъ усердно пользовался представившейся здѣсь возможностью читать. Свою литературную дѣятельность онъ началъ тѣмъ, что подсунулъ подъ дверь типографіи анонимную статейку. Когда эта статейка встрѣтила благопріятный пріемъ, онъ признался брату въ своемъ авторствѣ. Такъ какъ отношенія между ними были плохи, то онъ оставилъ дѣло брата и переселился въ Филадельфію, гдѣ нашель работу въ типографіи. Здѣсь на дѣльнаго юношу обратилъ вниманіе англійскій губернаторъ Кейтъ, побудившій его провести нѣсколько времени въ Англию для основательнаго обученія своему дѣлу. По возвращеніи оттуда Франклинъ въ 1728 году открылъ въ Филадельфіи типографію и началъ свою широкую дѣятельность, какъ организаторъ молодого американскаго общества.

271. Уже въ 1727 году Франклинъ основалъ общество, которое занималось какъ политикой, такъ и науками, особенно естественными. Въ этомъ кружкѣ онъ въ 1745 году началъ свои изслѣдованія по электричеству. Благодаря содѣйствію Питера Коллинсона въ Лондонѣ, члена Royal Society, онъ получалъ различные электрическіе приборы, въ числѣ которыхъ была и лейденская банка. —Результаты своихъ изслѣдованій Франклинъ описалъ въ рядѣ писемъ (1747—1754) къ Коллинсону, читавшему ихъ въ собраніяхъ Royal Society. Эти письма были написаны ясно и интересно и были немедленно переведены на разные языки.

Во второмъ письмѣ (1747 года) Франклинъ предложилъ свою теорію электричества. По его мнѣнію существуетъ электрическій флуидъ, проникающій всѣ тѣла. Частицы электрическаго флуида отталкиваются другъ отъ друга, но притягиваются частицами тѣла. —Если тѣло содержитъ такое количество электрическаго „вещества“, какое оно можетъ воспринять безъ образованія избытка на поверхности, то тѣло является неизлектризованнымъ. Если образуется избытокъ электричества, то тѣло становится назлектризованнымъ положительно (стеклянное электричество). Если же, напротивъ, тѣло потеряло часть своего „естественнаго“ количества электричества, то оно является назлектризованнымъ отрицательно (смоляное электричество). Такимъ образомъ Франклинъ допускалъ не два рода электричества, а два электрическихъ состоянія, изъ которыхъ одно обусловливается слишкомъ большимъ, а другое слишкомъ малымъ содержаніемъ электричества. Слѣдовательно, тѣло можетъ электризоваться какъ тѣмъ, что ему доставляютъ электричество въ избыткѣ, такъ и тѣмъ, что у него отнимаютъ электричество. Полученіе электричества натираніемъ согласно этой теоріи нужно представлять такъ, что при натираніи электричество одного тѣла переходитъ въ другое, такъ что одно изъ нихъ электризуется положительно, а другое отрицательно.

Теперь мы будемъ пользоваться вмѣсто терминовъ „стеклянное“ и „смоляное электричество“ названіями „положительнаго“ и „отрицательнаго“ электричества, кото-

Рис. 208

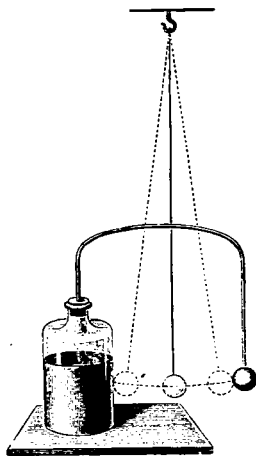


Франклинова доска.

рыя ввелъ Франклинъ. Эти названія имѣють то преимущество, что они какъ бы указываютъ на то, что обозначаемыя ими двѣ вещи, могутъ уничтожать другъ друга, какъ положительныя и отрицательныя числа. Однако, Франклину было нелегко объяснить при помощи своей теоріи опыты Дюфэ. Что положительно заряженное тѣло отталкиваетъ другое тѣло съ положительнымъ зарядомъ, Франклинъ объяснялъ тѣмъ, что частицы электрическаго флуида взаимно отталкиваются. Можно было кое-какъ объяснить и притяженіе между положительно наэлектризованными и отрицательно наэлектризованными тѣлами, говоря, что „естественное“ состояніе стремится возстановиться, причемъ тѣло, содержащее слишкомъ много электричества, отдаетъ часть его тому тѣлу, которое содержитъ его слишкомъ мало. Подобнымъ же образомъ можно объяснить и притяженіе между наэлектризованнымъ и ненаэлектризованнымъ тѣломъ. Причину этого можно было видѣть въ томъ, что электричество стремится распределиться равномерно въ обоихъ тѣлахъ. „Естественное“ состояніе стремится возстановиться, насколько возможно. Но объяснить, почему отталкиваются два тѣла съ отрицательнымъ зарядомъ, было трудно. Франклинъ помогъ себѣ допусшемъ, что частицы тѣлъ сами отталкиваются, если не обладаютъ нормальнымъ содержаніемъ электричества. Но это объясненіе очень искусственно и страдаетъ тѣмъ же недостаткомъ, какъ и соответственное объясненіе Эпинуса (§ 212) относительно магнетизма, т. е. провѣрка его правильности опытомъ невозможна.

272. Франклинова теорія электричества нашла хорошій приемъ у физиковъ Старога Свѣта, но больше всего имя Франклина стало извѣстнымъ въ научныхъ

Рис. 209



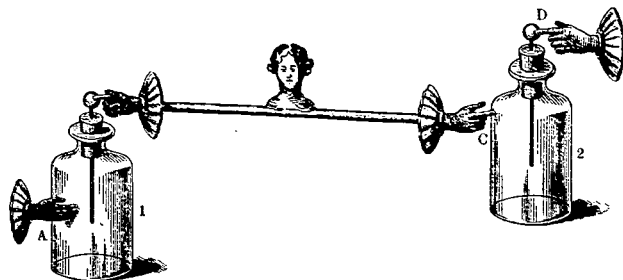
Опытъ Франклина съ Лейденской банкой.

кругахъ Европы благодаря его объясненію дѣйствія лейденской банки. Франклинъ нашелъ, что внутренняя и внѣшняя обкладки банки заряжены противоположными электричествами. Это можно было доказать и при помощи электрическаго маятника, но Франклинъ построилъ особый аппаратъ, который лучше обнаруживалъ электрическое состояніе обкладки заряженной лейденской банки. Металлическая палочка изображенной на рис. 209 банки изогнута и на концѣ снабжена латуннымъ шарикомъ. Этотъ шарикъ содержитъ, слѣдовательно, то же электричество, какъ и внутренняя обкладка банки. Къ латунному шару приближаютъ бузинный, подвѣшенный на шелковинкѣ. Бузинный шарикъ притягивается мѣднымъ, послѣ соприкосновенія отталкивается имъ, но притягивается внѣшней обкладкой банки. Послѣ соприкосновенія онъ отталкивается послѣдней, но снова притягивается латуннымъ шарикомъ и т. д. Бузинный шарикъ колеблется между мѣднымъ шарикомъ (соединеннымъ съ внутренней обкладкой) и внѣшней обкладкой и при каждомъ своемъ колебаніи переноситъ часть электричества съ одной обкладки на другую. Такимъ образомъ банка постепенно разряжается. Само собою разумѣется, что когда между обкладками уже нѣтъ разницы въ электрическомъ состояніи, маятникъ остается въ покоѣ.

Процессъ заряжанія банки Франклинь объясняетъ слѣдующимъ образомъ. Если соединить внутреннюю обкладку съ положительно заряженнымъ кондукторомъ, то электричество переливается въ банку. Вслѣдствіе этого измѣняется электрическое состояніе внѣшней обкладки. А именно, положительное электричество на внутренней обкладкѣ банки дѣйствуетъ отталкивающимъ образомъ на электричество внѣшней обкладки (не нужно забывать, что при зарядкѣ банки нужно касаться ея, для соединенія съ землей). Поэтому внѣшняя обкладка банки электризуется отрицательно и Франклинь утверждалъ, что количество отрицательнаго электричества на внѣшней обкладкѣ такъ же велико, какъ и сообщенное внутренней обкладкѣ. Значитъ, общее количество электричества, содержащееся въ банкѣ, остается совершенно одинаковымъ до зарядки и послѣ нея. Заряжаніе состоитъ только въ томъ, что на одной обкладкѣ получается избытокъ электричества, а на другой недостатокъ его по сравненію съ незлектрическимъ состояніемъ. Два электричества не могутъ соединиться подъ влияніемъ притяженія, которое онѣ оказываютъ другъ на друга, такъ какъ этому мѣшаетъ стекло, т. е. дурной проводникъ. Но притяженіе вызываетъ электрическое „напряженіе“, которое существуетъ постоянно и которое соединяетъ противоположныя электричества, какъ скоро между обкладками устанавливается сообщеніе при помощи проводника. — Франклинь заряжалъ банку также и „наоборотъ“, т. е. онъ ставилъ ее на кусокъ смолы и проводилъ къ внѣшней обкладкѣ электричество отъ положительно заряженнаго кондуктора, касаясь въ то же время пальцемъ шарика, соединеннаго съ внутренней обкладкой. Въ этомъ случаѣ внѣшняя обкладка электризовалась положительно, а внутренняя отрицательно.

Въ одномъ изъ своихъ писемъ къ Коллинсону Франклинь объясняетъ, какъ можно перевести зарядъ изъ одной банки въ другую, поясняя это рис. 210.

Рис. 210

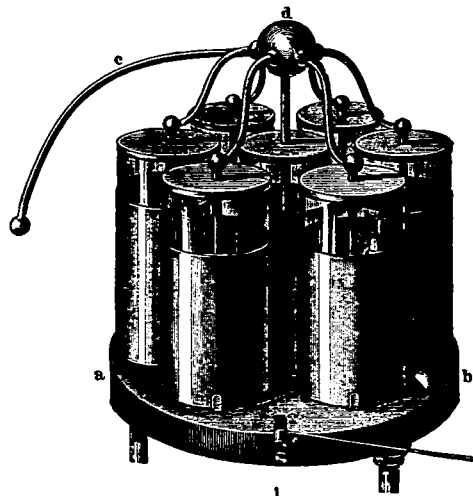


Разрядъ одной лейденской банки въ другую.

Банки 1 и 2 обѣ заряжены. Одинъ человѣкъ касается внѣшней обкладки банки 1, другой шарика банки 2. Если теперь третій человѣкъ, стоящій на изолирующей подставкѣ, соединяетъ проводникомъ внутреннюю обкладку банки 1 съ внѣшней обкладкой банки 2, то обѣ банки разряжаются. Положительное электричество банки 1 переносится такимъ образомъ на внѣшнюю обкладку банки 2, которая была заряжена отрицательно. Этотъ опытъ также доказывалъ, что обкладки лейденской банки заряжены противоположными электричествами.

273. Количество электричества, которое можетъ перейти съ заряженнаго кондуктора въ лейденскую банку, конечно, тѣмъ больше, чѣмъ больше металлическая обкладка банки. Когда хотятъ имѣть очень большую металлическую поверхность, то вмѣсто одной большой банки удобнѣе имѣть болѣе значительное число малыхъ банокъ, соединенныхъ въ такъ называемую батарею (рис. 211). Такого рода батареями пользовались какъ Гралатъ, такъ и Винклеръ. Банки стоятъ на металлической доскѣ, отведенной къ землѣ, а всѣ внутреннія обкладки соединены металлическими стержнями, которые въ свою очередь соединены съ кондукторомъ машины. Всѣ

Рис. 211



Батарея лейденскихъ банокъ.

банки заряжаются одновременно. Точно такъ же одновременно онѣ и разряжаются, когда между внутренней и внѣшними обкладками устанавливается соединеніе при помощи проводника.

Стекланная стѣнка лейденской банки, какъ было сказано, должны препятствовать соединенію электричества двухъ обкладокъ. При сильномъ зарядѣ, однако, напряженіе между двумя обкладками можетъ стать такимъ большимъ, что электричества пройдутъ сквозь стекланную стѣнку и разобьютъ ее. Но, какъ открылъ Франклинъ, стекланная стѣнка играетъ здѣсь еще и другую роль. На рис. 212 изображена пластинка для заряданія, или конденсаторъ, которая устроена такъ, что обкладки *A* и

B укрѣпленныя на стекланныхъ подставкахъ, можно удалить отъ стекла *C*. Съ такою пластинкой Франклинъ произвелъ слѣдующій опытъ. Обкладки *A* и *B* касались стекла, причемъ *A* получала положительный зарядъ отъ кондуктора машины, а *B* при помощи металлической цѣпи соединялась съ землей. Когда пластинка была заряжена, соединеніе *A* съ кондукторомъ и *B* съ землею прерывалось. Затѣмъ обкладки *A* и *B* удалялись отъ стекла *C* и оказывалось, что на нихъ было только чрезвычайно ничтожное количество электричества. Но когда ихъ разряжали и снова приводили въ соприкосновеніе со стекломъ *C*, обкладки снова получали почти совершенно такой же зарядъ, какъ вначалѣ. Франклинъ сдѣлалъ отсюда выводъ, что электричество находится главнымъ образомъ на поверхности стекла, гдѣ его удерживаетъ взаимное притяженіе. При этомъ онъ высказалъ взглядъ, что степень возможнаго „напряженія“ электричества по обѣ стороны стекла зависитъ и отъ свойствъ самого стекла.

274. Еще раньше Винклеръ ввелъ особое понятіе „электрической атмосферы“. Онъ представлялъ себѣ электричество въ видѣ чрезвычайно тонкаго эфирнаго вещества. При электризаціи тѣла натираніемъ процессъ, по его мнѣнію, состоитъ въ

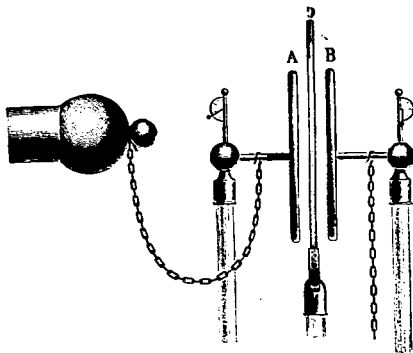
томъ, что тѣло облекается электрической атмосферой, причемъ треніе и производитъ то, что частички электричества отдѣляются отъ частичекъ самого тѣла.

Конечно, приходилось говорить о положительной и объ отрицательной „электрической атмосферѣ“, такъ какъ были извѣстны какъ положительно-электрическія, такъ и отрицательно-электрическія тѣла. Удивительно, что Франклинъ также пользовался этимъ представленіемъ объ электрической атмосферѣ, хотя оно плохо согласовалось съ его взглядомъ на отрицательное электричество.—Членъ Royal Society (§ 265) Джонъ Кантонъ рядомъ опытовъ доказалъ, однако, что допущеніе этой „электрической атмосферы“ невозможно. Онъ замѣтилъ, что при натираниіи фланелью гладкое стекло электризуется положительно, а матовое, напротивъ того, отрицательно. Было бы, конечно, чрезвычайно странно допускать, что натираниіе гладкаго стекла производитъ положительную, а натираниіе матоваго стекла — отрицательную электрическую атмосферу.

Еще труднѣе было согласовать съ понятіемъ электрическихъ атмосферъ другое сдѣланное имъ открытіе. Кантонъ приближалъ отрицательно заряженный шаръ *C* (рис. 213) къ металлическому цилиндру *AB*, изолированному стеклянной ножкой. Висѣвшіе на цилиндрѣ маленькіе маятники расходились,—знакъ того, что цилиндръ электризовался при приближеніи наэлектризованнаго шара. При болѣе точномъ изслѣдованіи оказалось, что металлическій цилиндръ на концѣ *A* электризуется положительно, а на концѣ *B* отрицательно. Такимъ образомъ, цилиндръ долженъ былъ имѣть на одномъ концѣ положительную, а на другомъ отрицательную атмосферу. По мнѣнію Кантона это было слишкомъ искусственное объясненіе. Самъ онъ, однако, не могъ объяснить этого явленія инымъ способомъ лучше, чѣмъ объяснялъ его Франклинъ.

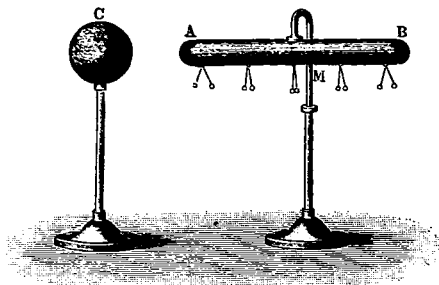
Вильке (§ 51) повторилъ опыты Кантона и описалъ ихъ точнѣе; онъ побудилъ также заняться этимъ вопросомъ своего друга Эпинуса (§ 212). Послѣдній былъ приверженцемъ теоріи Франклина и съ ея помощью объяснилъ открытія Кантона. Когда положительно заряженный шаръ *C* приближается къ цилиндру *AB*, то электричество, находящееся въ цилиндрѣ *AB* при естественномъ состояніи, отталкивается къ концу *B*. Такимъ обра-

Рис. 212



Конденсаторъ съ подвижными обкладками.

Рис. 213

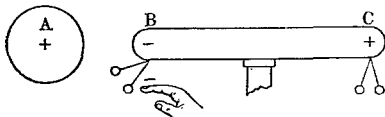


Опытъ Кантона.

зомъ, конецъ *B* цилиндра электризуется положительно, а конецъ *A*, откуда электричество отталкивается, электризуется отрицательно. На срединѣ *AB*, въ мѣстѣ перехода отъ положительнаго къ отрицательному электричеству, электрической силы нѣтъ и маятники здѣсь не расходятся (рис. 213). Напряженіе электричества убываетъ отъ концовъ къ срединѣ. Когда наэлектризованный шаръ *C* удаляется, положительное и отрицательное электричества снова соединяются и *AB* становится незлектрическимъ.

Эпинусъ доказалъ справедливость своего объясненія слѣдующимъ опытомъ. Положительно заряженный шаръ *A* (рис. 214) приближается къ цилиндру *BC*, который въ силу этого электризуется отрицательно на концѣ *B* и положительно на концѣ *C*. Если теперь коснуться пальцемъ цилиндра *BC* въ какомъ-нибудь мѣстѣ, то положительное электричество уйдетъ черезъ тѣло въ землю. И если послѣ этого отнять палецъ, а затѣмъ удалить *A*, то *BC* вездѣ будетъ имѣть отрицательный зарядъ. Это согласуется съ теоріей. Положительное электричество удалено прочь, значить, тѣло должно быть наэлектризовано отрицательно. Въ этомъ случаѣ тѣло наэлектризовалось, не будучи натираемо и не касаясь

Рис. 214



Электризація черезъ вліяніе.

о „двухъ электрическихъ силахъ“. Ихъ авторъ, Робертъ Симмеръ (ум. 1763), въ этихъ статьяхъ снова вернулся къ теоріи Дюфэ, т. е. къ теоріи, что существуетъ два рода электричества. Симмеръ обыкновенно носилъ двѣ пары шелковыхъ чулокъ. черныхъ и бѣлыхъ, надѣтыхъ одни поверхъ другихъ. Стягивая однажды въ темнотѣ верхнюю пару, онъ замѣтилъ электрическія искры, сопровождавшіяся легкимъ трескомъ. Снятые чулки были какъ бы надуты, такъ что ихъ можно было поставить на стулѣ. При приближеніи другъ къ другу они сильно отталкивались. Симмеръ повторилъ то же самое съ двумя чулками одинаковаго цвѣта, но послѣдніе не наэлектризовались. Такимъ образомъ различіе въ окраскѣ (черная краска получалась изъ чернильныхъ орѣшковъ и желѣзнаго купороса) играло въ этомъ явленіи существенную роль.

Это наблюденіе привело Симмера къ гипотезѣ, что тѣла въ естественномъ (т. е. незлектрическомъ) состояніи содержатъ оба рода электричества въ равномъ количествѣ. Но если тереть два тѣла одно о другое, то положительное электричество переходитъ въ одно изъ нихъ, а отрицательное въ другое и притомъ оба они появляются въ одинаковомъ количествѣ. При этомъ допущеніи находятъ очень простое объясненіе и тѣ явленія электризаціи черезъ вліяніе, которыя наблюдались Кантономъ и Эпинусомъ. Если приближать положительно-электрическое тѣло *A* (рис. 214) къ незлектрическому кондуктору *BC*, то *A* притягиваетъ отрицательное электричество и отталкиваетъ положительное. Такимъ образомъ, первое собирается на концѣ *B*, а послѣднее на концѣ *C*. Съ удаленіемъ *A* эти два электричества снова соединяются и *BC* становится незлектрическимъ. Если, напротивъ, коснувшись *BC*, отвести электричество въ землю, пока *A* находится еще

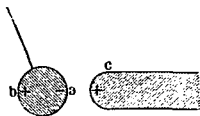
какого-нибудь наэлектризованнаго тѣла. Такого рода электризацію согласно теоріи Симмера (ср. слѣдующій § 275) называютъ электризаціей черезъ вліяніе.

275. Въ 1759 году въ *Philosophical Transactions* появился рядъ статей

вблизи, то положительное электричество уходит и на BC остается отрицательное. Если теперь прервать соединение съ землей и затѣмъ удалить A , то BC оказывается заряженнымъ отрицательнымъ электричествомъ. Тѣло BC зарядилось чрезъ вліяніе.

Что тѣло, содержащее равномѣрно смѣшанныя одинаковыя количества положительнаго и отрицательнаго электричества, не обнаруживаетъ электрическихъ силъ, Симмеръ объясняетъ слѣдующимъ образомъ. Пусть c (рис. 215) будетъ положительно заряженное тѣло. Когда оно притягиваетъ бузинный шарикъ, то въ послѣднемъ электричество раздѣляется. Сторона, обращенная къ тѣлу c , электризуется отрицательно, противоположная положительно и, разумѣется, притяженіе между c и a будетъ больше, чѣмъ отталкиваніе между c и b . Такимъ образомъ, шарикъ будетъ притягиваться къ c . Но еслибы каждая часть c вмѣсто положительнаго электричества содержала такое же количество отрицательнаго, то распредѣленіе электричества въ шарикѣ было бы обратное: въ a находилось бы положительное, а въ b отрицательное электричество. Если въ c равномѣрно смѣшаны положительное и отрицательное электричества въ равномъ количествѣ, то шарикъ, очевидно, остается неэлектрическимъ, т. е. въ немъ не происходитъ раздѣленія электричества.

Рис. 215



Объясненіе Симмера.

Электричество при соприкосновеніи въ теоріи Симмера представляется нѣсколько иначе, чѣмъ въ теоріи Франклина. Согласно первой при соприкосновеніи на шарикъ переходитъ изъ c нѣкоторое количество положительнаго электричества, согласно же послѣдней имѣетъ мѣсто обратное: отрицательное электричество шарика переходитъ въ c , а положительное остается на шарикѣ.

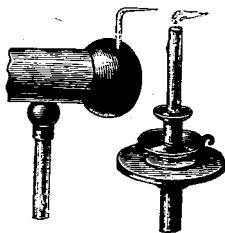
276. Можетъ показаться, что такъ называемая дуалистическая теорія Симмера не такъ проста, какъ унитарная теорія Франклина. Но въ дѣйствительности при объясненіи электрическихъ явленій послѣдняя представляетъ больше трудностей, чѣмъ первая. Припомнимъ, что по Франклиновой теоріи не легко объяснить, почему отрицательно-электрическія тѣла отталкиваются. Согласно теоріи Симмера отрицательно-электричесія тѣла отталкиваются по той же причинѣ, по какой отталкиваются и положительно-электрическія, если результаты опытовъ Дюфэ представить въ такой простой формѣ: однородныя электричества отталкиваются, разнородныя притягиваются.

Франклинъ самъ сдѣлалъ открытіе, которое явилось сильной опорой теоріи Симмера и которое побудило различныхъ физиковъ, напримѣръ, упомянутого выше Вильке, отказаться отъ унитарной теоріи и принять дуалистическую.

Открытіе Франклина касалось дѣйствія остроконечій, помѣщенныхъ на кондукторѣ или передъ нимъ. Если помѣстить заостренную металлическую палочку на заряженный кондукторъ, то электричество начинаетъ истекать по этому острию и кондукторъ разряжается. Если направить заостренный конецъ металлической палочки къ заряженному кондуктору, то даже на значительномъ разстояніи онъ будетъ притягивать электричество изъ кондуктора. Такимъ образомъ Франклинъ разряжалъ кондукторъ при помощи спицы на разстояніи одного фута. Вильке очень тщательно изслѣдовалъ это явленіе и нашель, что при этомъ видѣ разряда отъ острия идетъ токъ воздуха, который и уноситъ электричество. Если кондукторъ заряженъ достаточно

сильно, положительнымъ или отрицательнымъ электричествомъ—безразлично, то отъ острія идетъ такой воздушный токъ, что имъ можно задуть пламя свѣчи (рис. 216). Изображенную на рис. 217 электрическую мельничку можно даже привести въ движеніе этимъ такъ называемымъ „электрическимъ вѣтромъ“, такимъ же образомъ, какъ эолипиль Герона (§ 56) приводился въ движеніе паромъ. Ея устройство ясно изъ чертежа. Электрической вѣтеръ происходитъ отъ того, что частицы воздуха (или носящіяся въ воздухѣ частицы пыли), касаясь острія, электризуются и затѣмъ отталкиваются остріемъ. Производя эти опыты въ темной комнатѣ, Герике замѣтилъ, что истеченіе электричества связано со свѣтовыми явленіями: изъ острія, по которому уходило электричество, исходилъ пучокъ свѣта. По мнѣнію Вильке эти явленія было трудно согласовать съ теоріей Франклина. Дѣйствительно, по этой теоріи только положительно заряженный кондукторъ могъ отдавать электричество, отрицательно же заряженный, напротивъ, долженъ былъ бы вбирать въ себя электричество. Поэтому Вильке перешелъ на сторону теоріи Симмера и его примѣру послѣдовало много другихъ физиковъ.

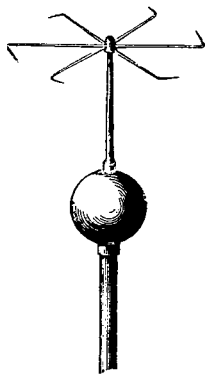
Рис. 216



Дѣйствіе остроконечій.

Впрочемъ, истеченіе отрицательнаго электричества изъ остроконечій можно объяснить и при помощи теоріи Франклина. Именно, отрицательно наэлектризованное остріе притягиваетъ частицы воздуха, которыя отдаютъ ему часть своего электричества, затѣмъ отталкиваются и уходятъ уже наэлектризованными отрицательно, т. е. съ недостаткомъ электричества.—Такимъ образомъ, явленія на остріяхъ не нарушали унитарной теоріи. Еще и теперь остается нерѣшеннымъ, существуетъ ли два электрическихъ флуида или только одинъ. Впрочемъ, обѣ эти теоріи являются только вспомогательными средствами, дающими намъ возможность удобно формулировать въ словахъ ходъ явленій. Ни одна изъ нихъ не можетъ утверждать, что она даетъ дѣйствительное объясненіе явленій. Въ дальнѣйшемъ мы будемъ пользоваться выраженіями дуалистической теоріи.

Рис. 217



Электрическая мельничка.

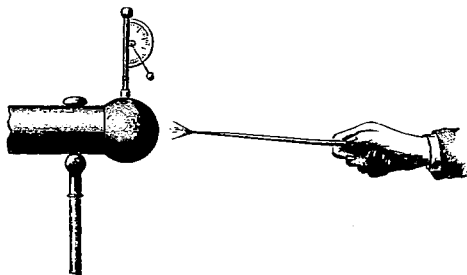
277. Открытіе Франклина, состоящее въ томъ, что при помощи заостренной металлической палочки можно отнимать электричество отъ заряженнаго кондуктора даже съ болѣе значительнаго разстоянія, можетъ быть легко объяснено. Именно, кондукторъ (рис. 218) раздѣляетъ электричество въ тѣлѣ съ остріемъ, и если кондукторъ заряженъ положительно, то съ острія къ кондуктору течетъ отрицательное электричество. Поэтому кондукторъ совершенно или отчасти терять свой зарядъ.

Наблюденія надъ дѣйствіемъ остроконечій стоятъ въ самой тѣсной связи съ наиболѣе знаменитымъ изобрѣтеніемъ Франклина, громоотводомъ.

Уже докторъ Волль (§ 258) высказалъ предположеніе, что молнія представляетъ сильную электрическую искру, а позднѣе Винклеръ утверждаетъ съ полнѣйшей опредѣленностью, что молнія отличается отъ электрической искры не по существу,

а только по степени. Опыты съ лейденской банкой, дававшей очень сильныя искры, въ значительной мѣрѣ подтверждали правильность этого предположенія, хотя и не представляли рѣшительнаго доказательства. Франклинъ нѣсколько разъ касался этого вопроса въ своихъ письмахъ къ Коллинсону. Такъ, въ 1750 году онъ писалъ: „Если грозовыя облака дѣйствительно наэлектризованы, то нельзя ли въ такомъ случаѣ защитить отъ удара молшія дома, церкви, корабли и пр. устройствомъ высокиихъ заостренныхъ желѣзныхъ шестовъ? Отъ основанія такого желѣзнаго шеста должна была бы идти по наружной стѣнѣ дома въ землю или по борту корабля въ воду металлическая проволока. Эти заостренные желѣзные шесты, вѣроятно, безшумно отводили бы электричество изъ облака прежде, чѣмъ послѣднее приблизилось бы настолько, чтобы можно было опасаться удара молніи; этимъ способомъ можно было бы защититься отъ этого ужаснаго несчастья.“

Рис. 218



Дѣйствиѣ остроконечій.

278. Франклинъ предложилъ рѣшить вопросъ о томъ, наэлектризованы ли грозовыя облака; онъ полагалъ, что человѣкъ, помѣщенный изолированно на башнѣ или на другомъ высокомъ мѣстѣ и держаний заостренный кусокъ желѣза концомъ къ облаку, наэлектризуется и самъ, если въ облакахъ есть электричество (ср. рис. 219). Самъ Франклинъ не сдѣлалъ этого опыта. Но одинъ французъ, по имени Далибаръ, въ 1752 году установилъ въ одномъ мѣстѣ въ окрестностяхъ Парижа желѣзный шестъ вышиною въ 40 футовъ, въ извѣстной мѣрѣ изолированный деревянной рѣшеткой. Когда, 10 мая, надъ этимъ шестомъ прошло грозое облако, шестъ наэлектризовался такъ сильно, что изъ него можно было извлекать искры длиною въ $1\frac{1}{2}$ дюйма. Въ то же время Делоръ въ Парижѣ установилъ желѣзный шестъ вышиною въ 99 футовъ, при помощи котораго 18 мая онъ извлекъ искры при прохожденіи надъ нимъ грозоваго облака. Франклинъ также убѣдился при помощи еще одного опыта въ томъ, что въ грозовыхъ облакахъ есть электричество. Это произошло въ іюнѣ того же года, еще раньше, чѣмъ ему пришлось услышать что-нибудь объ опытахъ, сдѣланныхъ въ Европѣ. Франклинъ запустилъ подъ облака сдѣланный изъ шелка воздушный змѣй. Къ змѣю было прикрѣплено металлическое острѣе, а къ послѣднему пеньковая бечевка, за которую змѣй держали. На нижнемъ концѣ бечевки висѣлъ ключъ, а къ послѣднему была привязана шелковая веревочка, служившая изолирующей рукояткой. Когда змѣй подымался по направленію къ грозовымъ облакамъ и послѣ того, какъ бечевка намокала отъ дождя, изъ ключа можно было извлекать искры. Эти опыты не оставляли никакихъ сомнѣній въ томъ, что грозовыя облака наэлектризованы и что молнія есть электрическая искра. Рис. 218 поясняетъ дѣйствиѣ облака на заостренный желѣзный шестъ или на змѣй. Электричество облака раздѣляетъ электричество въ шестѣ и въ послѣднемъ получается то электричество, которое имѣетъ облако, противоположное же электричество стекаетъ съ него по направленію къ облаку.

Франклинъ поставилъ на своемъ домѣ заостренный желѣзный шестъ, съ помощью котораго онъ могъ наблюдать электрическое состояніе воздуха. Пользуясь электрическимъ маятникомъ, онъ могъ наблюдать, какого рода электричество содержалъ шестъ. Къ своему удивленію онъ замѣтилъ, что бываютъ и положительно и отрицательно наэлектризованныя облака. Обыкновенно они бываютъ наэлектризованы отрицательно.

Съ этого времени многіе физики стали наблюдать съ помощью „электрическаго шеста“ электрическое состояніе воздуха, но только постепенно они успѣли выработать необходимая предохранительныя приспособленія. Въ самомъ дѣлѣ, такой шестъ можетъ стать очень опаснымъ, такъ какъ при сильной электризаціи облаковъ очень сильно электризуется и шестъ, который затѣмъ даетъ сильныя искры (молніи) отъ себя къ окружающимъ предметамъ. Въ 1753 году петербургскій профессоръ Рихманнъ былъ убитъ сильной электрической искрой, которую онъ извлекъ изъ своего электрическаго указателя при прохожденіи надъ домомъ грозового облака. Его указатель состоялъ изъ желѣзнаго шеста, установленнаго въ комнатѣ и соединеннаго проволокой съ помѣщавшимся на крышѣ дома остриемъ, но не снабженнаго отводомъ къ землѣ. Однако, судьба Рихманна не испугала другихъ наблюдателей. Профессоръ Бозе въ Витгенбергѣ (§ 265) нашелъ смерть Рихманна такой прекрасной, что желалъ подобной смерти и себѣ, а другой современникъ, докторъ Крюницъ, находилъ судьбу Рихманна даже завидной. Электрической шестъ вызвалъ настоящій энтузіазмъ и имя Франклина было на устахъ у всѣхъ.

279. Какъ уже было упомянуто, Франклинъ имѣлъ въ виду практическую цѣль. Онъ хотѣлъ найти защиту отъ ударовъ молніи для зданій и кораблей и идея громоотвода была у него еще раньше, чѣмъ онъ окончательно удостовѣрился въ томъ, что молнія есть электрическая искра. Поставленный на его домѣ шестъ былъ первымъ громоотводомъ,—онъ провелъ отъ него проволоку, которую соединилъ съ желѣзной помпой, стоявшей въ колодецѣ.

Этотъ первый громоотводъ обладалъ всѣми существенными свойствами хорошаго громоотвода. Онъ подымался надъ тѣмъ зданіемъ, которое нужно было защитить отъ ударовъ молніи, и былъ связанъ металлическимъ проводомъ съ влажною, т. е. проводящею электричество, почвою. О томъ, какую вышину долженъ имѣть громоотводъ для того, чтобы вполне защитить зданіе, какой толщины онъ долженъ быть, чтобы не расплавиться отъ удара молніи, и какимъ образомъ нужно производить въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ соединеніе съ землей,—относительно всего этого Франклинъ не могъ дать опредѣленныхъ указаній. Надежный отвѣтъ на эти вопросы могъ дать только опытъ. Но прежде чѣмъ остановиться подробнѣе на этихъ вопросахъ, мы сначала рассмотримъ дѣйствіе грозовыхъ облаковъ на землю и на другія облака.

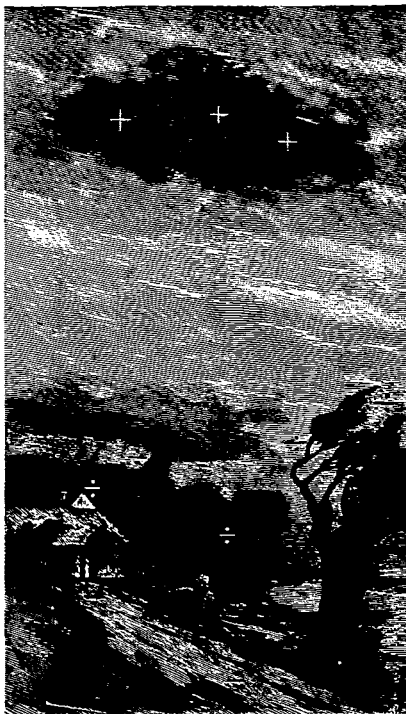
280. Рис. 219 показываетъ дѣйствіе вліянія наэлектризованнаго облака на землю. Отрицательное электричество (—) притягивается имъ, а положительное (+) отталкивается. Распределеніе электричества на землѣ, т. е. электризація земной поверхности, зависитъ отъ различныхъ обстоятельствъ, а именно, отъ количества электричества въ облакѣ, отъ высоты облака надъ землею и отъ состава почвы въ данномъ мѣстѣ. Если послѣдняя очень плохо проводитъ электричество, то дѣйствіе вліянія облаковъ будетъ очень незначительно, хотя бы само облако было наэлектри-

зовано сильно. Напротивъ того, если почва состоитъ изъ хорошихъ проводниковъ, то вліяніе наэлектризованнаго облака будетъ велико. Послѣднее имѣетъ мѣсто особенно во влажной почвѣ и въ водѣ. Во влажныхъ слояхъ земли корни деревьевъ и другихъ растений проводятъ электричество къ частямъ растеній, находящимся надъ землею. Въ зданіяхъ притягиваемое электричество также подымается вверхъ. Между облакомъ и землею, съ находящимися на ней предметами, возникаетъ электрическое напряженіе. Облако и почва образуютъ двѣ обкладки конденсатора, изолирующимъ слоемъ котораго является находящійся между ними воздухъ. Но когда напряженіе между обкладками конденсатора дѣлается достаточно сильнымъ, электричество „ударяетъ“

сквозь стекло (§ 273). Такимъ же образомъ электричество проходитъ черезъ воздухъ между облакомъ и землею, и эти электричества облака и земли соединяются. Когда въ воздухѣ происходитъ быстрое соединеніе значительныхъ количествъ электричества, то получается электрическая искра, показывающая путь, по которому происходитъ соединеніе. Эта электрическая искра и есть молнія. Ея путь обыкновенно представляетъ зигзагообразную лишію, рѣже прямую. Свойства и дѣйствіе электрической искры подробно описаны въ § 298. Здѣсь нужно только замѣтить, что путь молніи опредѣляется двумя обстоятельствами. Молнія падаетъ на тѣ мѣста земной поверхности, гдѣ электрическое напряженіе больше всего, напряженіе же зависитъ отъ количества раздѣленныхъ электричествъ и отъ разстоянія между двумя массами разноименныхъ электричествъ. Въ то же время молнія попадаетъ въ точку, гдѣ электрическое напряженіе больше всего, тѣмъ путемъ, который представляетъ наименьшее сопротивленіе.—Подобно тому какъ текущая вода всегда избираетъ тотъ путь, на которомъ ея паденіе больше всего, такъ и электричество распространяется всегда по тому пути, въ которомъ встрѣчаетъ наименьшее сопротивленіе. Винклеръ доказалъ это опытами съ лейденской банкой. Именно, соединяя ея внѣшнюю и внутреннюю обкладку, причѣмъ проводникомъ служили одновременно и его тѣло и длинная тонкая металлическая проволока, онъ совершенно не ощущалъ электрическаго разряда,—послѣдшій шелъ исключительно по металлической проволокѣ.

Если вблизи наэлектризованнаго облака находится ненаэлектризованное, то пер-

Рис. 219



Дѣйствіе грозового облака чрезъ вліяніе.

вое изъ нихъ оказываетъ дѣйствіе не только на землю, но одновременно и на другое облако (рис. 220). Если же между этими двумя облаками происходитъ разрядъ, то дѣйствіе вліянія грозовыхъ облаковъ прекращается и раздѣленные въ землѣ электричества соединяются. Это производитъ на ту часть земли, гдѣ это случается, такое дѣйствіе, какъ будто въ это мѣсто ударила молнія. Этотъ такъ называемый возвратный ударъ упоминается впервые лордомъ Стангопомъ въ 1779 году. Конечно, ударъ чувствуется и въ тѣхъ мѣстахъ земной поверхности, которая лежатъ по сосѣдству съ тѣмъ мѣстомъ, куда разряжается электричество. Этотъ ударъ иногда достигаетъ такой силы, что убиваетъ людей и животныхъ.

281. Громоотводъ Франклина былъ устроенъ въ соотвѣтствіи съ этимъ дѣйствіемъ грозовыхъ облаковъ. Громоотводъ доходитъ внизу до влажныхъ слоевъ земли. Грозное облако своимъ вліаніемъ электризуетъ послѣднюю и притягиваемое

Рис. 220



Дѣйствіе облаковъ другъ на друга.

облакомъ электричество поднимается по металлическому проводнику къ острію громоотвода. Здѣсь возникаетъ сильное электрическое напряженіе, электричество течетъ по направленію къ облаку и ослабляетъ электричество послѣдняго. Но если напряженіе между облакомъ и землею настолько сильно, что получается молнія, то послѣдняя ударяетъ въ остріе громоотвода, которое ближе къ облаку, чѣмъ зданіе, и напряженіе котораго также значительнѣе, чѣмъ напряженіе зданія.

Многіе современники Франклина не понимали способа дѣйствія громоотвода. Нѣкоторые изъ нихъ, напримѣръ, врачъ Іоганнъ Реймарусъ (1729—1814) въ Гамбургѣ, опасались, что молнія попавъ въ почву, можетъ вызывать взрывы подпочвенныхъ водъ.

Однажды итальянскій физикъ Джованни Беккариа (1716—1781) пропустилъ сильную электрическую искру сквозь трубку, наполненную водой, и при этомъ образовалось такое количество паровъ, что трубка лопнула.—Реймарусъ полагагалъ, что нѣчто подобное произойдетъ и въ томъ случаѣ, если молнія будетъ отведена въ подпочвенную воду, т. е. при

этомъ образуется много паровъ, а вслѣдствіе того и сильный взрывъ. Реймарусъ думалъ, что этимъ путемъ могутъ возникать землетрясенія, достаточно сильныя для того, чтобы разрушить зданіе, на которомъ находится громоотводъ. Это были, однако, совершенно неосновательные страхи, такъ какъ электрической разрядъ про-

исходитъ по тому пути, на которомъ молнія встрѣчаетъ наименьшее сопротивление. Поэтому, чѣмъ лучше проводить тотъ путь, по которому идетъ молнія, тѣмъ меньше вреда причиняетъ она на этомъ пути. Нужно также замѣтить, что молнія представляеть собою соединеніе двухъ родовъ электричества, изъ которыхъ одно идетъ отъ облака, другое отъ земли. Поэтому безразлично, сказать ли, что молнія ударила изъ облака въ землю или что она ударила изъ земли въ облако. Какъ ни представлять себѣ это, задача громоотвода состоитъ въ томъ, чтобы установить соединеніе, при помощи проводника, между электричествомъ облака и электричествомъ земли, обусловленнымъ влияніемъ облака. Поэтому громоотводъ долженъ отводиться до подпочвенной воды.

Другое соображеніе, приводившееся противъ Франклинова громоотвода, касалось самого острія. Членъ Royal Society. Бенджаминъ Вильсонъ (1708—1788) объявилъ, что заостренный громоотводъ опасенъ, такъ какъ онъ притягиваетъ молнію, т. е. содѣйствуетъ тому, чтобы изъ облака получался ударъ, который въ противномъ случаѣ и не произошелъ бы надъ даннымъ мѣстомъ. По мнѣнію Вильсона громоотводъ долженъ быть заканчиваться не остриемъ, а, напротивъ, шаромъ.

Другіе физики были того мнѣнія, что громоотводы нужно снабжать не однимъ остриемъ, а значительнымъ числомъ ихъ. На самомъ дѣлѣ почти безразлично, оканчивается ли громоотводъ острымъ или тупымъ концомъ, поскольку дѣло касается того, чтобы привлечь молнію. Можетъ быть, дальность удара молніи по направленію къ острому проводнику нѣсколько больше, чѣмъ къ тупому, но зато острый конецъ лучше отводитъ, такъ какъ съ него стекаетъ больше электричества къ облаку, чѣмъ съ тупого. Въ настоящее время употребляютъ вообще остроконечные громоотводы.

282. Во многихъ мѣстахъ введеніе громоотводовъ встрѣчало сильное сопротивленіе, такъ какъ въ молніи видѣли орудіе божеской кары и потому въ введеніи громоотвода усматривали попытку освободиться отъ праведнаго божескаго наказанія. Этимъ предрасудкамъ, а равно и неправильной установкѣ громоотводовъ нужно приписать, что это приспособленіе прививалось такъ медленно и далеко не вездѣ.

Въ настоящее время громоотводы устанавливаются по преимуществу только на дорогихъ постройкахъ, а также на школахъ, госпиталяхъ, тюрьмахъ, казармахъ, музеяхъ, бібліотекахъ, пороховыхъ магазинахъ и другихъ общественныхъ зданіяхъ. Лишь въ немногихъ мѣстахъ громоотводами снабжаются и частныя зданія вообще. Такою странною, въ которой почти каждый домъ имѣетъ громоотводъ, является, напримѣръ, западный Гольштейнъ.

При установкѣ громоотвода главную роль играетъ вопросъ, какъ защитить зданіе отъ молніи наиболѣе дешевымъ путемъ. Самый громоотводъ въ существенномъ состоитъ изъ тѣхъ же трехъ частей, изъ которыхъ состоялъ громоотводъ Франклина, а именно изъ земной проводки, воздушной проводки и шпица.

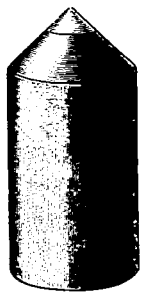
Земная проводка должна представлять хорошее соединеніе между воздушной проводкой и землей. Она состоитъ изъ пластинки или сѣтки, сдѣланныхъ изъ того же металла (жельза или мѣди), какъ и воздушная проводка. Нерѣдко пользуются также цинкомъ. Помѣщать пластинку лучше всего въ почвенной водѣ или, во всякомъ случаѣ, во влажной землѣ, для того чтобы она была хорошо „отведена“. Если пластинка помѣщается въ водѣ, то она должна быть величиной приблизительно въ одинъ квадратный метръ. Если она находится во влажной землѣ, то она должна быть

вдвое больше. Если подпочвенная вода лежитъ очень глубоко, то вблизи земной поверхности помѣщаютъ „вспомогательную пластинку“, вокругъ которой земля дѣлается проводникомъ отъ просачивающейся дождевой воды. Пластинка должна стоять отвѣсно, такъ какъ въ этомъ случаѣ электричество будетъ отводиться одинаково хорошо въ обѣ стороны. Если пластинка находится въ колодезѣ, то ее нельзя дѣлать изъ мѣди, такъ какъ этотъ металлъ образилъ бы воду.

Воздушная проводка образуетъ соединеніе между пластинкой въ землѣ и шпикомъ и должна быть сдѣлана изъ того же металла, желѣза или мѣди, изъ котораго сдѣлана пластинка. Оба металла обыкновенно употребляются въ видѣ проволочныхъ канатовъ, сплетенныхъ изъ 7—10 проволокъ. Гальванизованная желѣзная проволока такъ же прочна, какъ и мѣдная, и значительно дешевле ея.

Верхняя часть громоотвода, шпикъ, представляетъ желѣзный шестъ, на который навинчивается толстый мѣдный наконечникъ (рис. 221). Верхній конецъ этого наконечника дѣлается изъ платины, которая очень тугоплавка и не измѣняется на воздухѣ.

Рис. 221

Мѣдное острие
громоотвода.

Отдѣльныя части громоотвода должны быть тщательно соединены и спаяны между собою такъ, чтобы представлять одинъ непрерывный металлическій проводъ отъ шпика до пластинки въ землѣ.

283. Теперь возникаетъ вопросъ, каюе размѣры долженъ имѣть громоотводъ и на какое разстояніе простирается его дѣйствіе. На эти вопросы можетъ дать отвѣтъ только опытъ. Если проводникъ состоитъ изъ мѣднаго каната, то послѣдній долженъ имѣть около 15 мм толщины, а отдѣльныя проволоки должны быть въ діаметрѣ не меньше 2 мм. Одинаковое съ этимъ дѣйствіе оказываетъ мѣдный шестъ толщиной въ 10 мм. Если проводникъ сдѣланъ изъ желѣзнаго каната, то послѣдній нужно брать толщиной въ 25—30 мм. Діаметръ отдѣльныхъ проволокъ долженъ быть около 4 мм. Массивный желѣзный шестъ можетъ имѣть въ толщину 20 мм. Что касается пластинки въ землѣ, то мѣдная должна имѣть не меньше 2 мм въ толщину, а желѣзная не меньше 5 мм. При такихъ размѣрахъ

не надо будетъ опасаться, что молнія можетъ расплавить проводникъ; а съ другой стороны, пластинка указанной толщины сохраняется въ землѣ довольно долгое время, не разрушаясь отъ окисленія окончательно. Разумѣется, тонкая пластинка сама по себѣ дѣйствуетъ такъ же хорошо, какъ и болѣе толстая.

Трудно отвѣтить на вопросъ, какъ велико пространство, которое защищается даннымъ громоотводомъ, такъ какъ это зависитъ отъ очень разнообразныхъ обстоятельствъ, напримѣръ, въ значительной степени отъ того направленія, по которому молнія должна дѣйствовать при ударѣ въ здаше. На ровныхъ мѣстахъ облака обыкновенно идутъ высоко надъ земной поверхностью и можно съ увѣренностью принять, что направленіе молніи никогда не уклоняется отъ отвѣсной линіи больше, чѣмъ на 45°. При такомъ предположеніи здаше, очевидно, будетъ защищено, если шпикъ громоотвода находится на высотѣ болѣе, чѣмъ его разстояніе отъ самой далекой точки конька крыши, такъ какъ въ такомъ случаѣ путь по громоотводу будетъ короче всякаго другого пути сквозь здаше (рис. 222). На этомъ рисункѣ высота шпика равна половинѣ длины карниза крыши, а отъ конца шпика проведена пунктирная линія, составляющая съ отвѣсной линіей уголъ въ 45°.—Если предста-

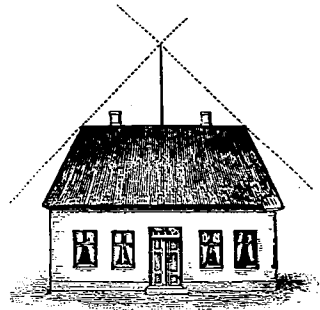
вить себя, что облако, разряжающееся надъ зданіемъ, находится внутри конуса, образованнаго пунктирными линиями, то легко видѣть, что шпигъ громоотвода ближе къ грозящей молніи, чѣмъ любая другая точка въ пространствѣ подъ шпигомъ между указанными двумя линиями,—въ такъ называемомъ первомъ защитномъ поясѣ или защитномъ конусѣ. Легко видѣть по рис. 223, что высота шпига въ сильной степени обусловливается формою крыши.

Для плоскихъ крышъ требуются болѣе высокіе шпиги, чѣмъ для крутыхъ, а гдѣ фронтонъ идетъ до самаго конька крыши, тамъ требуется гораздо болѣе высокій шпигъ, чѣмъ для крыши съ откосами на всѣ стороны (см. рис. 223). Основаніе и высота стѣнъ во всѣхъ этихъ трехъ зданіяхъ на рисункѣ одинаковы.

Но нѣтъ необходимости, чтобы все зданіе находилось въ первомъ защитномъ конусѣ,—въ немъ должны лежать, однако, наиболѣе высокіе углы, дымовыя трубы, башенки и проч. Составляя проектъ устройства громоотвода, специалистъ долженъ принять во вниманіе существующія соотношенія. Общихъ правилъ для всѣхъ деталей нельзя дать. Самыя высокія ребра зданія должны лежать во второмъ защитномъ конусѣ, который охватываетъ вдвое большее пространство, чѣмъ первый. Всѣ высоко лежащія части поверхности крыши должны лежать въ третьемъ защитномъ конусѣ, а низкіе углы въ „конусѣ $2\frac{1}{2}$ “.

Для того же, чтобы выполнить эти условія безъ слишкомъ большого числа шпигцевъ, слѣдовало бы дѣлать ихъ высокими, но это непрактично, такъ какъ вы-

Рис. 222



Первый защитный поясъ громоотвода.

Рис. 223



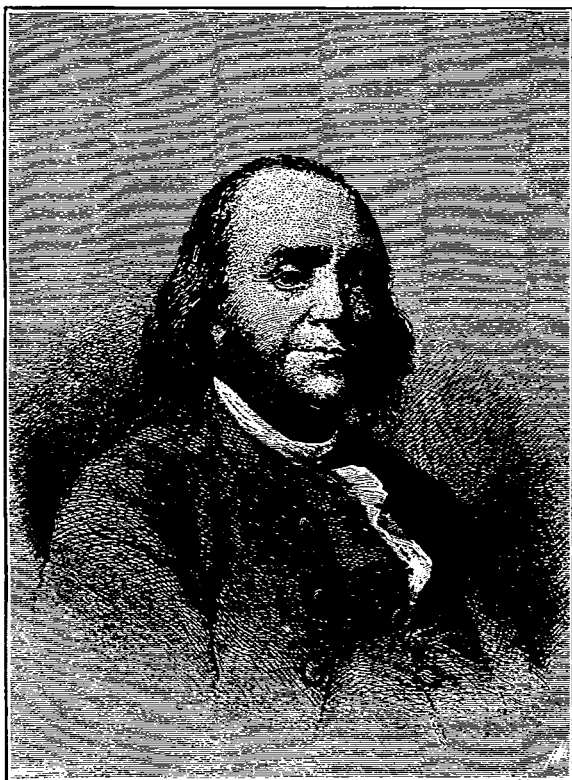
Форма крыши и высота громоотвода.

сокіе шпиги очень тяжелы и особенно потому, что за ними трудно присматривать. Поэтому болѣе целесообразно установить большее число низкихъ шпигцевъ, чѣмъ немного высокыхъ.

Какъ было сказано (§ 280), молнія устремляется къ той точкѣ, въ которой напряженіе больше всего. Поэтому всегда нужно заботиться о томъ, чтобы наконецникъ громоотвода электризовался сильнѣе, чѣмъ всякая другая часть зданія. Это обыкновенно и бываетъ въ большинствѣ случаевъ безъ особыхъ приспособленій. Но когда въ зданіи имѣются большія массы металла (водопроводъ, водосточные желоба), то послѣднія должны быть соединены съ громоотводомъ и въ извѣстной мѣрѣ составлять его часть.

284. Лишь въ промежуткѣ между 1745 и 1760 годами у Франклина было время для болѣе серьезныхъ занятій естествознаніемъ. Позднѣе его слишкомъ отвлекла политическая и общественная дѣятельность. До Американской войны за освобожденіе онъ былъ въ Лондонѣ представителемъ Пенсильваніи и нѣсколькихъ другихъ штатовъ, а во время войны онъ жилъ въ Парижѣ, какъ представитель Соединенныхъ Штатовъ. Франклинъ принималъ важное участіе въ составленіи Деклараніи Незави-

Рис. 224

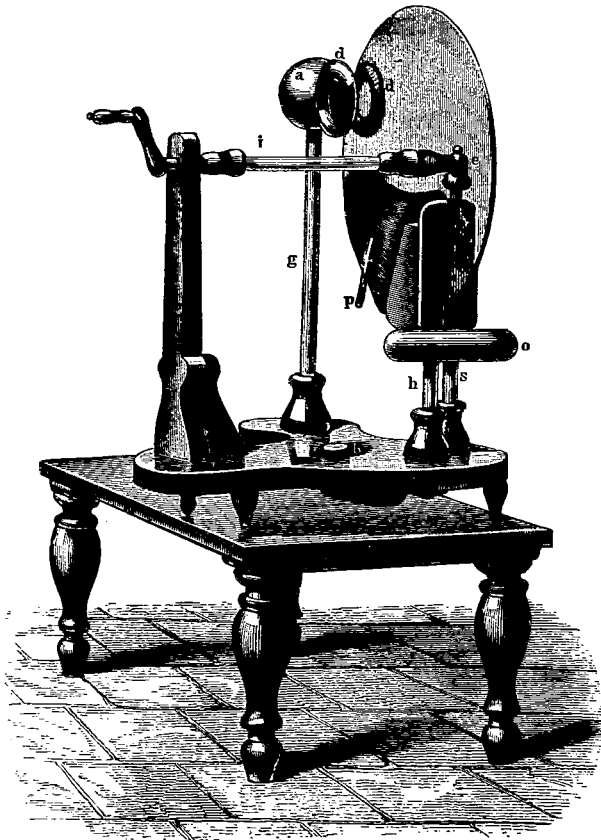


Бенджаминъ Франклинъ.

симости и конституціи Соединенныхъ Штатовъ. Но онъ былъ не только умнымъ и высокочтимымъ государственнымъ дѣтелемъ молодой самостоятельной Америки,— онъ былъ также во многихъ отношеніяхъ воспитателемъ американскаго народа. Онъ являлся центромъ духовныхъ стремленій въ кругахъ англійскихъ колонистовъ. Онъ учреждалъ библіотеки, хлопоталъ объ основаніи университета и при помощи многочисленныхъ статей, газеты и хорошаго календаря успѣшно стремился поднять нравственное, умственное и политическое образованіе своего народа. Въ его воспитательной дѣятельности особенную важность имѣло его собственное стремленіе къ

знашю и ученю. Онъ занимался исторіей, философій, естествознашіемъ и соціологіей, превосходно умѣя передавать другимъ результаты своего изученія. Европейскіе ученые съ большимъ интересомъ читали его научныя статьи, написанныя доступнымъ языкомъ. Франклинъ былъ превосходный „общедоступный“ писатель, умѣвшій писать основательно и глубоко и въ то же время понятно для всѣхъ. Франклинъ былъ прекраснымъ гражданиномъ, одушевленнымъ жаждою дѣятельности и непоколебимой вѣрой въ торжество справедливости.—Когда онъ явился въ Парижъ, его стали тамъ

Рис. 225



Электрическая машина

боготворить, утонченное парижское общество находило въ немъ воплощеніе идеальнаго естественнаго человѣка Руссо.—Его послѣдними общественно-политическими актами были основаніе общества о тюрьмахъ (1787) и его предложеніе Конгрессу 1790 года, внесенное имъ за нѣсколько мѣсяцевъ до смерти, объ уничтоженіи работоторговли и рабства.

285. Теперь мы можемъ дать болѣе полное описаніе обыкновенной электри-

ческой машины. Кругъ, приводимый въ движеніе рукояткой, обыкновенно дѣлается изъ стекла и, проходя сквозь приспособленіе для натиранія, электризуется положительно. Подушки, а съ ними и кондукторъ o (рис. 225), электризуются, слѣдовательно, отрицательно. Натираемая часть стекла движется въ чехлѣ изъ шелка къ приспособленію для собиранія электричества d . Когда положительно наэлектризованное стекло подходит къ остриямъ этого приспособленія, то электричество въ нихъ и въ кондукторѣ a раздѣляется. Острія наэлектризовываются отрицательно, а кондукторъ положительно. Отрицательное электричество уходитъ по остриямъ и соединяется съ положительнымъ электричествомъ стекляннаго круга. Вслѣдствіе этого послѣдшій теряетъ почти все свое электричество. Проходя затѣмъ между натирающими подушками, кругъ снова электризуется и снова повторяется тотъ же процессъ. Дѣйствіе натирающихъ подушекъ состоитъ въ томъ, что онѣ раздѣляютъ два рода электричества. Въ самихъ натирающихъ поверхностяхъ возникаетъ сила, вызывающая своимъ влияніемъ электричество. Но она имѣетъ только опредѣленную величину. Поэтому, когда связанный съ подушками кондукторъ o получилъ извѣстный зарядъ, то дальнѣйшее натирание уже не увеличиваетъ заряда. Полученное уже въ o отрицательное электричество мѣшаетъ дальнѣйшему притоку электричества того же рода. Натирание больше не дѣйствуетъ и стекло не электризуется. По этой причинѣ кондукторъ o отводять къ землѣ. Въ такомъ случаѣ отрицательное электричество уходитъ въ землю, на натирающихъ подушкахъ получается новое электричество и кондукторъ a продолжаетъ заряжаться. Но и теперь зарядъ можетъ достигнуть только опредѣленной величины. А именно, когда кондукторъ a заряженъ положительнымъ электричествомъ уже такъ сильно, что электризуемое положительно стекло не можетъ оказывать новаго дѣйствія на кондукторъ, то послѣдшій не отдаетъ больше отрицательнаго электричества и его зарядъ остается неизмѣннымъ. Для того чтобы электричество удерживалось на кондукторѣ, послѣдшій не долженъ имѣть угловъ и реберъ—всѣ его части должны быть закруглены.

286. Аббатъ Нолле первый попытался измѣрить зарядъ наэлектризованнаго тѣла. Электрической маятникъ, которымъ, въ нѣсколько примитивной формѣ, пользовался еще Дюфэ, также представляетъ въ извѣстной степени измѣрительный приборъ. Именно, два электрическихъ маятника, наэлектризованныхъ соприкосновениемъ съ однимъ и тѣмъ же тѣломъ, могутъ служить измѣрительнымъ приборомъ. Дѣйствительно, при сближеніи эти два шарика взаимно отталкиваются и по величинѣ ихъ расхожденія можно судить о величинѣ электрической силы шариковъ. Поэтому Нолле при помощи дуги круга съ дѣлениями, помѣщенной позади маятниковъ, мѣрялъ уголь, образованный маятниками другъ съ другомъ. Однако, получить точную мѣру количества электричества на шарикахъ при помощи такого рода приспособленія было совершенно невозможно. То же относится и къ способу, предложенному Джономъ Элликоттомъ и Гралатомъ, которые опредѣляли притяженіе, оказываемое наэлектризованнымъ тѣломъ на чашку вѣсовъ.

Джонъ Кантонъ и особенно его товарищъ по Royal Society, Тиберіо Кавалло (1749—1809), обратили двойной электрической маятникъ въ болѣе тонкій приборъ. Въ электроскопѣ Кавалло (рис. 226) маятники помѣщены въ стеклянномъ сосудѣ, защищающемъ ихъ отъ колебашій воздуха. Лняныя нити маятниковъ укрѣплены на металлическомъ стерженькѣ, при помощи сургуча вдѣланномъ въ горлышко стеклянной бутылки и соединяющемся съ мѣднымъ колпачкомъ EF . Если приблизить

къ этому колпачку наэлектризованное тѣло, то оно своимъ вліяніемъ возбуждаетъ въ приборѣ электричество. Шарики маятника получаютъ одноименное электричество и отталкиваются другъ отъ друга. Когда наэлектризованное тѣло удаляютъ, шарики снова опадаютъ.

Электроскопъ можно „зарядить“ и такъ, чтобы онъ указывалъ родъ электричества, какъ простой электрической маятникъ (§ 264). Если, напримѣръ, къ колпачку электроскопа приблизить положительно наэлектризованное тѣло, то отрицательное электричество удержится въ колпачкѣ, а положительное оттолкнется въ шарики. Если теперь прикоснуться пальцемъ къ колпачку, то положительное электричество будетъ отведено въ землю и шарики опадутъ. Но если затѣмъ удалить наэлектризованное тѣло, то отрицательное электричество уже не будетъ удерживаться въ колпачкѣ, а перейдетъ и на шарики. Такимъ образомъ, послѣдніе разойдутся, имѣя отрицательный зарядъ. Электроскопъ зарядился чрезъ вліяніе (ср. § 274). Если теперь приблизить къ электроскопу положительно заряженное тѣло, то расхождение шариковъ станетъ меньше, а если приблизить отрицательное, то оно станетъ больше.—Если шарикамъ сообщать такой сильный зарядъ, что они, расходясь, коснутся стеклянныхъ стѣнокъ, то послѣднія также получатъ электричество, что можетъ быть помѣхой при дальнѣйшихъ опытахъ съ электроскопомъ. Поэтому на тѣхъ мѣстахъ стеклянныхъ стѣнокъ сосуда, которыхъ могутъ коснуться шарики, прикрѣпляютъ два кусочка фольги /и K, соединяющихся съ подставкой стекляннаго сосуда. Теперь при соприкосновеніи шариковъ съ фольгой электричество мгновенно будетъ отводиться въ подставку. Въ то же время кусочки фольги дѣлаютъ этотъ приборъ болѣе чувствительнымъ. Именно, полоски фольги электризуются вліяніемъ электричества шариковъ, вслѣдствіе чего между шариками и полосками возникаетъ притяженіе.

Два года спустя, въ 1781 году, Вольта опубликовалъ описаніе своего электрометра, въ которомъ шарики маятника были замѣнены двумя соломинками. Приборъ Вольты былъ чрезвычайно чувствителенъ и для одного и того же заряда всегда давалъ одинаковое расхождение соломинокъ. Наконецъ, въ 1786 году англійскій священникъ и физикъ Абрагамъ Беннетъ (1750—1799) замѣнилъ соломинки парой тонкихъ золотыхъ листочковъ. Рисунокъ 227 воспроизводитъ одинъ изъ рисунковъ Беннета, иллюстрирующихъ чувствительность его прибора. Мѣдный колпачекъ инструмента Кавалло здѣсь замѣненъ мѣдной пластинкой. На послѣдней лежала кучка мѣла въ порошокъ. Когда Беннетъ дулъ на этотъ порошокъ, порошокъ приходилъ въ движеніе, отъ тресія

Рис. 226

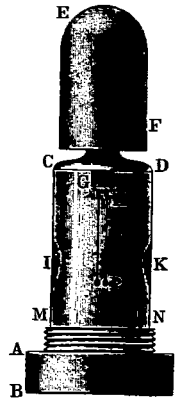
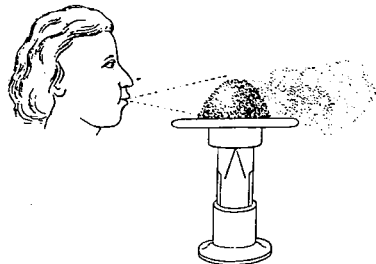


Рис. 227

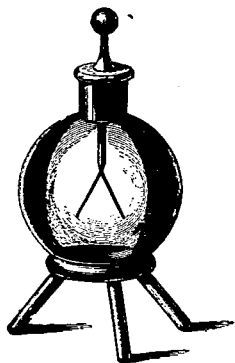


Электроскопъ Беннета.

его частицъ возникало электричество и золотые листочки расходились. Эти чувствительные приборы особенно часто употреблялись при наблюденияхъ электрическаго состоянія атмосферы. Рис. 228 изображаетъ одну изъ многихъ формъ этого электро-скопа, находящихся теперь въ употребленіи.

Къ измѣрительнымъ электрическимъ приборамъ, вошедшимъ въ употребленіе уже во второй половинѣ XVIII вѣка, принадлежитъ и измѣрительная банка Лэна.

Рис. 228

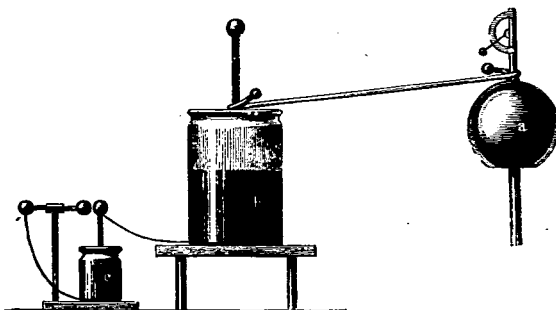


Электроскопъ съ золотыми листочками.

Тимоти Лэнъ (1734—1807), лондонскій аптекарь, напечаталъ въ 1767 году статью, въ которой описывалъ, какъ можно сравнить зарядъ одной лейденской банки съ зарядомъ другой.

Банка *b* (рис. 229) устанавливается на изоляторѣ и заряжается кондукторомъ *a* электрической машины. Внѣшняя обкладка этой банки при помощи металлической палочки соединяется съ головкой меньшей лейденской банки *c*, которая служила измѣрителемъ и внѣшняя обкладка которой не была изолирована. Отъ внѣшней обкладки измѣрительной банки идетъ проволока къ подвижной металлической палочкѣ съ шариками на концахъ; эту палочку можно передвигать такъ, чтобы одинъ изъ ея шариковъ больше или меньше приближался къ шару измѣрительной банки. Напримѣръ, если отъ кондуктора къ банкѣ *b* идетъ положительное электричество, то положительное электричество внѣшней обкладки банки *b* отталкивается въ измѣрительную банку и, когда послѣдняя получаетъ опредѣленный зарядъ, то между ея шарикомъ и передвижнымъ проскакиваетъ искра. Если продолжать заряжаніе банки *b*, то *c* снова зарядится и, когда зарядъ достигнетъ надлежащей величины, опять образуется искра. Число проскочившихъ искръ

Рис. 229



Измѣрительная банка Лэна.

представляетъ мѣру заряда банки *b*. При помощи измѣрительной банки можно также опредѣлить зарядъ батареи лейденскихъ банокъ. Она даетъ, такимъ образомъ, возможность сравнивать количества электричества, которыя могутъ получать различныя лейденскія банки, дѣйствительную же величину заряда ею опредѣлить нельзя. Чѣмъ

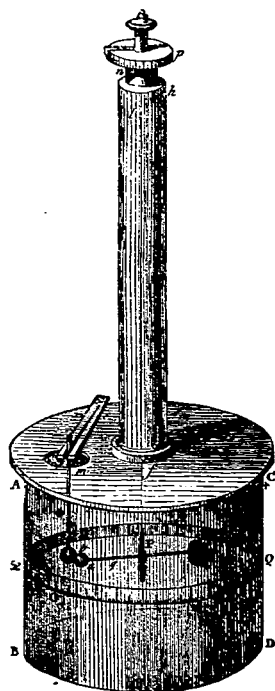
больше разстояніе шарика измѣрительной банки отъ передвижнаго шарика, тѣмъ сильнѣе должна зарядиться измѣрительная банка для того, чтобы получилась искра.

287. Только изслѣдовація Кулона надъ электрическимъ притяженіемъ и отталкиваніемъ дали возможность производить электрическія измѣренія болѣе точно. Крутильные вѣсы Кулона были подробно описаны уже раньше (§§ 215 и 216) и потому рисунокъ 230, представляющій приборъ самого Кулона, не нуждается въ дальнѣйшихъ поясненіяхъ.—Палочка вѣсовъ сдѣлана изъ шеллака и виситъ на серебряной проволоцѣ, величина сопротивленія крученію которой извѣстна. На одномъ концѣ палочки находится бузинный шарикъ *a*, на другомъ, для равновѣсія, бумажный кружокъ *g*, смоченный скипидаромъ. Этотъ кружокъ въ то же время долженъ служить для уменьшенія колебаній. Въ отверстіе *m* крышки пироксиднаго цилиндра можетъ вставляться другая палочка изъ шеллака, также имѣющая на нижнемъ концѣ бузинный шарикъ *t* такой же величины, какъ и шарикъ *a*.

При производствѣ опыта сначала устанавливаютъ горизонтальную палочку такъ, чтобы она указывала на нуль дѣлѣній круга при отсутствіи закручивающагося проволоки. Затѣмъ Кулонъ сообщалъ шарикъ *t* электрическій зарядъ и опускалъ его въ цилиндръ такъ, чтобы онъ коснулся шарика *a*. Оба шарика заряжались теперь одинаково сильно и отталкивались другъ отъ друга. Въ одномъ изъ опытовъ, произведенныхъ Кулономъ, подвижный шарикъ оттолкнулся отъ неподвижнаго настолько, что разстояніе между ними по дугѣ составило 36° и, слѣдовательно, проволока закрутилась на 36° . Для того чтобы уменьшить разстояніе шариковъ до 18° , надо было повернуть головку прибора въ обратную сторону на 126° . Въ этомъ положеніи серебряная проволока была, слѣдовательно, закручена на $126^\circ + 18^\circ = 144^\circ$, т. е. вчетверо больше 36° . При закручиваніи головки на 567° угловое разстояніе между *a* и *t* составляло только $8\frac{1}{2}^\circ$. Теперь закручиваніе проволоки было равно $567^\circ + 8\frac{1}{2}^\circ =$ приблизительно 576° , что равняется $16 \times 36^\circ$ или $4 \times 144^\circ$. Отсюда слѣдуетъ, что сила, съ которой отталкиваются два шарика, одинаково наэлектризованныхъ, убываетъ въ томъ же отношеніи, въ какомъ возрастаетъ квадратъ разстоянія. На двойномъ разстояніи отталкиваніе становится вчетверо меньше и т. д.—При выполненіи этихъ опытовъ нужно принимать различныя предосторожности; особенно нужно заботиться о томъ, чтобы воздухъ въ цилиндрѣ крутильныхъ вѣсовъ былъ совершенно сухъ. Этого можно достигнуть, поставивъ въ цилиндръ сосудъ съ сѣрной кислотой.

Подобнымъ же образомъ Кулонъ показалъ, что притяженіе между двумя ша-

Рис. 230



Крутильные вѣсы Кулона.

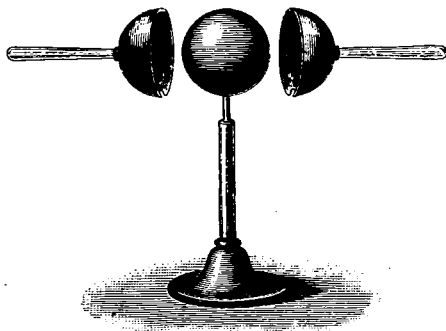
риками, заряженными различными электричествами, слѣдуетъ тому же самому закону (ср. § 216).

Наконецъ, Кулонъ показалъ, что электрическое притяженіе или отталкиваніе возрастаетъ съ величиною заряда бузинныхъ шариковъ. Если каждый изъ двухъ шариковъ получаетъ только половинный зарядъ, то притяженіе или отталкиваніе становится вчетверо меньше. Если одинъ шарикъ получаетъ половину первоначального заряда, а другой четверть его, то взаимодействіе ихъ будетъ въ $2 \times 4 = 8$ разъ меньше.—Кулонъ получалъ различные заряды тѣмъ, что касался заряженного шарика одинъ или нѣсколько разъ ненаэлектризованнымъ шарикомъ такой же величины.

288. Эти тонкія измѣренія побудили Кулона начать наблюденія надъ тѣмъ, какъ быстро исчезаетъ электричество въ болѣе или менѣе влажномъ воздухѣ и какое количество его теряется благодаря проводимости такъ называемыхъ изоляторовъ. Онъ нашелъ, что Эпинусъ былъ правъ, утверждая, что всѣ такъ называемые изоляторы отчасти проводятъ электричество, хотя бы въ сравненіи съ настоящими проводниками въ ничтожной степени.

Еще большее значеніе имѣли изслѣдованія Кулона о томъ, какъ распредѣляется электричество на хорошемъ проводникѣ, напримѣръ, на металлическомъ шарѣ. Легко было бы предположить, что электричество распредѣляется равномерно по всему шару, подобно воздуху въ закрытомъ пространствѣ. Однако, съ электричествомъ происходитъ нѣчто совершенно иное. Кулонъ нашелъ, что полый металлическій шаръ принимаетъ точно такое же количество электричества, какъ и массивный шаръ того же радиуса. Онъ могъ это доказать при помощи своихъ крутильныхъ вѣсовъ. Когда заряженный массивный шаръ (изолированный) приводили въ соприкосновеніе съ полымъ шаромъ, то на послѣдній переходила половина заряда. Отсюда слѣдуетъ, что электричество скопляется на поверхности шара.

Рис. 231



Опытъ Кэвэндиша.

Нетрудно также представить себѣ, почему внутри тѣла электричества не можетъ быть. Въ самомъ дѣлѣ, если бы тамъ было два небольшихъ количества электричества, то они отталкивались бы другъ отъ друга и, такъ какъ хорошій проводникъ не оказываетъ сопротивленія движенію электричества, то эти электрическія массы должны удалаться другъ отъ друга, какъ можно дальше, т. е. должны переходить на

поверхность. Онѣ не могли бы уйти дальше, такъ какъ воздухъ представляетъ собою хорошій изоляторъ, мѣшающій движенію электричества. Если хорошій проводникъ имѣетъ форму шара, то электричество распредѣляется по его поверхности равномерно.

Кэвэндишъ (I, § 306) первый доказалъ, что электричество въ хорошемъ проводникѣ находится только на поверхности. Его опытъ поясняется рисункомъ 231.

Изолированный латунный шаръ былъ заряженъ электричествомъ и затѣмъ покрытъ двумя половинами полого шара. Когда послѣ того эти двѣ половины, снабженныя изолирующими ручками, удалялись, то обнаруживалось, что внутреннй шаръ терялъ электричество, а полушарія наэлектризовывались.

Такимъ образомъ, если данное пространство окружено проводящей поверхностью и если заключающіяся въ немъ тѣла находятся въ соприкосновеніи съ его внѣшней поверхностью, то внутри этого пространства не можетъ быть электричества.—Позднѣе Фарадѣй показалъ это слѣдующимъ образомъ. Онъ взялъ большой деревянный ящикъ (со сторонами въ 2 м) и покрылъ его внѣшнюю сторону фольгой. Затѣмъ онъ помѣстился въ этомъ ящикѣ съ чувствительнымъ электроскопомъ, послѣ чего обкладка изъ фольги была сильно заряжена. Внутри ящика не было замѣтно никакой электризаціи.

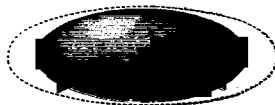
289. Какъ было сказано, на поверхности металлическаго шара электричество распределяется равномернo (если вблизи нѣтъ проводника, въ которомъ можетъ получиться электричество чрезъ вліяніе). Кулонъ изслѣдовалъ, какъ распределяется электричество на проводникахъ другой формы. При этихъ опытахъ онъ пользовался такъ называемой пробной пластинкой, т. е. маленькой металлической пластинкой, укрѣпленной на изолирующей ручкѣ. Чтобы опредѣлить „плотность“ (напряженность) электричества въ данномъ мѣстѣ проводника, онъ касался этого мѣста пробной пластинкой. Последняя получала такое количество электричества, что приходила въ такое же электрическое состояніе, въ какомъ было тронутое мѣсто. Величину заряда пробной пластинки Кулонъ опредѣлялъ затѣмъ при помощи крутильныхъ вѣсовъ.

На эллипсоидѣ электричество имѣетъ наибольшую плотность на концахъ большой оси (рис. 232), на дискѣ у его краевъ (рис. 233), а на цилиндрѣ, заканчивающемся полушаріями, на этихъ послѣднихъ (рис. 234). Чѣмъ тоньше пластинка проводника, тѣмъ больше будетъ плотность электричества на ея краяхъ. Поэтому, если заряженный проводникъ имѣетъ острые ребра или концы, то плотность электричества на этихъ мѣстахъ будетъ особенно велика (ср. § 276).—Плотность электричества на проводникахъ опредѣленной формы можно вычислить математически. При этомъ исходной точкой служить законъ Кулона относительно отталкиванія одноименныхъ электричествъ. Такія вычисления подтвердили результаты опытовъ Кулона.

290. Работы Кулона дали возможность говорить съ полной опредѣленностью и ясностью о „количествѣ электричества“ и мѣрять его опредѣленной единицей. Можно сказать, напримѣръ, что два маленькихъ шара (матеріальныя точки), одинаково сильно заряженныхъ однимъ и тѣмъ же родомъ электричества, содержатъ единицу количества электричества, когда они отталкиваются другъ отъ друга, находясь на разстояніи 1, съ силою равною 1.

Изъ Кулонова закона электрическаго отталкиванія и притяженія вытекаетъ, что

Рис. 232



Заряженный эллипсоидъ.

Рис. 233



Заряженный дискъ.

Рис. 234



Заряженный цилиндръ.

электричество, равномерно распределенное на поверхности шара, действует на электрическую „точку“ вне шара совершенно так, как будто все это электричество было сосредоточено в центре шара. Это следствие можно доказать при помощи математических выкладок, в которых мы не можем здесь входить, однако.

Электрическая сила заряженного шара действует по всем направлениям. Пространство вокруг шара, в котором проявляется действие его электрического заряда, называется электрическим полем этого шара. Строго говоря, это действие простирается до бесконечности, но так как оно очень быстро убывает с возрастанием расстояния (§ 287), то уже на не очень больших расстояниях от шара лежат точки, в которых действие заряда шара незаметно. Если представить себе, что в такой точке находится единица положительного электричества и что шар имеет известный положительный заряд, то очевидно нужно было бы произвести совершенно определенную работу для того, чтобы переместить упомянутую единицу положительного электричества в точку, лежащую ближе к шару.

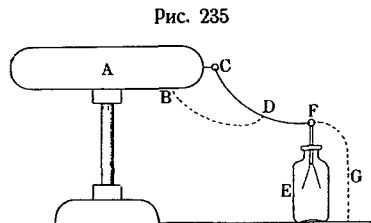
Работа, которую нужно произвести для того, чтобы переместить единицу положительного электричества из любой точки электрического поля в другую точку по направлению к центру шара (также заряженного положительно), называется разностью потенциалов этих двух точек, а работа, которую нужно затратить на то, чтобы переместить единицу электричества на поверхность шара из бесконечно удаленной точки, носит название электрического потенциала шара.—По существу дела ясно, что во всех точках шаровой поверхности, concentрической с наэлектризованным шаром, потенциал имеет одну и ту же величину. Поверхность, на которой потенциал имеет всюду одинаковое значение, носит название поверхности уровня. Таким образом, поверхности уровня для заряженного шара представляют concentрические ему шаровые поверхности. Чем ближе к заряженному шару лежит определенная поверхность уровня, тем больше потенциал. Чтобы переместить известное количество электричества с наружной урванной поверхности на внутреннюю, нужно совершить известную работу. Напротив, движение электричества по самой поверхности уровня не требует затраты работы. В самом деле, электрическая сила действует по направлению радиуса, т. е. нормально к поверхности уровня, а для того, чтобы произвести движение по направлению, перпендикулярному, к направлению действующей силы, затраты работы не требуется.—В электрическом поле тела, имеющих форму отличную от шарообразной, также существуют уровневые поверхности, т. е. такие поверхности, по которым движение электричества происходит без затраты работы, так как направление действующей силы в каждой точке этой поверхности перпендикулярно к последней.

Если движение происходит не по одной и той же урванной поверхности, то оно приводит к точке с другим потенциалом. Разность потенциалов в двух близких друг к другу точках (но не на одной и той же урванной поверхности), разделенная на расстояние между этими двумя точками, равна силе, действующей в соответствующей точке (по направлению линии, соединяющей эти две точки).—В этом легко убедиться, если припомнить, что разность потенциалов между двумя точками представляет работу, которую нужно затратить для того, чтобы перевести единицу количества электричества из одной точки в другую. Так как работа равна произведению силы на расстояние, то здесь работа (т. е. разность потенциа-

ловъ), раздѣленная на разстояіе, должна быть равна силѣ. Мы будемъ называть эту силу электрическимъ напряженіемъ.

291. Поверхность наэлектризованнаго проводника должна быть поверхностью уровня, если электричество на проводникѣ находится въ покоѣ. Въ самомъ дѣлѣ, въ этомъ случаѣ сила должна быть направлена перпендикулярно къ поверхности, такъ какъ въ противномъ случаѣ электричество двигалось бы по поверхности. Такимъ образомъ, на поверхности проводника потенциалъ долженъ быть вездѣ одинаковъ.—Если соединить два хорошихъ проводника металлической проволокой, то они получаютъ одинаковый потенциалъ, такъ какъ эти два проводника и металлическая проволока при соприкосновеніи образуютъ одинъ проводникъ. Если два проводника имѣли до соединенія одинъ и тотъ же потенциалъ, то электричество не будетъ переходить съ одного проводника на другой; если же они имѣли различный потенциалъ, то положительное электричество будетъ переходить съ проводника, имѣющаго бѣльшій потенциалъ, на другой. Такимъ образомъ, разность потенциаловъ двухъ проводниковъ обнаружится тѣмъ, что при соединеніи ихъ посредствомъ металлической проволоки въ нихъ произойдетъ перемѣна электрическаго состоянія. Потенциаль наэлектризованнаго тѣла есть разность между потенциаломъ этого тѣла и потенциаломъ земли, т. е. такъ называемаго неэлектрическаго тѣла.

Пусть *A* (рис. 235) представляетъ изолированное тѣло, которое имѣетъ опредѣленный потенциалъ. Его можно измѣрить при помощи электроскопа *E*. Прежде всего нужно, чтобы *E* имѣлъ тотъ же потенциалъ, какъ и земля, для чего электроскопъ соединяютъ съ землею при помощи проволоки *G*. Затѣмъ *G* удаляютъ и проводникъ *A* соединяется съ электроскопомъ при помощи проводника *CD*. Листочки электроскопа расходятся тѣмъ больше, чѣмъ выше потенциалъ *A*. Проводникъ *A* во всѣхъ точкахъ своей поверхности имѣетъ тотъ же самый потенциалъ, такъ что расхожденіе листочковъ не мѣняется, если къ проводнику *CD* прибавить отвѣтвленіе *BD*.



Измѣреніе потенциала.

Другое наэлектризованное тѣло, которое даетъ такое же расхожденіе листочковъ электроскопа, имѣетъ очевидно такой же потенциалъ, какъ и *A*. Чтобы рѣшить, положителенъ ли или отрицателенъ потенциалъ *A*, причемъ за нуль принимается потенциалъ земли, нужно только узнать, какого рода электричествомъ заряженъ соединенный съ *A* электроскопъ.

292. Два проводника, соединенныхъ металлической проволокой, можно сравнить съ двумя сообщающимися сосудами. Въ послѣднихъ жидкость стоитъ на одной и той же высотѣ. На соединенныхъ проводникахъ „потенциаль одинаково высокъ“. Но два сообщающихся сосуда не содержатъ непременно одинаковаго количества жидкости: одна трубка можетъ быть широкой, другая узкой. Для того чтобы поднять уровень воды на одинъ футъ, въ одну трубку можетъ потребоваться, пожалуй, и во 100 разъ больше воды, чѣмъ въ другую. То же самое можно сказать и о двухъ проводникахъ съ одинаковымъ потенциаломъ. Чтобы они были заряжены одинаково, количества электричества не должны быть одинаковы. Количество электричества, которое нужно сообщить проводнику для того, чтобы его потенциалъ достигъ известной

величины, въ сильной степени зависятъ отъ формы проводника. Чтобы достигнуть известнаго потенциала, большой шаръ долженъ получить больше электричества, чѣмъ малый. Если радиусъ увеличивается вдвое, то вдвое больше долженъ быть и зарядъ для того, чтобы оба шара были заряжены до одного и того же потенциала. Если форма проводника неправильна, то эти соотношенія становятся сложнѣе. Но при всѣхъ условіяхъ потенциалъ въ одномъ и томъ же проводникѣ удваивается, если удваивается зарядъ.

Подъ электрической ёмкостью проводника разумѣютъ то количество электричества, которое нужно сообщить (изолированному) проводнику, чтобы его потенциалъ сталъ равнымъ 1. Потенциаломъ 1 обладаетъ, напримѣръ, шаръ радиуса 1, содержащій количество электричества, равное 1 (ср. § 290). Если известны ёмкость и потенциалъ проводника, то легко вычислить и его зарядъ, такъ какъ послѣдній равенъ произведешю ёмкости на потенциалъ.

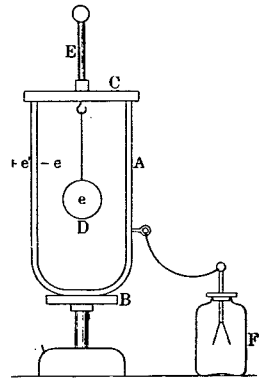
Но ёмкость зависитъ не исключительно отъ самого проводника, а также и отъ среды, въ которой онъ находится. Если по сосѣдству отъ него находятся наэлектризованныя тѣла, то ихъ вліяніе будетъ измѣнять ёмкость проводника. Когда говорятъ о ёмкости, то предполагаютъ, что всѣ сосѣднія тѣла соединены съ землей. Потенциалъ земли всегда равенъ нулю, такъ какъ ея ёмкость безконечно велика.

293. Въ послѣднемъ параграфѣ содержатся соображенія, въ основѣ которыхъ лежитъ законъ Кулона о дѣйствіи электрическихъ силъ на разстояніи. Недостатокъ мѣста не позволяетъ намъ остановиться подробнѣе на томъ, кѣмъ и въ какой связи были получены эти результаты и какимъ образомъ ихъ можно подтвердить при помощи опытовъ. Въ связи съ этими соображеніями относительно электричества въ покоѣ (статическаго), нужно еще вкратцѣ упомянуть о понятіи объ электрическихъ силовыхъ линіяхъ, введенномъ въ ученіе объ электричествѣ Майкелемъ Фарадеемъ. Фарадэй исходилъ при этомъ изъ опыта, представляющаго видоизмѣненіе опыта Кэвендиша, упомянутаго въ § 288. А (рис. 236) представляетъ металлическій сосудъ, стоящій на изолирующей пластинкѣ *B*. Этотъ сосудъ имѣетъ металлическую крышку *C* со стеклянной ручкой *E*. Къ крышкѣ, при помощи шелковой нитки, прикрѣпленъ металлическій проводникъ *D*. Фарадэй сообщалъ шару *D* электрической зарядъ $+e$ и затѣмъ опускалъ его въ сосудъ. Зарядъ *D* своимъ вліяніемъ вызывалъ электричество въ *A*. Внутренняя сторона сосуда наэлектризовывалась отрицательно, а внѣшняя положительно. Такимъ образомъ, электроскопъ *F* получалъ положительное электричество, отчего его листочки расходились. Затѣмъ, коснувшись *A*, Фарадэй отводилъ электричество въ землю, такъ что положительное электричество исчезало и листочки электроскопа опадали. Отрицательное электричество *A* было связано положительнымъ электричествомъ *D* и потому не дѣйствовало на электроскопъ. Затѣмъ Фарадэй соединялъ *A* и *D*, но несмотря на это листочки электроскопа не расходились. Это доказываетъ, что количество отрицательнаго электричества, содержащагося на *A*, было такъ же велико, какъ и количество положительнаго электричества на *D*. Еслибы *D* имѣло больше положительнаго электричества, чѣмъ *A* отрицательнаго, то листочки электроскопа должны были бы разойтись подъ дѣйствіемъ положительнаго электричества. Значитъ, если тѣло, производящее электризацію чрезъ вліяніе, со всѣхъ сторонъ окружено проводникомъ, въ которомъ возникаетъ электричество чрезъ вліяніе, то количество электричества, получившееся отъ этого вліянія, будетъ равно количеству электричества, вызывавшему это вліяніе.

Пусть A (рис. 237) будетъ проводникъ съ зарядомъ $+e$ и пусть этотъ проводникъ будетъ окруженъ металлической оболочкой B . Въ такомъ случаѣ на внутренней сторонѣ B будетъ находиться электрическій зарядъ $-e$. Въ промежуткѣ между A и B дѣйствуютъ электрическія силы и при томъ въ направленіи отъ A къ B , такъ какъ, еслибы въ этомъ пространствѣ находилось количество электричества $+1$, то оно очевидно должно было бы перемѣщаться отъ A къ B . Путь, по которому двигалось бы количество электричества $+1$ изъ какой-нибудь точки на A по направленію къ B , даетъ силовую линію отъ этой точки къ B . Число силовыхъ линій опредѣляется слѣдующимъ правиломъ: пусть зарядъ A будетъ равенъ, на примѣръ, $+15$ (т. е. $+e = +15$). Поверхность A дѣлится затѣмъ на пятнадцать частей, изъ коихъ каждая содержитъ зарядъ $+1$. Отъ каждой изъ этихъ частей по направленію къ B идетъ силовая линія и конецъ этой силовой линіи на B имѣетъ зарядъ -1 . Такимъ образомъ, общій зарядъ B равенъ -15 . Конечно, на самомъ дѣлѣ зарядъ B распределенъ по всей внутренней поверхности B . Чѣмъ сильнѣе „электрическое поле“, тѣмъ больше силовыхъ линій оно содержитъ. Согласно взгляду Фарадея каждое наэлектризованное тѣло соединено силовыми линіями съ такимъ же по величинѣ зарядомъ противоположнаго электричества.

Силовыя линіи внутри какого-нибудь тѣла могутъ существовать только въ томъ случаѣ, если это тѣло представляетъ дурной проводникъ. Если электричество находится въ покоѣ, то внутри хорошихъ проводниковъ нѣтъ электрической силы и потому въ нихъ не можетъ быть силовыхъ линій. Отъ заряженного наэлектризованнаго шара (рис. 238) силовыя линіи идутъ во всѣ стороны, если вблизи нѣтъ проводниковъ. Если же помѣстить въ электрическомъ полѣ шара A проводникъ B , то

Рис. 236



Опытъ Фарадея.

Рис. 237

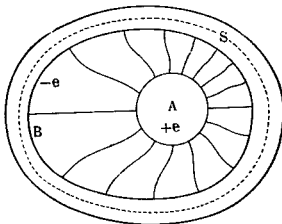
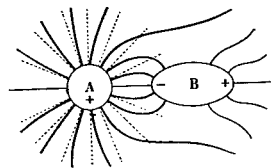


Рис. 238



Силовыя линіи.

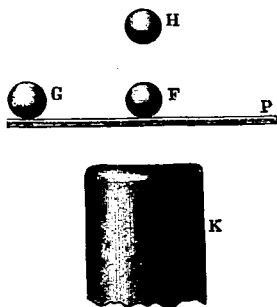
часть силовыхъ линій загигается по направленію къ проводнику B , который самъ электризуется и становится исходной точкой новыхъ силовыхъ линій.

294. При помощи остроумно задуманныхъ опытовъ Фарадэй показалъ, что электрическія силы дѣйствуютъ съ различной напряженностью сквозь различныя изоляторы, что предполагали уже Франклинъ (§ 273) и другіе. Эпипунъ разсматри-

валъ электричество чрезъ вліяніе исключительно, какъ дѣйствіе на разстояніи, независимое отъ вещества, наполняющаго пространство, черезъ которое дѣйствуетъ электрическая сила. Фарадэй же, напротивъ, принималъ, что дѣйствующая чрезъ вліяніе электрическая сила вліяетъ на молекулы именно этого промежуточнаго вещества.

Прежде всего Фарадэй показаль, что дѣйствующая своимъ вліяніемъ электрическая сила не дѣйствуетъ сквозь хорошіе проводники. Надъ натертой палочкой сургуча *K* (рис. 239) помѣщается металлическая пластинка *P*, отведенная къ землѣ.

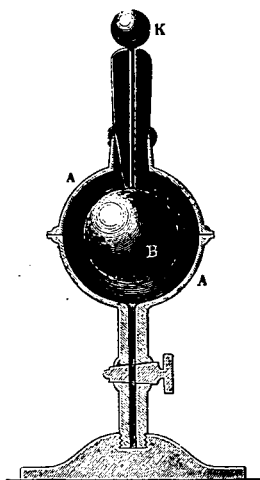
Рис. 239



Опытъ Фарадэя надъ распределеніемъ силовыхъ линій.

при помощи прибора, изображеннаго на рис. 240. Этотъ приборъ въ существенномъ состоитъ изъ двухъ концентрическихъ металлическихъ полыхъ шаровъ.

Рис. 240



Опытъ Фарадэя надъ электрическимъ вліяніемъ сквозь различныя тѣла.

Если при помощи маленькаго пробнаго шарика наслѣдовать дѣйствіе силы, вызывающей своимъ вліяніемъ электризацію вблизи *P*, то оказывается, что въ точкѣ *F* не получается никакого дѣйствія, тогда какъ въ точкахъ *G* и *H* пробный шарикъ получаетъ электрическій зарядъ. Отсюда Фарадэй вывелъ заключеніе, что сила, возбуждающая электричество чрезъ вліяніе, дѣйствуетъ не сквозь металлическую пластинку, т. е. не сквозь хорошій проводникъ, а по кривымъ линіямъ, огибающимъ *P*. Это уже доказываетъ, что электрическое вліяніе не есть исключительно дѣйствіе на разстояніе, но что оно зависитъ и отъ природы промежуточнаго вещества. Чрезъ хорошіе проводники электричество чрезъ вліяніе не получается, а въ дурныхъ проводникахъ это дѣйствіе различно, что Фарадэй доказаль при помощи прибора, изображеннаго на рис. 240. Этотъ приборъ въ существенномъ состоитъ изъ двухъ концентрическихъ металлическихъ полыхъ шаровъ. Внѣшній шаръ *A* состоитъ изъ двухъ полушарій, а внутренній при помощи проволоки связанъ съ шарикомъ *K*. Эта проволока изолирована шеллакомъ. Промежутокъ между *A* и *B*, при помощи изображеннаго на рисункѣ крана, можно наполнять различными газами или твердыми тѣлами (дурными проводниками), напримѣръ, шеллакомъ, сѣрой и т. д. Весь приборъ представляетъ собою родъ лейденской банки. Металлическіе шары соотвѣтствуютъ обкладкамъ банки, а пустое пространство между *A* и *B* соотвѣтствуетъ стекляннымъ стѣнкамъ банки.

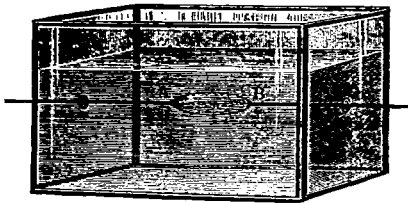
295. Въ своихъ опытахъ Фарадэй пользовался двумя приборами этого рода, сдѣланными по возможности совершенно одинаковыми во всѣхъ деталяхъ. Сначала заряжался внутренній шаръ *B* одного прибора и измѣрялось его напряженіе при помощи электроскопа. Затѣмъ пюговки *K*, а, значитъ, и шары *B* обоихъ приборовъ соединялись проводникомъ. Если потомъ промежутки заполнялись въ обоихъ приборахъ однимъ и тѣмъ же веществомъ, то электричество распредѣлялось равномѣрно въ обоихъ приборахъ. Но

если это пространство въ одномъ приборѣ наполнялось воздухомъ, а въ другомъ инымъ веществомъ, напримѣръ, сѣрю, то приборы получали отъ одного и того же первоначальнаго заряда неодинаковое количество электричества. Приборъ, въ которомъ пустота была заполнена сѣрю, получаетъ (согласно позднѣйшимъ измѣреніямъ) приблизительно вчетверо больше электричества, чѣмъ тотъ приборъ, пустота котораго заполнена воздухомъ. Конечно, оба шара получаютъ одинаковый потенциалъ, но они имѣютъ различную ёмкость. Приборъ съ сѣрю имѣетъ вчетверо большую ёмкость, чѣмъ приборъ съ воздухомъ.

Такимъ образомъ, электрическая сила очевидно дѣйствуетъ съ различнымъ напряженіемъ сквозь сѣру и сквозь воздухъ.

Фарадэй объясняетъ это явленіе допущеніемъ, что молекулы изолятора подѣйствіемъ электрической силы подвергаются измѣненіямъ. Согласно Гельмгольцу этотъ процессъ можно сравнить съ процессомъ намагничиванія. Подобно тому, какъ молекулы желѣза принимаютъ за маленькіе магниты, которые могутъ быть „направлены“ дѣйствіемъ магнитной силы, можно представить себѣ, что и молекулы изолятора

Рис. 241



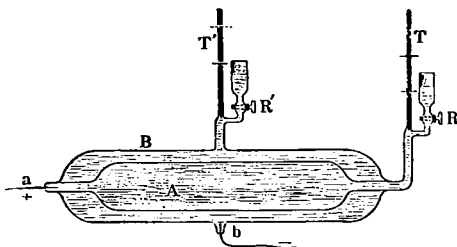
Распределеніе молекулъ въ діэлектрическомъ тѣлѣ.

„направляются“ электрической силой, причемъ нужно думать, что онѣ электрически „полярны“, но не „направлены“, пока на нихъ не дѣйствуетъ электрическая сила. Чѣмъ совершеннѣе онѣ „направлены“, тѣмъ сильнѣе дѣйствіе сквозь дурной проводникъ.

Фарадэй назвалъ изоляторы діэлектрическими тѣлами. Что частички діэлектрической жидкости дѣйствительно располагаются опредѣленнымъ образомъ,

когда въ нихъ распространяется электрическая сила, онъ показалъ при помощи слѣдующаго опыта. Въ стеклянномъ сосудѣ, наполненномъ терпентиннымъ масломъ

Рис. 242



Опытъ Дютера.

(рис. 241), находились другъ противъ друга два металлическихъ острія, изъ коихъ одно было соединено съ положительнымъ кондукторомъ электрической машины, а другое съ отрицательнымъ. Въ маслѣ плавало множество мелкихъ кусочковъ шелковыхъ нитей. Электрическая сила передавалась между остріями по молекуламъ скипидара и кусочкамъ нитей. Послѣднія располагались между металличе-

скими остріями въ видѣ цѣпи, которая представляла замѣтное сопротивленіе разрыву.

Французской физикъ Эмиль Дютерь въ 1879 году сдѣлалъ опытъ, который ясно показываетъ, что объемъ діэлектрическаго тѣла измѣняется, когда сквозь него проходитъ электрическая сила. Стеклянный сосудъ А (рис. 242) помѣщается въ другой стеклянный сосудъ В. Оба сосуда наполнены проводящей электричество жид-

костью. Въ точкѣ *a* въ жидкость вступаетъ положительное, а въ точкѣ *b* отрицательное электричество отъ кондукторовъ электрической машины. Затѣмъ сосудъ *A* заряжается подобно лейденской банкѣ и жидкость въ трубкѣ *T* сейчасъ же подымается, а въ трубкѣ *T* падаетъ. Такимъ образомъ, сосудъ *A* во время заряжанія становится больше. При разряжаніи происходитъ обратное и объемъ *A* уменьшается.

296. Для того чтобы имѣть возможность выражать различія въ способностяхъ діэлектриковъ располагаться молекулярно-электрически, ввели особую величину, которую назвали діэлектрической постоянной. Ея значеніе нетрудно понять въ связи съ тѣми опытами, которые можно произвести при помощи прибора Фарадѣя (рис. 240). Если принять діэлектрическую постоянную воздуха за 1, то діэлектрическая постоянная сѣры будетъ равна 4. Произведя этотъ опытъ съ другими веществами, можно получить діэлектрическія постоянныя этихъ веществъ.

Діэлектрическія постоянныя жидкостей чрезвычайно разнообразны, напримѣръ, постоянная воды равна 78, постоянная керосина только 2. У твердыхъ тѣлъ эти различія также значительны (напримѣръ, стекло 7, парафинъ 2).

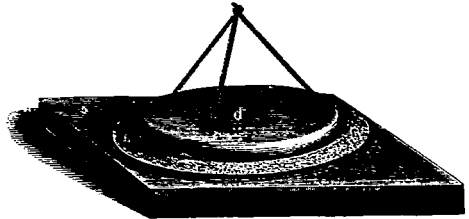
297. Если діэлектрическое тѣло „поляризуется“ дѣйствіемъ электрической силы и если затѣмъ электрическая сила исчезаетъ (напримѣръ, вслѣдствіе разряда), то исчезаетъ „молекулярное расположеніе“ (поляризація) въ діэлектрическомъ тѣлѣ, притомъ или сразу (какъ въ газахъ) или по истеченіи извѣстнаго времени (какъ въ твердыхъ тѣлахъ). Стекланныя стѣнки заряженной лейденской банки, конечно, поляризованы. Если разрядить банку, соединивъ проводникомъ на одно мгновеніе внѣшнюю обкладку съ внутренней, то банка (вообще) не теряетъ своей силы совершенно. Стекло остается отчасти поляризованнымъ, такъ какъ оно, такъ сказать, никогда не бываетъ совершенно однороднымъ. Остается извѣстный „остаточный зарядъ“, который можетъ вызвать новый (значительно болѣе слабый) разрядъ. Позднѣйшія изслѣдованія привели къ тому результату, что „остаточнаго заряда“ не остается, если діэлектрическая стѣнка совершенно однородна по строенію своихъ молекулъ, напримѣръ, если это есть пластинка кристалла или жидкость. Въ этомъ случаѣ разрядъ производитъ совершенный беспорядокъ въ расположеніи молекулъ по всему діэлектрическому тѣлу.

298. Упомянутый уже раньше Алессандро Вольта родился въ Комо въ 1745 году. Онъ происходилъ изъ почтенной семьи Верхней Италіи и сначала готовился въ священники. Но изученіе физики, къ которому онъ обратился съ большимъ рвешіемъ, больше соответствовало его склонностямъ. Въ 1774 году онъ сталъ профессоромъ физики въ родномъ городѣ. Въ слѣдующемъ году онъ выступилъ со своимъ первымъ интереснымъ электрическимъ приборомъ, электрофоромъ. Нѣсколькими годами раньше онъ вступилъ въ споръ относительно дѣйствія заряженной банки со своимъ ученымъ землякомъ, патеромъ Джакомо Беккаріа (1716—1781), который былъ профессоромъ физики въ Туринѣ. Статья объ электрофорѣ и составляла одно изъ послѣднихъ возраженій въ этомъ спорѣ. Беккаріа замѣнилъ стеклянную пластинку Франклиновой доски (§ 268) смоляною и экспериментировалъ съ подвижными металлическими обкладками (§ 273). Электрофоръ Вольты состоитъ изъ куска смолы (точнѣе 2 частей смолы, 2 частей терпентиннаго масла и 1 части воска), вылитого въ металлическое блюдо (рис. 243). Смола должна имѣть гладкую и блестящую поверхность. Кромѣ того, электрофоръ имѣетъ металлическую крышку, которая нѣсколько

меньше, чѣмъ смоляной кругъ, и поддерживается на шелковыхъ нитяхъ или на стеклянной ручкѣ.

Для получения электричества электрофоромъ пользуются слѣдующимъ образомъ. Смолу натираютъ мѣхомъ или, еще лучше, по ней бьютъ лисьимъ хвостомъ. Отъ этого она электризуется отрицательно. Затѣмъ на нее накладывается крышка, въ которой получается электричество чрезъ вліяніе (рис. 244). Если теперь коснуться крышки пальцемъ, то отрицательное электричество уйдетъ въ землю, а положительное останется въ крышкѣ, такъ какъ оно будетъ притягиваться отрицательнымъ электричествомъ смолы. Если затѣмъ снять крышку со смолы, то на ней останется свободное положительное электричество и изъ нея можно извлечь пальцемъ искру. Такое заряданіе и разряданіе крышки можно повторить, сколько угодно разъ, безъ новаго натирания смолы, такъ какъ электричество смолы не переходитъ въ металлическую крышку, а лишь вызываетъ электричество въ послѣдней своимъ вліяніемъ.

Рис. 243

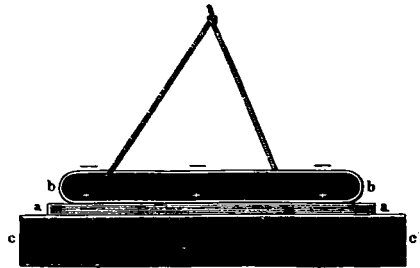


Электрофоръ Вольты.

299. Передъ обыкновенной электрической машиной электрофоръ имѣетъ то преимущество, что электричество получается въ немъ безъ тренія. Поэтому стали строить машины, дѣйствующія непрерывно, въ которыхъ электричество также получается чрезъ вліяніе. Эти машины обыкновенно называются электрофорными.

Въ настоящее время ихъ существуетъ нѣсколько видовъ. На рис. 245 изображена электрофорная машина Гольца. Устройство этой машины ясно изъ чертежа. Изъ двухъ стеклянныхъ круговъ *A* и *B* первый неподвиженъ, а второй можетъ вращаться около оси *x*. Въ кругѣ *A* сдѣланы два діаметрально противоположныхъ прорѣза *a* и *b*, возлѣ которыхъ наклеены бумажная накладки *c* и *d*. Отъ каждаго изъ этихъ двухъ кусковъ бумаги (арматуръ) выдается въ прорѣзъ заостренная полоска плотной бумаги. Противъ бумажныхъ накладокъ передъ подвижнымъ кругомъ *B* установлены „вилки“ *g* и *i*, рукоятки которыхъ оканчиваются шариками *f* и *e*. Эти рукоятки лежатъ въ поперечинѣ *k* (изъ эбонита). Сквозь шарика *f* и *e* проходятъ два подвижныхъ латунныхъ стержня, которые оканчиваются шариками *p* и *l* и къ которымъ прикрѣплены эбонитовыя ручки.

Рис. 244

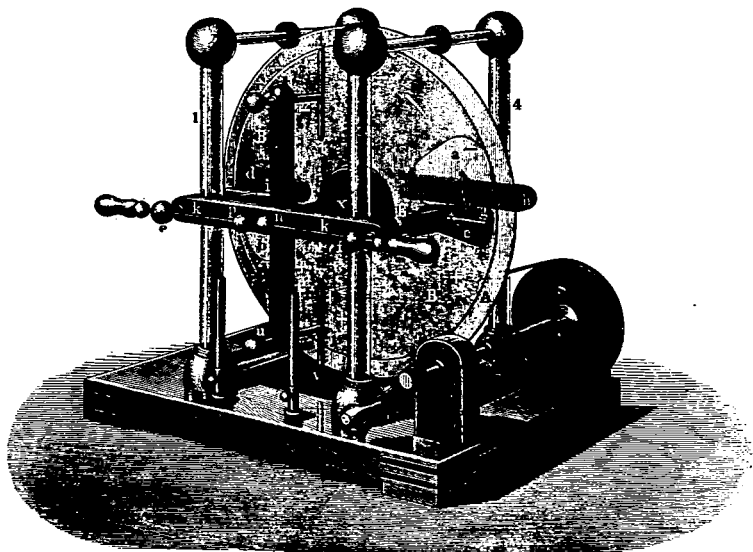


Распределение электричества на электрофорѣ.

Для того чтобы привести въ дѣйствіе эту машину, бумажной накладкѣ *c* сообщаютъ нѣкоторое количество электричества, касаясь ея натертой эбонитовой пластинкой. Затѣмъ вращаютъ кругъ *B* въ направленіи стрѣлки, сдвинувъ до соприкос-

новешія шарики n и p , такъ называемые электроды. Получаемое электричество своимъ вліяніемъ вызываетъ электричество въ вилкѣ g . Вслѣдствіе этого шарикъ n электризуется отрицательно. Положительное электричество течетъ съ вилки на кругъ, такъ что послѣдній, сдѣлавъ полъ-оборота, къ другой вилкѣ i подходитъ съ положительнымъ зарядомъ. Этотъ положительный зарядъ дѣйствуетъ своимъ вліяніемъ съ одной стороны на накладку d , а съ другой на вилку i . Вслѣдствіе этого шарикъ p электризуется положительно. Отрицательное электричество, выходящее изъ вилки, нейтрализуетъ положительное электричество круга и электризуетъ кругъ отрицательно. Такое

Рис. 245



Электрофорная машина Гольца.

же дѣйствіе производитъ и отрицательное электричество, вытекающее изъ бумажнаго острія. Такимъ образомъ, послѣ полуоборота кругъ приходитъ къ g съ отрицательнымъ зарядомъ. При продолженіи вращенія къ одному изъ электродовъ будетъ непрерывно притекать положительное электричество, а къ другому отрицательное. Въ мѣстѣ соприкосновенія двухъ шариковъ электричества соединяются съ особымъ шипѣніемъ. Если раздвинуть шарики, то это соединеніе черезъ промежутокъ будетъ происходить въ формѣ издающаго трескъ потока искръ. Если соединить каждый изъ электродовъ съ усиливающей банкой, то образуются болѣе сильныя отдѣльныя искры.

Другая пара вилокъ, которыми обыкновенно бываетъ снабжена машина (рис. 245) и которыя связаны металлическимъ соединеніемъ съ двумя первыми (t съ g и v съ i), служатъ для предохраненія машины отъ разряженія, если электроды будутъ удалены одинъ отъ другого слишкомъ далеко.

Такъ называемыя самовозбуждающіяся электрофорныя машины, къ числу которыхъ, между прочимъ, принадлежитъ машина Вимсгёрста, устриваются такъ, что

сами производить (посредствомъ тренія) небольшое количество электричества, необходимое для начала работы машины. Такимъ образомъ, чтобы пустить такую машину въ ходъ, не нужно сначала сообщать ей зарядъ, взятый изъ другого источника.

300. Отто фонъ-Герике, докторъ Волльъ и Гауксби, которые, какъ было сказано, первые изслѣдовали электрическую искру, получали лишь слабыя ея дѣйствія, такъ какъ они извлекали искры изъ дурныхъ проводниковъ: сѣры, янтаря или стекла. Такъ какъ искра есть разрядъ, т. е. соединеніе положительнаго и отрицательнаго электричества между двумя тѣлами, то она не можетъ быть очень сильной при дурномъ проводникѣ, ибо послѣдній можетъ отдавать каждый разъ лишь часть своего электричества. Гралатъ и Винклеръ получали значительно болѣе сильныя искры съ помощью лейденскихъ банокъ. Въ самомъ дѣлѣ, лейденская банка при проскакиваніи искры разряжаетъ, такъ сказать, все свое электричество. Сильныя искры можно также получить изъ кондуктора электрической машины. Обыкновенно электрическую искру наблюдаютъ въ воздухѣ, но ее можно получить также въ дурно проводящихъ жидкостяхъ и въ твердыхъ тѣлахъ. Короткія искры прямолинейны, а болѣе длинныя зигзагообразны и имѣютъ отвлѣтленія, которыя направлены въ сторону отъ тѣла, отдающаго положительное электричество (рис. 246). Цвѣтъ искры въ разныхъ газахъ различенъ. Въ атмосферномъ воздухѣ искра имѣетъ голубоватый оттѣнокъ, въ

Рис. 246



Зигзагообразная электрическая искра.

азотѣ синій, въ кислородѣ бѣлый, въ водородѣ красный, въ угольной кислотѣ зеленатоватый. Окраска искры зависитъ также отъ металловъ, между которыми она проскакиваетъ и отъ которыхъ отрываетъ частички. Чѣмъ больше напряженіе между шариками, между которыми проскакиваетъ искра, тѣмъ больше можетъ быть ея длина. Но кромѣ того, послѣдняя въ высокой степени зависитъ также отъ плотности воздуха. Длина различна также въ различныхъ газахъ.

Продолжительность электрической искры измѣрилъ въ 1834 году Чарльзъ Витстонъ (1802—1875) въ Лондонѣ. Онъ пропускалъ искру между двумя шариками, которые стояли передъ зеркаломъ, чрезвычайно быстро вращавшимся около оси, параллельной направленію искры. Еслибы искра продолжалась только одно мгновенье, т. е. неизмѣримо малое время, то ея изображеніе въ зеркалѣ получалось бы въ видѣ свѣтлой линіи. Но если искра имѣетъ измѣримую продолжительность, то ея изображеніе во вращающемся зеркалѣ должно казаться свѣтлой полосой. Витстонъ нашель, что искра отъ кондуктора электрической машины не продолжается и одной миллионной доли секунды. Напротивъ, съ разрядными искрами батареи дѣло обстоитъ совершенно иначе. Въ одномъ опытѣ зеркало дѣлало 800 оборотовъ въ секунду и

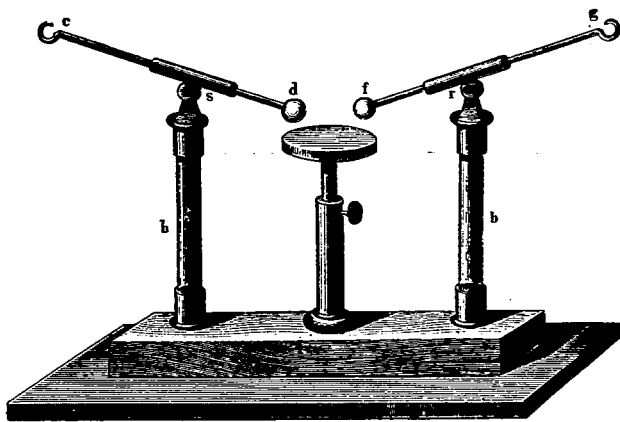
Витстонъ наблюдалъ свѣтлую полосу шириною въ 24° . Такимъ образомъ, продолжительность искры представляла то время, которое было нужно зеркалу для поворота на 12° . На полный оборотъ зеркало употребляло $\frac{1}{800}$ секунды, слѣдовательно для поворота на 12° ему требовалась $\frac{1}{24 \cdot 800}$ доля секунды. Витстонъ опредѣлялъ также продолжительность молнн и нашель, что она ничтожна въ сравненіи съ $\frac{1}{2000}$ секунды.

Изъ этихъ изслѣдованій вытекаетъ, что разрядъ конденсатора происходитъ совершенно инымъ путемъ, чѣмъ разрядъ между двумя проводниками (ср. § 297).

Позднѣйшія наслѣдованія Феддерсена (род. въ 1832 году въ Шлезвигѣ) показали, что разрядъ лейденской банки происходитъ въ видѣ не одной только искры, а цѣлаго ряда послѣдовательныхъ искръ. Феддерсенъ наблюдалъ эти отдѣльныя искры въ быстро вращающемся зеркалѣ. На основаніи строенія изображенія искры, закрѣпленнаго имъ фотографически, онъ вывелъ заключеніе, что здѣсь получается рядъ искръ, чрезвычайно быстро слѣдующихъ другъ за другомъ то въ одномъ, то въ другомъ направленіи и постепенно слабѣющихъ. Онъ назвалъ этотъ процессъ колебательнымъ разрядомъ.

301. Электрическая искра, т. е. электрическій разрядъ, обладаетъ энергіей, которая преобразуется въ различныя формы. При изслѣдованіи дѣйствія сильныхъ разрядовъ обыкновенно пользуются разрядникомъ (рис. 247), построеннымъ Вильямомъ Генли (членъ Royal Society, ум. 1779). Разрядникъ состоитъ изъ двухъ подвижныхъ

Рис. 247



Разрядникъ Генли.

металлическихъ стержней, между концами которыхъ, снабженными шариками или остріями, проскакиваетъ искра. Сильныя искры пробиваютъ бумагу, стеклянныя пластинки и другіе дурные проводники и дѣйствіе искры въ этихъ случаяхъ бываетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ выше напряженіе электричества. Напротивъ, количество электричества не играетъ здѣсь большой роли. Эти опыты удаются лучше всего при помощи электрофорной машины (§ 299).

Когда искра проскакиваетъ въ воздухѣ, наблюдаются различныя тепловыя и

механическія явленія. При помощи электрической искры можно зажечь винный спиртъ, порохъ, трутъ, фосфоръ и т. п., а воздухъ отъ искръ сильно нагрѣвается и расширяется. Въ то же время воздухъ „механически“ приводится въ движеніе, такъ что легія тѣла, напримѣръ, мелкіе обрѣзки бумаги или кусочки бузиновой сердцевины, находящіеся вблизи искры, отбрасываются въ сторону. Американскій врачъ Эбене-зеръ Киннерсли, другъ Франклина, читавшій лекціи о громоотводахъ въ городахъ Сѣверной Америки, наглядно показывалъ дѣйствіе разряда на воздухъ при помощи прибора (термометра), изображеннаго на рис. 248. Стекланный цилиндръ, въ которомъ проскакиваетъ искра между двумя шариками, закрыть съ обоихъ концовъ. Нижняя часть цилиндра и боковой трубки (открытой сверху) наполнена водой. Когда происходитъ разрядъ, воздухъ расширяется и подымаетъ воду въ боковой трубкѣ.

При опытахъ со своимъ „термометромъ“ Киннерсли нашелъ, что подъ влияніемъ электрическихъ искръ воздухъ подвергается замѣчательному измѣненію. Пропуская искры сквозь заключавшійся въ его „термометръ“ воздухъ и охлаждая его затѣмъ до первоначальной температуры, Киннерсли замѣтилъ, что объемъ воздуха сталъ меньше, а при ближайшемъ изслѣдованіи оказалось, что часть азота воздуха соединилась съ кислородомъ, образовавъ азотную кислоту. Такимъ образомъ, разрядъ вызвалъ химическое дѣйствіе. Это объясняло давнишнее наблюденіе, что при ударахъ молніи и при сильныхъ разрядахъ электрической машины ощущается запахъ, напоминающій сѣру. Франклинъ предполагалъ, что этотъ запахъ „происходитъ отъ чего-то, находящагося въ воздухѣ и подвергающагося дѣйствію электричества“. Позднѣе (1840) Шёнбейнъ показалъ, что этотъ запахъ обуславливается своеобразнымъ превращеніемъ кислорода. Кислородъ подвергается особому уплотненію (изъ трехъ молекулъ получаются двѣ) и обращается въ такъ называемый озонъ. Это названіе („пахнущій“) должно указывать, что этотъ родъ кислорода отличается отъ обыкновеннаго кислорода сильнымъ запахомъ, который напоминаетъ сѣру.

302. Та энергія, которая проявляется при разрядѣ, конечно, содержится въ заряженныхъ электричествомъ тѣлахъ, между которыми происходитъ разрядъ. Заряжающіе тѣла электричествомъ и полученіе электричества связано съ затрвтой энергіи. Это можно очень хорошо видѣть на электрофорной электрической машинѣ. Когда машина производитъ электричество, вращать ее замѣтно труднѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда она движется, не давая электричества.

Профессоръ Риссъ въ Берлинѣ (1804—1883), издавшій въ 1853 году большой трудъ объ электричествѣ, производимомъ трешемъ, мѣрялъ эту энергію, пропуская разрядъ черезъ тонкую платиновую проволоку. При этомъ электричество, такъ сказать, совершенно преобразуется въ теплоту. При этихъ опытахъ онъ разряжалъ большую лейденскую банку *D* (рис. 249), которая сама заряжалась отъ металлическаго стержня *F*, соединеннаго съ кондукторомъ электрической машины (не показанной на рисункѣ). Величина заряда банки *D* опредѣлялась при помощи банки *A* Лэна (ср. § 286). Для измѣренія получающейся теплоты служить воздушный термометръ

Рис. 248

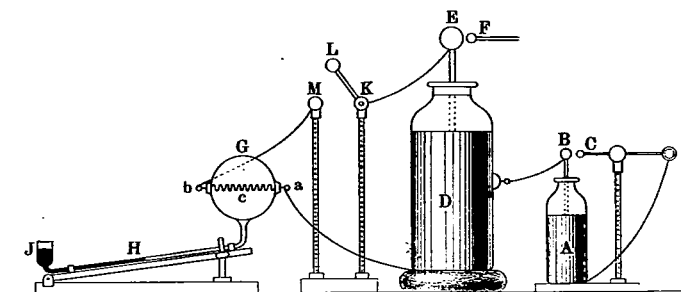


Электрическій термометръ Киннерсли.

ГІІІ. Воздухъ въ стеклянномъ шарѣ *G* отдѣленъ отъ внѣшняго воздуха ртутью. Концы *a* и *b* спиральной платиновой проволоки *c* выступаютъ наружу изъ стѣнокъ шара, въ которыя впаяна проволока. Отъ *a* идетъ проволока къ внѣшней обкладкѣ банки *D*, а отъ *b* къ изолированному металлическому шару *M*. Внутренняя обкладка банки *D*, какъ видно на рисункѣ, соединяется съ изолированнымъ металлическимъ шаромъ *K*. Поворачивая металлическую стержень *KL*, можно соединять *K* и *M*. При этомъ банка разряжается черезъ платиновую спираль. Теплота, получающаяся при разрядѣ, заставляетъ расширяться заключенный въ шарѣ воздухъ. Величина этого расширенія, которую можно отсчитать при помощи столбика ртути *HI*, служить мѣрой теплоты, полученной въ проволоку *c*. Рисунокъ нашелъ, что получающаяся при разрядѣ теплота пропорціональна квадрату электрическаго заряда. Двойной зарядъ даетъ вчетверо больше теплоты, тройной зарядъ—въ девять разъ больше и т. д.

Измѣривъ количество полученной теплоты, можно вычислить величину той силы, которая дѣйствовала во время краткой продолжительности искры, и такимъ

Рис. 249



Измѣреніи энергій разряда.

образомъ былъ найденъ поразительный результатъ, что сильная искра развиваетъ силу въ нѣсколько сотъ лошадиныхъ силъ. Въ молніи получаются неизмѣримо огромныя силы. Электрическій разрядъ представляетъ наиболѣе сильное изъ извѣстныхъ намъ явленій природы.

303. Проходя сквозь человѣческое тѣло, электрическій разрядъ вызываетъ извѣстныя фізіологическія дѣйствія. Разрядъ всегда сопровождается сильнымъ дѣйствіемъ на нервы и мускулы, человѣкъ при этомъ испытываетъ „ударъ“, который оглушающе дѣйствуетъ на нервы и производитъ судорожныя явленія въ мускулахъ. Сильные разряды бывають смертельны (Рихманнъ, § 278). Гралатъ и Нолле убивали электрическимъ ударомъ лейденской банки птицъ и другихъ мелкихъ животныхъ. Въ серединѣ XVIII вѣка электричествомъ стала пользоваться медицина, и именно, его стали прилагать къ леченію паралича. Въ 1745 году Кратценштейнъ написалъ книгу о примѣненіи электричества въ медицинѣ. Онъ первый лечилъ параличъ посредствомъ электричества. Въ 1744 году онъ излечилъ получасовой электризаціей парализованный палецъ. Докторъ Ватсонъ (§ 268) въ 1763 году въ теченіе двухъ съ половиною мѣсяцевъ ежедневно электризовалъ вполне парализованнаго ребенка и совершенно вылѣчилъ его. Съ другой стороны, электрическимъ леченіемъ сильно и злоупотребляли. Разумѣется, при примѣненіи электрическаго раз-

ряда въ качествѣ лечебнаго средства нужно соблюдать чрезвычайную осторожность. Шарлатаны, совершенно несмыслившіе въ физиологической сторонѣ дѣла, брались лечить при помощи электрической машины и лейденской банки всевозможныя болѣзни. Невѣжественные люди чуть ли не вѣрили, что электризаціей можно оживлять умершихъ.

Но въ то же время точнѣе изслѣдовались также электричесія рыбы, между которыми уже съ древнѣйшихъ временъ былъ извѣстенъ живущій въ Средиземномъ морѣ электрическій екатъ. Раньше думали, что наносимые скатомъ „удары“ механическіе и что они, такимъ образомъ, являются слѣдствіемъ чрезвычайно сильныхъ и быстро слѣдующихъ другъ за другомъ мускульныхъ движеній. Но когда стало извѣстно дѣйствию лейденской банки, то стали предполагать, что наносимые этой рыбой удары представляютъ собою электрическіе разряды. Что это дѣйствительно такъ, доказалъ Джонъ Вальшъ (ум. 1795) въ 1773 году. Вальнъ подмѣтилъ также, что скать можетъ нанести ударъ только тогда, когда его спина соединяется проводникомъ съ его брюхомъ. Кромѣ электрическаго ската электрическими органами обладаютъ и нѣкоторыя другія рыбы, напримѣръ, электрическій сомъ и электрическій угорь. Электрическій органъ рыбъ состоитъ изъ большого числа многоугольныхъ столбиковъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга сухожильной оболочкой, повидимому дѣйствующей, какъ изоляторъ. Эти столбики сами состоятъ изъ наложенныхъ другъ на друга многочисленныхъ листочковъ, между которыми находится слизистая жидкость. Въ этихъ листочкахъ и скопляется электрическое напряженіе, выравниваемъ котораго производится электрическій ударъ.

По нѣкоторымъ сказаніямъ древніе обитатели береговъ Средиземнаго моря купали дѣтей въ водѣ, въ которой жили электрическіе скаты. И греческіе и римскіе писатели много повѣствуютъ о лечебномъ дѣйствіи этой рыбы. Такимъ образомъ, можно сказать, что „электрическое“ леченіе болѣзней восходитъ до глубокой древности.

Равнымъ образомъ съ древнѣйшихъ временъ сохранились рассказы объ „электрическихъ людяхъ“. Какъ говорятъ, Теодорихъ Великій обладалъ необычайной особенностью: при ходьбѣ изъ него иногда вылетали искры. То же рассказываютъ и о нѣкоторыхъ другихъ людяхъ.

Такого рода явленія наблюдались и въ новѣйшія времена. Въ 1837 году одна дама въ Сѣверной Америкѣ была такъ сильно заряжена электричествомъ въ продолженіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ, что изъ нея можно было извлекать искры. Одинъ изъ наиболѣ выдающихся изслѣдователей въ этой области, Эмиль Дюбуа-Реймонъ (ум. 1896) установилъ, что есть люди, которые могутъ зарядить лейденскую банку простымъ прикосновеніемъ. Но электрическихъ органовъ у человѣка не наблюдали.

Изслѣдованія электрическихъ рыбъ и примѣненія электричества въ медицинѣ побудили къ ревностному изслѣдованію электрическихъ явленій въ живыхъ существахъ. Думали даже, что во всѣхъ жизненныхъ процессахъ проявляется дѣйствіе животнаго электричества.

Электрический токъ

Гальванизмъ

304. Подобно всѣмъ профессорамъ медицины въ концѣ XVIII вѣка, дѣлалъ опыты съ электричествомъ и Луиджи Гальвани (1737—1798), профессоръ анатоміи въ Болоньѣ. Для этой цѣли въ его лабораторіи стояла электрическая машина. Въ 1791 году онъ напечаталъ свою статью „Объ электрическихъ силахъ при мускульныхъ движеніяхъ“. Наблюденіе, которое побудило его произвести изложенные въ этой статьѣ опыты, онъ описываетъ слѣдующимъ образомъ.

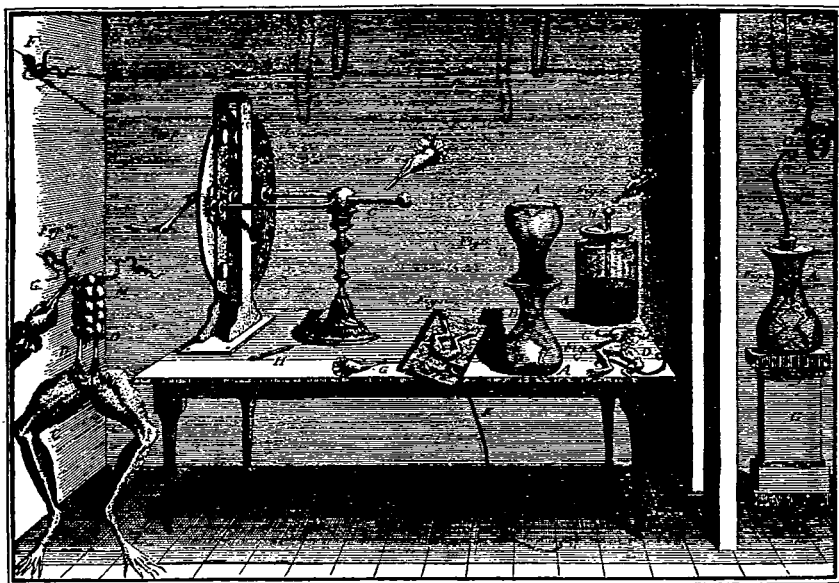
„Я разсѣжъ лягушку, препарировалъ ее, какъ указано на фиг. 2 таб. I, (рис. 250) и положилъ ее, не обращая вниманія на все остальное, на столъ, на которомъ стояла электрическая машина, далеко отъ ея кондуктора и на не очень близкомъ разстояніи отъ нея. Когда одно изъ лицъ, помогавшихъ мнѣ, случайно чуть-чуть коснулось концомъ скальпеля внутренняго бедреннаго нерва лягушки *DD*, то всѣ мускулы этого сочлененія сократились нѣсколько разъ, какъ будто въ нихъ произошли сильныя тоническія судороги. Но другое лицо, помогавшее намъ при электрическихъ опытахъ, какъ ему казалось, замѣтило, что это происходило тогда, когда изъ кондуктора машины извлекалась искра. Удивленное этимъ новымъ явленіемъ, это лицо обратило на него мое вниманіе. Меня охватила неимовѣрная жажда и рвеніе изслѣдовать это и пролить свѣтъ на то, что было подъ этимъ скрыто“.

Гальвани, разумѣется, зналъ, что тѣло животнаго совершаетъ судорожныя движенія, когда сквозь него проходитъ электрической разрядъ. Слѣдовательно, для него не могло быть новостью, что электричество производитъ такое дѣйствіе. Новымъ въ этомъ явленіи было то, что здѣсь электричество не дѣйствовало непосредственно. Электричество не проходило изъ кондуктора въ препарированную лягушку, а проводилось изъ кондуктора въ другое тѣло. Впрочемъ, въ то время уже были знакомы съ электрическимъ вліяніемъ (ср. § 274). Гальвани было также ясно, что движенія мускуловъ обуславливались разрядомъ кондуктора. Тѣмъ не менѣе, у него не было удовлетворительнаго объясненія этого явленія. Это и побудило его основательно изслѣдовать дѣйствіе электричества на мускулы и нервы.

Осталось неизвѣстнымъ, кто первый подмѣтилъ движеніе ножки лягушки и обратилъ вниманіе Гальвани на это явленіе. Предполагали, что это была жена Гальвани, которая была даже воспѣта въ одномъ сонетѣ, какъ дѣйствительно открывшая указанное явленіе. Гальвани ничего не говоритъ объ этомъ и весь вопросъ представляетъ мало интереса, такъ какъ это первое наблюденіе вовсе не представляло крупнаго открытія. Его объясненіе было нетрудно согласовать съ тѣмъ, что было тогда извѣстно объ электричествѣ (ср. § 305). Значеніе этого наблюденія лежитъ въ томъ, что оно побудило Гальвани къ изслѣдованіямъ, которыя привели къ важнымъ открытіямъ.

305. Прежде всего Гальвани нашелъ, что движенія мускуловъ получаютъ только въ томъ случаѣ, когда изъ кондуктора электрической машины извлекаются искры, и что величина этихъ движеній находится въ большой зависимости отъ того, какъ держать ножъ. Тотъ ножъ, которымъ пользовался при этихъ опытахъ Гальвани, имѣлъ ручку изъ слоновой кости. Если ножъ держали за ручку (изъ дурного проводника), то движенія были слабы. Но если ножъ брали за лезвие, то получались сильныя движенія. Когда Гальвани бралъ въ руку сухую стеклянную трубку и прикасался ею къ нервамъ, то мускулы при извлеченіи искры изъ кондуктора не двигались. Опытъ удавался только въ томъ случаѣ, когда нерва касались какимъ-нибудь проводникомъ. Движенія дѣлались еще сильнѣе, если мускулы соединялись проводомъ съ землей. На рис. 250 изображенъ экспериментальный столъ Гальвани.

Рис. 250



Экспериментальный столъ Гальвани.

На немъ лежитъ препарированная лягушка; ея бедренный мускулъ соединенъ металлической проволокой *K* съ землею и къ его нерву рука *G* приближаетъ ножъ, въ то время какъ рука *B* извлекаетъ искру изъ кондуктора *C*. Слѣва на рисункѣ помѣщено болѣе отчетливое изображение препарированной лягушки.

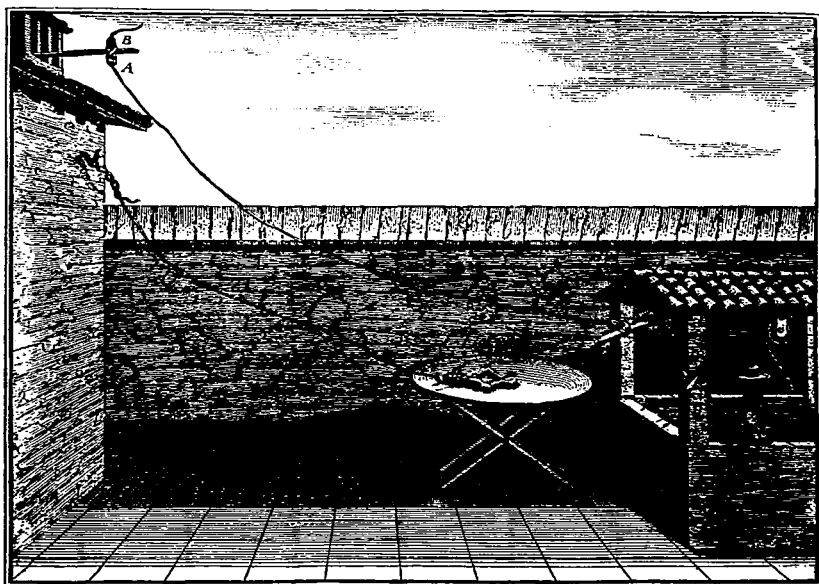
Дѣйствіе разряда на лягушечью ножку объясняется легко. Въ самомъ дѣлѣ, заряженный кондукторъ электризуетъ препаратъ своимъ вліяніемъ. Одноименное съ зарядомъ кондуктора электричество отталкивается по проводу, а противоположное электричество удерживается въ мускулахъ и нервахъ. Если затѣмъ разрядить кондукторъ, извлеки рукою *B* изъ него искру, то оттолкнутое электричество возвращается обратно. Препарированная лягушка получаетъ электрическій ударъ (возврат-

ный удар) и потому производить судорожные движения. Если препарат не сообщенъ съ землею, а изолированъ на столѣ, то электрическая индукція не велика и потому получается лишь слабый возвратный ударъ. Это объяснеше далъ въ 1793 году Вольта.

Гальвани нашель, что совершенно безразлично, заряденъ ли кондукторъ положительнымъ или отрицательнымъ электричествомъ.

306. Гальвани старался установить, производить ли „естественная“ электрическая искра, т. е. молнія, такое же дѣйствіе, какъ и разрядъ кондуктора электрической машины. Онъ помѣщаль препарированную лягушку въ банку (D, рис. 251). Отъ мускуловъ шла проволока на крышу дома, а отъ нерва въ колодезь. Какъ только вблизи падала молнія, въ препаратѣ замѣчались судороги. Замѣчались въ немъ

Рис. 251



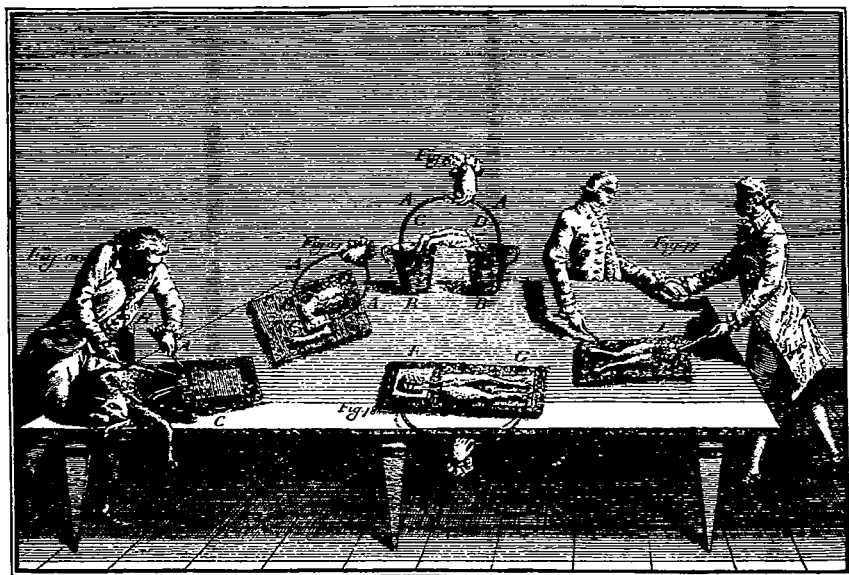
Опытъ Гальвани съ электричествомъ облаковъ.

явственныя движения даже въ тѣхъ случаяхъ, когда электрическое состояше атмосферы мѣнялось безъ видимаго разряда. Препарированная лягушка была гораздо чувствительнѣе къ слабымъ измѣненіямъ электрическаго состоянія атмосферы, чѣмъ извѣстныя въ то время электроскопы (§ 286). Но электроскопъ изъ лягушечьей ножки дѣйствуетъ только тогда, когда измѣняется электрическое состояніе атмосферы. Каково же количество электричества въ атмосферѣ, онъ не показываетъ.

Гальвани сдѣлалъ еще слѣдующее важное наблюденіе. Онъ подвѣсилъ при помощи мѣднаго крючка на желѣзной оградѣ балкона лягушечью ножку съ маленькимъ кусочкомъ спинного мозга (см. рис. 250 слѣва) и замѣтилъ, что мускулы сокраща-

лись каждый раз, когда касались желѣза, хотя въ электричествѣ воздуха нельзя было замѣтить никакого измѣненія. Несмотря на это Гальвани думалъ, что это явленіе вызывается атмосфернымъ электричествомъ. По его мнѣнію, послѣднее скопилось въ животномъ и тогда соприкосновеніе съ желѣзомъ вызывало сильный разрядъ. Гальвани повторилъ эти опыты въ своей рабочей комнатѣ, гдѣ препарированная лягушка была положена на желѣзную пластинку. Всякій разъ, когда онъ касался этой желѣзной пластинки мѣднымъ крючкомъ, зацѣпленнымъ за кусокъ спинного мозга, мгновенно возникали сильныя мускульныя сокращенія. Здѣсь атмосферное электричество не могло быть причиной, такъ какъ оно не дѣйствуетъ въ закрытомъ помѣщеніи. Гальвани принялъ за причину

Рис. 252



Различные опыты Гальвани.

этихъ мускульныхъ сокращеній электрической разрядъ, который получается, когда мускулы и нервы соединяются металлическимъ проводникомъ (желѣзная пластинка и мѣдный крючокъ).

307. Затѣмъ Гальвани старался подтвердить правильность своего допущенія, видоизмѣняя обстановку своихъ опытовъ, какъ это показываетъ рис. 252. На переднемъ планѣ на столѣ лежатъ лягушечьи ножки на желѣзной пластинкѣ. Обнаженный спинной мозгъ лежитъ на кусочкѣ фольги. На рисункѣ видна рука, держащая желѣзный изогнутый стержень. Какъ только мускуль и нервъ соединяются, получается сокращеніе мускула. Если же соединить ихъ стеклянной палочкой, то мускуль не двигается.

Справа на рисункѣ видны двое людей, одною рукою касающіеся другъ друга,

а въ другой рукѣ держашіе желѣзныя палочки, которыми одинъ касается мускула, а другой нерва. И здѣсь получались сокращенія, хотя въ цѣпь включались два человѣческихъ тѣла. Приборъ, изображеніе котораго видно на задней сторонѣ стола, состоитъ изъ двухъ сосудовъ съ водою и препарированной лягушки, мускулы которой погружены въ воду одного сосуда, а нервы въ воду другого. Если погрузить изогнутый въ видѣ дуги металлическій стержень въ воду обоихъ сосудовъ, мускулы начинаютъ сокращаться. Впереди слѣва изображенъ опытъ съ теплокровнымъ животнымъ (ягненкомъ), который удается такъ же хорошо, какъ и опытъ съ лягушкой.

Гальвани все болѣе и болѣе укрѣплялся въ своемъ мнѣніи, что въ этихъ опытахъ проявляется животное электричество. Какъ ему казалось, правильность его мнѣнія доказывалась тѣмъ, что мускульныя сокращенія отчетливо наблюдались лишь на препаратахъ только что умерщвленныхъ животныхъ, въ которыхъ еще сохраняется животное электричество, связанное, конечно, съ жизненными процессами. Онъ, какъ казалось ему, замѣтилъ, что изъ нервовъ къ мускуламъ течетъ рѣдкая жидкость все время, пока происходятъ движенія. Гальвани даже составилъ себѣ определенное представленіе о значеніи мускуловъ и нервовъ для электрическихъ явленій. Онъ думалъ, что каждое мускульное волокно представляетъ маленькую лейденскую банку, а нервы являются проводами между двумя оболочками мускульныхъ волоконъ.

Мы не станемъ вдаваться подробнѣе во множество неясныхъ соображеній, не имѣющихъ теперь значенія, которыя Гальвани высказывалъ относительно значенія своихъ открытій для медицины. Напротивъ того, мы теперь внимательно рассмотримъ одно изъ его наблюденій, которое въ рукахъ Вольты стало исходнымъ пунктомъ открытія высокой важности.

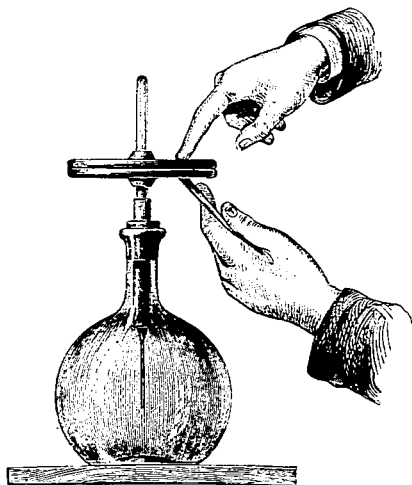
308. Гальвани замѣтилъ, что мускульныя движенія бываютъ особенно сильны, когда проводъ между мускуломъ и нервомъ состоитъ изъ двухъ металловъ, напимѣръ, изъ желѣза и мѣди или изъ желѣза и серебра. Даже въ томъ случаѣ, когда препарированная лягушка была уже настолько неслѣжа, что въ ней нельзя было вызвать движеній мускуловъ при помощи изогнутаго желѣзнаго стержня, эти движенія снова дѣлались очень сильными, если желѣзный стержень касался кусочка мѣди или серебра, наложеннаго на мускулъ или на нервъ. Гальвани не придавалъ особаго значенія этому обстоятельству, такъ какъ это явленіе обыкновенно наблюдалось и тогда, когда въ опытѣ употреблялся только одинъ металлъ. Для врача Гальвани главной вещью, поглощавшей весь его интересъ, было животное электричество. Усиленіе дѣйствія при накладываніи мѣднаго или же серебрянаго листочка было для него побочнымъ обстоятельствомъ. Но когда за опыты Гальвани, возбудившіе большое удивленіе въ кругахъ врачей, взялся физикъ Алессандро Вольта, то фактъ, что проводъ между мускуломъ и нервомъ, сдѣланный изъ двухъ металловъ, дѣйствуетъ съ особой силой, приобрѣлъ важное значеніе. Сначала Вольта также думалъ, что въ опытахъ Гальвани играетъ роль животное электричество, и въ одной статьѣ 1793 года онъ, не соглашаясь съ Гальвани, допускалъ, что нервы заряжены отрицательно, а мускулы положительно.

Въ той же статьѣ указываются условія, при которыхъ эти опыты удаются лучше всего, и особенно подчеркивается, что для удачи опыта нужны два различныхъ металла. Съ помощью двухъ различныхъ металловъ Вольта произвелъ также рядъ интересныхъ опытовъ надъ дѣйствіемъ ихъ на вкусовые и зрительные нервы.

309. Вольта прикасался къ языку листочкомъ фольги и серебряной монетой,— первымъ къ кончику языка, гдѣ чувство вкуса тоньше всего. Соединяя затѣмъ металлической проволокой листочекъ фольги съ серебряной монетой, онъ ощущалъ на кончикѣ языка кислотавый вкусъ, чувствовавшійся все время, пока два металла были соединены проволокой. Перемѣстивъ металлы одинъ на мѣсто другого, онъ почувствовалъ на кончикѣ языка уже не кислотавый, а горьковатый острый вкусъ (щелочной). Вольта догадывался, что изъ этого наблюдения можно извлечь важные выводы. Было въ высшей степени удивительно, что вкусовое ощущеніе мѣнялось съ перемѣной металловъ. Вольта пытался дѣйствовать подобнымъ же образомъ на зрительные нервы. Онъ бралъ серебряную ложку въ ротъ и касался глазного яблока кусочкомъ цинка. Приводя въ соприкосновеніе эти два металла, онъ ощущалъ какое-то слабое мерцаніе. Но наибольшее удивленіе возбудили его опыты съ влажной бумагой, кожей и сукномъ. Когда онъ раздѣлялъ цинковую и мѣдную пластинки влажной бумагой и затѣмъ соединялъ металлы полоской цинка, то обнаруживался переходъ электричества, подобный тому, какой наблюдался въ опытахъ съ органическими препаратами. А, конечно, въ случаѣ бумаги не могло быть рѣчи о животномъ электриствѣ.

310. Тогда Вольта понялъ, что источникомъ электричества является соприкосновеніе двухъ различныхъ металловъ, и въ 1795 году сообщилъ, какимъ образомъ

Рис. 253



Конденсаторъ Вольты.

можно обнаружить это электричество при соприкосновеніи при помощи его конденсаціоннаго электроскопа или конденсатора. Этотъ приборъ отличается отъ обыкновеннаго электроскопа тѣмъ, что металлическій стержень, на которомъ висятъ золотые листочки, заканчивается на верхнемъ концѣ не шарикомъ, а металлической пластинкой, на которую можно накладывать другую металлическую пластинку, снабженную стеклянной ручкой (рис. 253). Обѣ пластинки покрыты смолянымъ лакомъ. Такимъ образомъ онѣ образуютъ конденсаторъ. Передъ опытомъ обѣ пластинки соединяются съ землею для того, чтобы можно было быть увѣреннымъ, что онѣ не имѣютъ заряда.

Рис. 253 показываетъ, какъ пользовался этимъ приборомъ Вольта для того, чтобы показать, что различные металлы, напримѣръ, мѣдь (*Cu*) и цинкъ (*Zn*), при

соприкосновеніи заряжаются противоположными электричествами. Неподвижная пластинка конденсатора въ этомъ случаѣ была сдѣлана изъ мѣди. Металлическую палочку, наполовину изъ мѣди, наполовину изъ цинка, держать въ рукѣ за цинкъ, а мѣднымъ концомъ касаются неподвижной пластинки конденсатора. Послѣдняя получаетъ при этомъ такое же напряженіе, какъ и мѣдь палочки. Если другой рукой

коснуться подвижной пластинки конденсатора, то она получаетъ такое же напряженіе, какъ и цинкъ палочки. Если между двумя металлами палочки существуетъ разность напряженій, то та же разность напряженій получится и на двухъ пластинкахъ конденсатора, — другими словами, конденсаторъ зарядится. До этихъ поръ золотые листочки не шевелились. Но если удалить металлическую палочку и подвижную пластинку, то электричество переходитъ на золотые листочки и они расходятся.

При помощи своего конденсатора, который для одного и того же заряда давалъ одинаковое расхожденіе листочковъ, Вольта могъ производить очень точныя измѣренія. Онъ нашелъ, что въ двухъ соприкасающихся металлахъ происходитъ раздѣленіе электричествъ. Одинъ металлъ электризуется положительно, а другой отрицательно, или, лучше сказать, одинъ изъ нихъ пріобрѣтаетъ большее электрическое напряженіе, чѣмъ другой. Разность напряженій, получающаяся при соприкосновении, различна для различныхъ металловъ. Изъ своихъ опытовъ Вольта получилъ слѣдующія числа напряженій:

цинкъ	12	жельзо	3
свинець	7	мѣдь	1
олово	6	серебро	0

Эти числа означаютъ, что разность напряженій, напримѣръ, между цинкомъ и мѣдью равна $12 - 1 = 11$, между свинцомъ и жельзомъ $7 - 3 = 4$. Разность напряженій двухъ металловъ, напримѣръ, цинка и олова, не увеличивается и не умень-

Рис. 254

Цинкъ 12	Мѣдь 1	Свинець 7	Олово 6
-------------	-----------	--------------	------------

Числа напряженія Вольты.

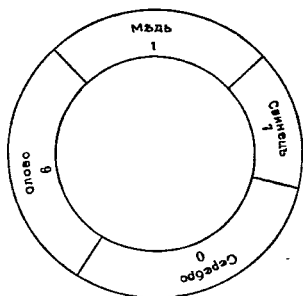
шается, если между этими двумя металлами помѣстить рядъ другихъ металловъ. Такъ, напримѣръ, если палочка сдѣлана изъ цинка, мѣди, свинца и олова (рис. 254), то разность напряженій между цинкомъ и оловомъ остается всегда одной и той же, а именно 6. Каждый металлъ имѣетъ свое опредѣленное число напряженія.

Отсюда слѣдуетъ, что въ замкнутомъ ряду металловъ можетъ получаться не постоянное образование электричества вновь, а лишь раздѣленіе электричествъ (рис. 255). Разности напряженій существуютъ, но во всемъ замкнутомъ кольцѣ господствуетъ равновѣсіе.

311. Для наблюденія и измѣренія очень малыхъ количествъ электричества (небольшихъ разностей напряженія) служитъ особый приборъ, дубликаторъ (удвоитель) Беннета (рис. 256). Этотъ конденсаторъ имѣетъ не двѣ металлическія пластинки, какъ обыкновенный, а три, одну неподвижную и двѣ подвижныхъ. Поверхность неподвижной пластинки, обѣ стороны средней и нижняя сторона верхней пластинки покрыты слоемъ лака. Обѣ подвижныя пластинки снабжены изолирующими ручками, а среднюю можно отвести къ землѣ, коснувшись пальцемъ оправы ея ручки. Тѣло, электрическое состояніе котораго изслѣдуется, приводится въ соприкосновеніе съ неподвижнымъ кружкомъ. Если зарядъ очень слабъ, то золотые листочки не расходятся. Затѣмъ средняя пластинка накладывается на неподвижную, прикосновеніемъ

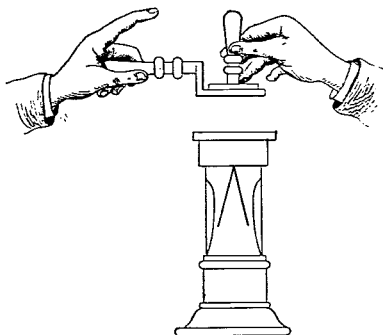
отводится къ землѣ и снимается. Вслѣдъ затѣмъ верхняя пластинка накладывается на среднюю, также отводится прикосновеніемъ къ землѣ и снимается. Теперь верхняя пластинка имѣеть то же электричество, что и неподвижная. Послѣ этого средняя пластинка снова накладывается на нижнюю, чѣмъ электричество послѣдней связывается. Наконецъ, верхняя пластинка приводится въ соприкосновеніе съ нижней. Она отдаетъ свое электричество послѣдней и вслѣдствіе этого въ средней пластинкѣ получается еще нѣкоторое количество электричества чрезъ вліяніе. Затѣмъ послѣдняя пластинка снова прикосновеніемъ отводится къ землѣ, снимается и т. д. Такимъ пу-

Рис. 255



Въ замкнутомъ кольцѣ изъ металловъ электричество не возникаетъ.

Рис. 256



Дубликаторъ Беннета.

темъ неподвижную пластинку можно заряжать все большимъ и большимъ количествомъ электричества и при каждой такой операціи зарядъ приблизительно удваивается. Первоначальный зарядъ опредѣляется затѣмъ по числу операцій, которыя нужно было сдѣлать, пока листочки электроскопа не разошлись на измѣримый уголъ.

312. Между тѣмъ не оставались въ бездѣйствіи Гальвани и рядъ другихъ физиковъ, подобно ему не желавшихъ отказаться отъ теоріи животнаго электричества. Они доказали, что мускулы препарированной лягушки приходятъ въ движеніе, если ихъ соединить съ нервомъ непосредственно, безъ содѣйствія металла. Само собой разумѣется, это давало доказательство того, что животное электричество дѣйствительно существуетъ. Но вскорѣ Гальвани и его заслуги были забыты, такъ какъ результаты его изслѣдовацій были отодвинуты далеко на задній планъ открытіями Вольты.

Послѣдніе годы своей жизни Гальвани жилъ въ нуждѣ. Его научныя работы не нашли признанія, а когда Наполеонъ въ 1797 году основалъ Цизальпинскую республику, къ которой принадлежала и Болонья, Гальвани былъ лишенъ своего мѣста, такъ какъ отказался принести присягу на вѣрность новому правительству. Правда, въ слѣдующемъ году онъ снова получилъ свое мѣсто, но тѣмъ временемъ онъ впалъ въ меланхолію и умеръ еще въ томъ же году, не успѣвъ возобновить своей преподавательской дѣятельности.

Въ концѣ концовъ Вольта пришелъ къ убѣжденію, что въ животномъ тѣлѣ вообще не происходитъ образованія электричества. Однако, работы позднѣйшихъ изслѣдователей (Нобили, Дюбуа-Реймонъ) подтвердили мнѣніе Гальвани, что

въ мускулахъ происходитъ образованіе электричества. Однако, имя Гальвани будетъ связано съ открытіемъ электричества при прикосновеніи на вѣчныя времена не столько въ силу этой причины, сколько въ силу того, что Вольтъ въ 1796 году, слѣдовательно, еще за два года до смерти Гальвани, окрестилъ именемъ Гальванизма электричество при соприкосновеніи. Этимъ онъ хотѣлъ подчеркнуть, что изслѣдованія Гальвани составили исходный пунктъ его собственныхъ наблюденій.

313. 20 марта 1800 года Вольтъ написалъ свое знаменитое письмо президенту Royal Society, Джозефу Банксу, въ которомъ сообщалъ, что нашелъ постоянно дѣйствующій источникъ электричества, „приборъ, который можно сравнить со слабо

Рис. 257



Дѣе Леизи Гальвани

Гальвани.

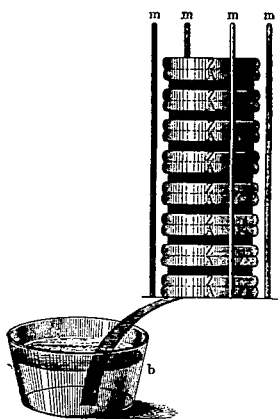
заряженной батареей лейденскихъ банокъ, обладающій, однако, тѣмъ свойствомъ, что, будучи разряженъ, онъ мгновенно заряжается снова самъ собою“. Объ устройствѣ прибора онъ писалъ: „я взялъ нѣсколько дюжинъ круглыхъ мѣдныхъ пластинокъ—серебряныя еще лучше—приблизительно въ одинъ дюймъ діаметромъ и такое же число оловянныхъ или, лучше, цинковыхъ пластинокъ. Затѣмъ изъ пористаго матеріала, который можетъ впитывать и удерживать много жидкости (картонъ, кожа), я вырѣзалъ достаточное число кружковъ. Всѣ эти пластинки я расположилъ такимъ образомъ, что металлы накладывались другъ на друга всегда въ одномъ и томъ же порядкѣ и что каждая пара пластинокъ отдѣлялась отъ слѣдующей влажнымъ кружкомъ изъ картона или кожи“.

Такой вольтовъ столбъ въ 20 или 30 паръ пластинокъ давалъ замѣтное расхожденіе листочковъ электроскопа, когда послѣдній соединяли металлическою проволокою съ верхней или съ нижней пластинкой. Въ двухъ крайнихъ парахъ пластинокъ одна пластинка заряжалась положительно, другая отрицательно. Когда Вольтъ касался

одной рукой верхней пластинки, а другою одновременно самой нижней, онъ получалъ электрической ударъ, сходный съ тѣмъ ударомъ, который давалъ электрической угорь. Этотъ столбъ былъ сходенъ съ электрическимъ угремъ и въ томъ отношеніи, что онъ могъ давать цѣлый рядъ электрическихъ ударовъ, а не разряжался отъ одного удара, какъ лейденская банка. Вольта предложилъ назвать этотъ столбъ „искусственнымъ электрическимъ органомъ“.

Не было необходимости въ томъ, чтобы металлическія пластинки были совершенно одинаковой толщины или чтобы онъ имѣли совершенно гладкую поверхность. Напротивъ, было весьма существенно, чтобы металлическія пластинки хорошо смачивались влажными кружками. Для смачиванія пористыхъ кружковъ былъ особенно удобенъ растворъ поваренной соли. Для получения сильнаго удара при прикосновеніи къ двумъ концамъ или полюсамъ столба нужно было принимать мѣры къ тому, чтобы соединеніе съ ними было хорошее. Поэтому Вольта опускалъ полоску металла,

Рис. 258



Первый столбъ Вольты
(А серебро, Z цинкъ).

припаивную къ самой нижней пластинкѣ, въ сосудъ съ соленой водой (рис. 258). Когда онъ погружалъ одну руку въ соленую воду, а другою рукой плотно нажималъ на верхнюю пластинку столба металлической палочкой, то между концами столба получалось хорошее соединеніе и ощущался сильный ударъ.

314. Вольта сообщалъ въ то же время, что дѣйствіе столба не увеличивается въ замѣтной степени, если дѣлать его изъ пластинокъ бѣльшаго размѣра. Напротивъ, увеличеніе числа паръ пластинокъ усиливало дѣйствіе. Однако, при очень высокихъ столбахъ ихъ тяжесть представляла неудобство въ томъ отношеніи, что жидкость выжималась изъ пористыхъ кружковъ. Поэтому Вольта предлагалъ въ упомянутомъ письмѣ дѣлать столбъ на части (рис. 259) или же давать ему совершенно иную форму.

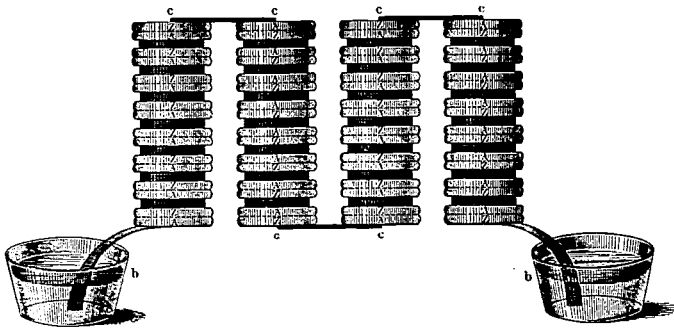
Въ этомъ новомъ видѣ столбъ представляетъ собою такъ называемый стаканный приборъ (рис. 260). Въ стеклянныхъ сосудахъ (стаканахъ) содержится растворъ поваренной соли. Въ жидкость погружается рядъ серебряныхъ и цинковыхъ пластинокъ, попарно связанныхъ металлическимъ соединеніемъ, такъ что въ одномъ изъ крайнихъ стакановъ помѣщалась серебряная пластинка, въ другомъ цинковая, а въ каждомъ изъ остальныхъ по серебряной и цинковой пластинкѣ. Этотъ стаканный приборъ отличается отъ столба только тѣмъ, что металлическія пластинки соединяются въ немъ не непосредственно, а при помощи металлическихъ дугъ. Было бы, конечно, нетрудно устроить и непосредственное соприкосновеніе, — взявъ настолько длинныя серебряныя и цинковыя пластинки, чтобы онѣ касались другъ друга. Но Вольта зналъ, что разность напряженій между серебромъ и цинкомъ не измѣняется отъ включенія третьяго металла (ср. § 310).

Стаканный приборъ дѣйствуетъ во всѣхъ отношеніяхъ точно такъ же, какъ и столбъ. Двѣ крайнія пластинки имѣютъ противоположные заряды и приборъ дѣйствуетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше число сосудовъ. Вольта нашелъ, что серебро можно замѣнить болѣе дешевой мѣдью, не ослабивъ замѣтно столба (ср. таблицу

напряженій въ § 310). Такого рода столбы нашли обширное примѣненіе. Въ послѣдующемъ подѣ именемъ Вольтова элемента мы будемъ разумѣть сочетаніе мѣди—жидкость—цинкъ.

315. Вольта объяснял дѣйствіе столба слѣдующимъ образомъ. Два металла, соприкасающіеся или связанные другъ съ другомъ третьимъ, пріобрѣтаютъ неодинаковое электрическое напряженіе. Если столбъ состоитъ изъ мѣди и цинка, то первая

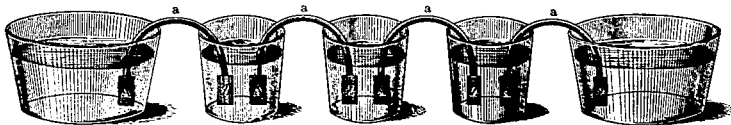
Рис. 259



Раздѣленный столбъ Вольты.

мѣдная пластинка получаетъ напряженіе 1, а первая цинковая 12 (ср. § 310). Переходъ къ слѣдующей парѣ пластинокъ происходитъ по жидкости въ пористомъ кружкѣ и, по допущенію Вольты, подѣ дѣйствіемъ послѣдней двѣ металлическія пластинки, раздѣленная ею, пріобрѣтаютъ одно и то же напряженіе. Такимъ образомъ, онъ

Рис. 260



Стаканный приборъ Вольты (А серебро, Zn цинкъ).

разсматривалъ жидкость, какъ пассивный проводникъ электричества отъ одной пластинки къ другой, а изъ этого очевидно слѣдовало, что слѣдующая мѣдная пластинка чрезъ соединеніе съ жидкостью получаетъ напряженіе 12. Соприкасаясь съ мѣдной пластинкой, слѣдующая цинковая пластинка въ силу этого получаетъ напряженіе, которое на 11 выше напряженія мѣдной пластинки. Такимъ образомъ ея напряженіе составляетъ $12 + 11 = 23$. Подобнымъ же образомъ слѣдующая цинковая пластинка должна получить зарядъ съ напряженіемъ $23 + 11 = 34$. Согласно этому расчету десятая цинковая пластинка получаетъ напряженіе $12 + 11 \times 9 = 111$.—Такимъ образомъ, разность напряженій на полюсахъ столба изъ десяти парѣ пластинокъ составляетъ $111 - 1 = 110$, т. е. въ 10 разъ превышаетъ разность напряженій на пластинкахъ одной пары, $12 - 1 = 11$ (ср. § 310).

Итакъ, Вольта принималъ, что электричество столба производится исключи-

тельно соприкосновениемъ различныхъ металловъ. Для обозначенія причины электрическихъ свойствъ столба онъ ввелъ новое названіе. Когда соприкасаются два металла, то въ мѣстѣ соприкосновенія возникаетъ электродвижущая сила, которая перемѣщаетъ электричество въ пластинкахъ такъ, что получается извѣстная разность напряженій, зависящая отъ природы металловъ. Самый столбъ Вольта назвалъ электродвижущимъ органомъ.

Вольта доказалъ опытами, что электродвижущая сила имѣетъ какъ определенную величину, такъ и определенное направленіе. Онъ поставилъ 20 сосудовъ съ серебряными и цинковыми пластинками въ рядъ, такъ что серебряныя пластинки помѣщались слѣва, а цинковыя справа, и каждую цинковую пластинку соединилъ съ серебряной пластинкой слѣдующаго элемента. Такимъ образомъ онъ получилъ гальваническую батарею въ 20 элементовъ, которая давала замѣтные электрическіе удары, когда онъ одновременно касался обоихъ полюсовъ.— Затѣмъ Вольта прибавилъ къ этимъ 20 элементамъ еще 20 такого же рода, но расположенные въ противоположномъ порядкѣ (серебро справа, цинкъ слѣва). Эта батарея изъ сорока элементовъ не обнаружила абсолютно никакого дѣйствія. „Сила“ одного ряда 20 элементовъ совершенно уничтожалась силою другого ряда. Когда было прибавлено еще 20 элементовъ, аналогичныхъ первымъ 20, то эта батарея изъ 60 элементовъ снова обнаружила сильное дѣйствіе.

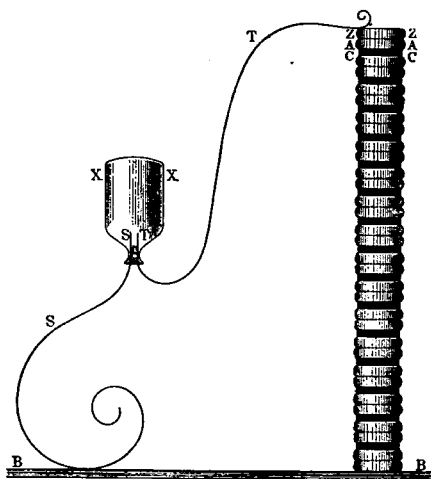
Итакъ, электродвижущая сила, т. е. сила, перемѣщающая электричество, имѣетъ определенное направленіе и, какъ уже было упомянуто, дѣйствуетъ непрерывно (постоянно). Вольта повторилъ съ этимъ столбомъ опыты надъ дѣйствіемъ электричества на органы чувствъ (§ 309). Взявъ въ руку проволоку отъ одного полюса, а другою проволокою касаясь кончика носа, вѣка или другого чувствительнаго мѣста кожи, онъ чувствовалъ въ этомъ мѣстѣ покалываніе, которое продолжалось, пока проводъ былъ замкнутъ. Тонкая чувствительная кожа представляла часть провода между полюсами батареи и такъ какъ полюсы имѣли различное напряженіе, то сквозь кожу происходилъ разрядъ, который вызывалъ это ощущение своеобразнаго покалыванія. И такъ какъ гальваническую батарею нужно сравнивать со слабо заряженной лейденской банкой, которая послѣ разряда постоянно заряжается снова сама собою, то легко понять, что указанное покалываніе продолжается, пока сквозь кожу течетъ „электрическій флуидъ“.

Вскорѣ мы дадимъ болѣе ясныя доказательства того, что между полюсами столба, когда они соединены металлическимъ проводомъ, идетъ непрерывный электрическій токъ. Мы узнаемъ также, что электродвижущая сила происходитъ не отъ соприкосновенія двухъ металловъ, какъ это принималъ Вольта, но что ея причины нужно искать въ соприкосновеніи металловъ съ жидкостью.

316. Еще до того, какъ было прочитано въ Royal Society это знаменитое письмо Вольты, президентъ познакомилъ нѣкоторыхъ членовъ съ его содержаніемъ, между прочимъ также Антони Карлейля (1768—1840), впоследствии знаменитаго хирурга, и его друга, уже упомянутаго раньше (I, § 203) физика Вильяма Никольсона (1753—1815). Эти два ученыхъ стали производить опыты со столбомъ, который состоялъ изъ 17 серебряныхъ монетъ, такого же числа цинковыхъ пластинокъ и смоченныхъ соленою водою кружковъ картона. Они наблюдали, что столбъ этотъ наэлектризованъ, что онъ даетъ слабыя электрическіе удары и т. д. Въ одномъ изъ

ихъ опытовъ къ нижней серебряной пластинкѣ столба была припаяна металлическая проволока. Эта проволока была опущена концомъ въ каплю воды, находившуюся на верхней цинковой пластинкѣ. Карлейль замѣтилъ, что, когда токъ замыкался такимъ способомъ, въ каплѣ воды образовывались маленькіе пузырьки газа. Никольсону даже казалось, что онъ чувствуетъ (!) запахъ водорода. Для болѣе точнаго изслѣдованія этого явленія послужило приспособленіе, которое предложилъ Ландріани въ Вѣнѣ. Столбъ стоитъ на металлической пластинкѣ (рис. 261). Съ послѣдней, а, значить, и съ нижней пластинкой столба, соединена латунная проволока *S*; отъ верхней пластинки столба идетъ латунная проволока *T*. Обѣ эти проволоки отъ полюсовъ проходятъ сквозь пробку бутылки *X*, опущенной горлышкомъ внизъ и наполненной водою. Въ этой бутылкѣ электрическій токъ отъ проволоки *T* черезъ жидкость передается проволокѣ *S*.—При замыканіи тока на проволокѣ *S* образовывался газъ, который скоплялся въ бутылкѣ и который при болѣе точномъ изслѣдованіи оказался водородомъ. Въ то же время входившій въ бутылку конецъ проволоки *T* окислялся. Такимъ образомъ, электрическій токъ разлагалъ воду на ея составныя части, на водородъ и кислородъ. Первый собирался въ свободномъ состояніи въ бутылкѣ, а послѣдній соединялся съ мѣдью и съ цинкомъ, изъ которыхъ сдѣланы проволоки. Если эти проволоки сдѣланы изъ платины, которая не окисляется, то кислородъ получается въ свободномъ состояніи. Риттеръ (см. § 318) построилъ приборъ для разложенія воды, изображенный на рис. 262. Сквозь стѣнки сосуда въ воду входятъ двѣ платиновыя проволоки. Газы, образующіеся на проволокахъ при замыканіи тока, собираются въ двухъ стеклянныхъ трубкахъ, наполненныхъ водою; при этомъ, какъ видно на рисункѣ, водорода получается вдвое больше, чѣмъ кислорода. Болѣе современная форма прибора для разложенія воды изображена на рис. 263. Проволоки отъ полюсовъ оканчиваются листочками платины, входящими въ стеклянныя трубки.—Разложеніе воды ясно показываетъ, что электрическій токъ продолжается все время, пока полюсы столба соединены между собою проводникомъ.

Рис. 261



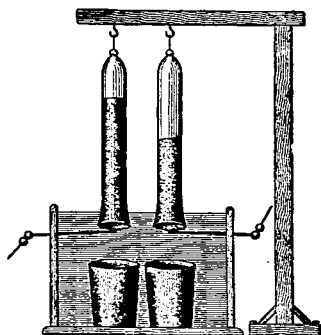
Бутылка Ландріани.

317. Никольсонъ и Карлейль построили также стаканный приборъ и замѣтили, что при замыканіи проводника, идущаго отъ одного полюса къ другому, т. е. при существованіи электрическаго тока, между металломъ и жидкостью что-то происходитъ. Они подмѣтили, что цинковая пластинка окисляется. Въ самомъ дѣлѣ, электрическій токъ идетъ не только по вѣдшему проводу между полюсами,—вмѣстѣ съ тѣмъ онъ идетъ и въ самомъ гальваническомъ элементѣ сквозь его жидкость отъ

одной пластинки къ другой. Электрическій токъ проходитъ замкнутый циклъ и, проходя сквозь элементъ, разлагаетъ воду на ея составныя части.

318. Вскорѣ оказалось, что электрическій токъ разлагаетъ не только воду, но и другія жидкости. Риттеру даже казалось возможнымъ, на основаніи его опытовъ, сдѣлать выводъ, что электрическій токъ производитъ разлагающее дѣйствіе на всѣ жидкости. Риттеръ (род. 1776 въ Заміцѣ, Шлезія, ум. 1810 въ Мюнхенѣ), другъ Эрстеда,

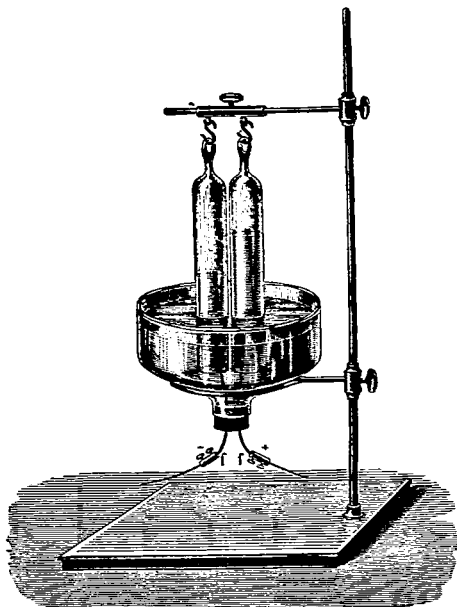
Рис. 262



Приборъ Риттера для разложенія воды.

усердно занимался изслѣдовашіемъ химическаго дѣйствія электрическаго тока. Между его изобрѣтеніями нужно особенно отмѣтить такъ называемый зарядный столбъ.—Риттеръ исходилъ изъ наблюденія, сдѣланнаго парижскимъ учителемъ музыки Никола Готро (1753—1803), что платиновые полюсы прибора для разложенія воды пріобрѣтаютъ электродвижущую силу послѣ того, какъ токъ дѣйствовалъ въ приборѣ нѣкоторое время. Если прервать токъ и затѣмъ соединить полюсы проводникомъ, то въ послѣднемъ образуется токъ, который Готро замѣтилъ, коснувшись языкомъ проволоку. Риттеръ нашелъ, что это происходитъ, когда полюсы сдѣланы изъ золота, серебра, мѣди или висмута.—Онъ положилъ кусокъ влажнаго сукна между двумя золотыми монетами и соединилъ проводникомъ каждую изъ нихъ съ однимъ изъ двухъ полюсовъ вольтова столба. Такимъ образомъ, токъ отъ одной монеты шель къ другой сквозь кусокъ влажнаго сукна. При перерывѣ затѣмъ тока оказалось, что двѣ монеты вмѣстѣ съ влажнымъ кружкомъ представляли гальваничесую элементъ; при этомъ монета, соединявшаяся съ положительнымъ (отрицательнымъ) полюсомъ столба теперь сама представляла положительный (отрицательный) полюсъ. Слѣдовательно, токъ, который давалъ элементъ, составленный изъ двухъ монетъ и влажнаго суконнаго кружка, имѣлъ направленіе, обратное направленію тока въ столбѣ.—Затѣмъ Риттеръ пропустилъ токъ вольтова

Рис. 263

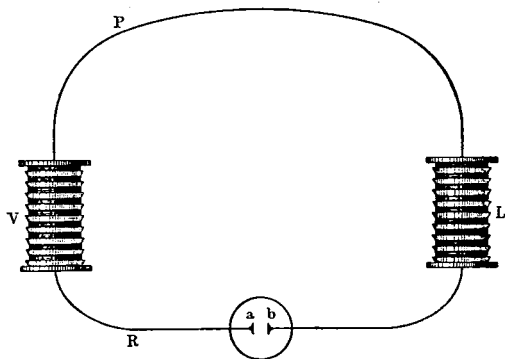


Приборъ для разложенія воды.

столба через столбъ, состоящий изъ серебряныхъ пластинокъ и влажныхъ суконныхъ кружковъ, вслѣдствіе чего его столбъ „заряжался“. Пластинки были поляризованы и столбъ имѣлъ теперь столько элементовъ, сколько было влажныхъ суконныхъ кружковъ. Электродвижущая сила этихъ элементовъ имѣла направленіе, обратное направленію элементовъ Вольтова столба. Такимъ образомъ этотъ зарядный столбъ представлялъ собою гальваническую батарею. Его называютъ вторичной батареей, такъ какъ его дѣйствіе обуславливается другою батареей, первичной.

Что электродвижущая сила вторичной батареи направлена противоположно электродвижущей силѣ первичной батареи, можно ясно видѣть, если пустить токъ Вольтова столба V (рис. 264) одновременно черезъ приборъ для разложенія воды и черезъ зарядный столбъ L . Если токъ Вольтова столба даетъ, напримѣръ, водородъ

Рис. 264



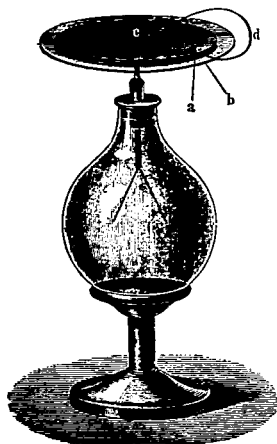
Направленіе тока въ зарядномъ столбѣ.

въ a и кислородъ въ b , то, обратно, въ a будетъ получаться кислородъ, а въ b водородъ, если выключить Вольтовъ столбъ и соединить проволоки P и R такъ, чтобы токъ заряднаго столба шелъ черезъ приборъ для разложенія воды.

Зарядный столбъ даетъ, впрочемъ, только непродолжительный токъ, такъ какъ его электродвижущая сила быстро истощается. Но откуда происходитъ электродвижущая сила заряднаго столба? Риттеръ далъ объясненіе, но оно было невѣрно. Вольта же, получивъ извѣстіе объ опытахъ Риттера, сейчасъ же понялъ связь между этими явленіями. Его объясненіе состояло въ слѣдующемъ: пока токъ идетъ черезъ зарядный столбъ, вода во влажныхъ суконныхъ кружкахъ разлагается на свои составныя части. На одной металлической пластинкѣ образуется кислородъ, а на другой водородъ. Поверхности пластинки становятся, такъ сказать, одна кислородной, а другая водородной. Между ними и самимъ металломъ (и жидкостью) получаютъ электродвижущія силы, производящія токъ, направленіе котораго противоположно направленію заряжающаго тока. Поэтому, если удалить Вольтовъ столбъ и установить соединеніе проводникомъ между крайними пластинками заряднаго столба, то возникнетъ токъ, дѣйствіе котораго дастъ кислородъ на тѣхъ поверхностяхъ, на которыхъ токъ Вольтова столба давалъ водородъ, и наоборотъ. Эти два газа, соединяясь, образуютъ воду и, какъ только газы, въ силу этого процесса, исчезаютъ, утрачивается и электродвижущая сила вторичнаго элемента.

Существованіе электродвижущей силы заряднаго столба съ очевидностью доказы-
вается, что эта сила вызывается не исключительно соприкосновеніемъ металловъ,
какъ то принималъ сначала Вольта. Легко показать, что разность напряженій полу-
чается также при соприкосновеніи металла съ жидкостью.—На пластинку электро-
скопа (рис. 265) кладутъ стеклянный кружокъ, а на него пускаютъ нѣсколько ка-
пель жидкости. Если соединить затѣмъ пластинку конденсатора и жидкость при по-
средствѣ проволоки изъ того же металла, что и пластинка, то происходитъ раздѣ-
леніе электричества. Жидкость (обыкновенно) заряжается положительно, а металлъ
отрицательно. Если удалить соединительную металлическую проволоку, то листочки
электроскопа расходятся, получая тотъ же зарядъ, какой получилъ металлъ при со-

Рис. 265



Напряженіе между металломъ и
жидкостью.

прикосновеніи съ жидкостью. Электродвижущая сила
всегда имѣетъ одинаковую величину независимо отъ
того, велика или мала поверхность соприкосновенія
между металломъ и жидкостью.

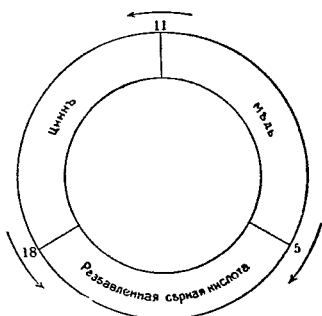
319. Въ качествѣ возбудителей электричества
жидкости отличаются, какъ показалъ Вольта, тѣмъ,
что для нихъ нѣтъ мѣста въ ряду напряженій метал-
ловъ. Разность напряженій двухъ металловъ, какъ мы
видѣли выше (§ 310), не измѣняется, когда между
этими двумя металлами вставляются другіе. Дѣло
обстоитъ иначе, если металлы раздѣлены жидкостью.
Допустимъ, на примѣръ, что амальгамированная цинко-
вая пластинка отдѣляется отъ мѣдной пластинки раз-
веденной сѣрной кислотой. Электродвижущую силу
между цинкомъ и мѣдью мы, согласно § 310, обо-
значимъ числомъ 11. Какъ показываетъ стрѣлка на
рис. 266, она дѣйствуетъ въ направленіи отъ мѣди
къ цинку. Электродвижущая сила между цинкомъ и
разведенной сѣрной кислотой равна 18 и дѣйствуетъ
по направленію отъ жидкости къ цинку. Электродви-

жущая сила между мѣдью и разведенной сѣрной кислотой равна 5 и дѣйствуетъ по
направленію отъ мѣди къ кислотѣ. Такимъ образомъ, въ гальваническомъ кольцѣ
(рис. 266) дѣйствуютъ три электродвижущихъ силы, двѣ (11 и 18) въ одномъ и
томъ же направленіи, а третья (5) въ противоположномъ. Въ результатъ получается
сила, равная $11 + 18 - 5 = 24$, которая дѣйствуетъ въ направленіи отъ цинка черезъ
жидкость къ мѣди. Эта электродвижущая сила производитъ въ кольцѣ электрическій
токъ. Направленіе этого тока есть направленіе, въ которомъ перемѣщается положи-
тельное электричество, слѣдовательно, направленіе цинкъ—жидкость—мѣдь—цинкъ.
—Если представить себѣ это кольцо разрѣзаннымъ въ мѣстѣ соприкосновенія цинка
и мѣди, то получается „открытый гальваническій элементъ“ (рис. 267). Такъ какъ
проводникъ здѣсь незамкнутъ, то не можетъ быть и тока, но между цинкомъ и мѣдью
получается разность напряженій (напряженіе полюсовъ). Величина напряженія полю-
совъ опредѣляется дѣйствіемъ металловъ на жидкость. Между цинкомъ и жидкостью
дѣйствуетъ сила 18 въ направленіи стрѣлки (см. рис. 267). Между мѣдью и жид-
костью дѣйствуетъ сила 5 въ противоположномъ направленіи. Такимъ образомъ, ре-

зультирующая сила равна 13 и дѣйствуетъ по направленію цинкъ—жидкость—мѣдь. Такъ какъ при этомъ разсужденіи мы выражали разность электрическихъ напряженій и электродвижущую силу однимъ и тѣмъ же числомъ, то напряженіе полюсовъ открытаго гальваническаго элемента будетъ выражаться числомъ 13.

На рис. 268 изображена введенная Вольтой стаканная форма такого элемента. *A'* представляетъ цинковую пластинку, *B* мѣдную, *A* и *D* припаянныя мѣдныя проволоки.—Цинкъ представляетъ отрицательный полюсъ, мѣдь положительный и, такимъ образомъ, какъ только проволоки *A* и *D* соединяются проводникомъ въ видѣ изогнутой металлической палочки, получается электрическій токъ. Когда это происходитъ, то различныя электродвижущія силы получаютъ возможность дѣйствовать и результирующая сила, такъ называемая электродвижущая сила элемента, посылаетъ по замкнутому проводу электрическій токъ въ направленіи стрѣлки (рис. 268). Такъ какъ токъ въ элементѣ идетъ въ жидкости отъ цинка къ мѣди, то во внѣшнемъ проводѣ онъ идетъ отъ мѣди къ цинку. Мѣдь представляетъ положительный, а цинкъ отрицательный полюсъ элемента. Если въ замыкающій проводникъ включить приборъ для разложенія воды, то можно видѣть, что на отрицательномъ полюсѣ получается водо-

Рис. 266



Гальваническое кольцо.

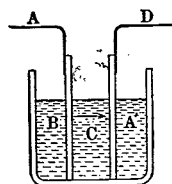
Гальванический элементъ. Если въ замыкающій проводникъ включить приборъ для разложенія воды, то можно видѣть, что на отрицательномъ полюсѣ получается водо-

Рис. 267



Открытый элементъ.

Рис. 268



Гальваническій элементъ.

родъ („водородъ идетъ вмѣстѣ съ токомъ“). Однако, гальваническій элементъ цинкъ—разведенная сѣрная кислота—мѣдь быстро теряетъ свою силу, такъ какъ металлическія пластинки поляризуются. Токъ идетъ въ жидкости элемента отъ одной пластинки къ другой и вода, содержащая кислоту, разлагается на кислородъ и водородъ. Кислородъ отдѣляется на цинкѣ и окисляетъ послѣдній, а водородъ выдѣляется на мѣдной пластинкѣ. Получается электродвижущая сила, которая имѣетъ направленіе, противоположное направленію первоначальной электродвижущей силы элемента. Первый токъ ослабляется этимъ токомъ противоположнаго направленія и вскорѣ совсѣмъ прекращается. Поэтому стали устраивать элементы, въ которыхъ поляризація пластинокъ устраняется. Но прежде чѣмъ познакомиться съ этими постоянно дѣйствующими элементами, мы должны заняться нѣсколько подробнѣе химическими дѣйствіями электрическаго тока.

Природа веществъ

320. Большинство веществъ внутри земли и на ея поверхности сложныя, т. е. могутъ быть разложены на разнородныя составныя части.

При разсмотрѣніи состоянія земной поверхности получается совершенно иное впечатлѣніе, чѣмъ при наблюденіи небеснаго свода. Хотя движеніе наблюдается какъ здѣсь, такъ и тамъ, но движенія на небѣ происходятъ равномерно: одинъ періодъ времени смѣняется другимъ и одни и тѣ же движенія повторяются въ одной и той же послѣдовательности черезъ одни и тѣ же промежутки времени. Движенія на земной поверхности совсѣмъ иного рода. Правда, и здѣсь мы находимъ большія группы измѣненій, которыя происходятъ, чередуясь равномерно,—прежде всего движенія веществъ, связанныя со смѣной времянь года. Весною появляется жизнь зъ растеній; образуются новыя части растений, продолжающихъ лѣтомъ свое развитіе, которое или находитъ свое завершеніе въ теченіе года или послѣ отдыха продолжается въ слѣдующемъ году. Осенью части растений опадаютъ и разрушаются; изъ ихъ составныхъ частей образуются новыя вещества и т. д.—Хотя эти движенія вещества и происходятъ съ извѣстной правильностью, но эту правильность нельзя сравнить съ правильностью движеній небесныхъ тѣлъ. На поверхности земли мы наблюдаемъ непрерывно мѣняющееся и, повидимому, лишенное правильности движеніе. Кромѣ обмѣна веществъ въ живыхъ или органическихъ тѣлахъ природы, мы замѣчаемъ безчисленныя движенія веществъ въ безжизненныхъ или неорганическихъ тѣлахъ. Воздухъ и вода производятъ измѣненія различнаго рода и многія вещества дѣйствуютъ другъ на друга такъ, что они распадаются на свои составныя части, а эти послѣднія даютъ новыя соединенія.

321. Образъ жизни человѣка самымъ тѣснымъ образомъ связанъ съ этимъ обмѣномъ веществъ. На самой низшей ступени развитія человѣкъ довольствуется тѣмъ, что непосредственно даетъ сама природа. Его пища состоитъ изъ растительныхъ веществъ, а для изготовленія одежды, равно какъ и для постройки жилищъ служатъ продукты природы въ своемъ естественномъ состояніи.—Но уже съ древнѣйшихъ временъ человѣкъ приобрѣлъ въ огнѣ средство для переработки природныхъ продуктовъ въ надлежащій видъ. Съ помощью огня готовится животная пища, съ помощью огня получаютъ изъ рудъ металлы, изъ которыхъ, опять-таки при помощи огня, изготовляются инструменты и оружіе.

Такимъ образомъ, человѣкъ съ теченіемъ времени знакомился съ различнаго рода превращеніями, которымъ подвергаются природныя тѣла при надлежащей обработкѣ. Наблюденіе этихъ явленій долгое время было чисто случайнымъ и мало сознательнымъ. Но въ концѣ концовъ поняли, что въ основѣ разнообразныхъ явленій обмѣна веществъ лежитъ опредѣленная закономерность. Послѣ долгаго, бессистемнаго нащупыванія припли къ научному изслѣдованію и въ области непостоянныхъ явленій природы. Разумѣется, изслѣдованіе правильно происходящихъ явленій природы, т. е. движеній небесныхъ тѣлъ, должно было предшествовать этому.

322. Наука, задача которой состоитъ въ изслѣдованіи свойствъ веществъ и законовъ взаимодѣйствія ихъ другъ на друга, называется химіей. Названіе это было въ употребленіи уже въ IV вѣкѣ по Р. Х. и, по всей вѣроятности, египетскаго про-

исхожденія. „Хми“ есть древнее туземное названіе самого Египта и означаетъ „Черная земля“¹⁾). Греки и римляне знали химію, какъ собственно египетское „искусство“.

Изъ всѣхъ культурныхъ народовъ древности египтяне обладали наибольшими познаніями въ химію. Они умѣли съ помощью огня производить многочисленныя превращенія веществъ, а египетскіе жрецы обладали надежными способами химическихъ работъ, не имѣя никакихъ свѣдѣній, однако, о причинахъ и о связи этихъ явленій. Химія была у нихъ ремесленнымъ искусствомъ, которое во многихъ отдѣльныхъ отрасляхъ достигло высокой степени совершенства. Они знали металлы: золото, серебро, мѣдь, желѣзо и свинецъ, а также сплавы мѣди съ оловомъ и цинкомъ, такъ называемыя бронзы, которыя служили для приготовленія оружія, орудій и украшеній. Египтяне дѣлали стекло, какъ безцвѣтное, такъ и цвѣтное, и обжигали глиняные сосуды съ цвѣтной глазурью. Они приготовляли мыло и обладали многочисленными красящими веществами, которыя изготовлялись фабричнымъ образомъ. У египетскихъ жрецовъ, безъ сомнѣнія, были химическія лаборатории, гдѣ добывались названныя вещества, лекарства, консервирующія средства, служившія для бальзамированія труповъ, и другіе препараты. Въ гробницахъ мумій нашли также папирусныя свитки съ химическимъ текстомъ, которые хранятся въ библіотекѣ Лейдена. Отъ египтянъ „искусство превращенія“ узнали и остальные народы Средиземнаго моря, сначала финикіане и евреи, позже греки; греческіе же мудрецы во время своего пребыванія въ Египтѣ, несомнѣнно, пріобрѣли отъ жрецовъ болѣе точныя знанія и въ этой области.

323. Химическое искусство не пошло у грековъ по пути дальнѣйшаго экспериментальнаго развитія. То, съ чѣмъ греческіе мудрецы познакомились въ Египтѣ, послужило имъ исходнымъ пунктомъ для умозрѣній относительно природы матеріи вообще.

Древніе греческіе философы старались объяснить сущность вещей допущеніемъ, что существуетъ основное вещество, изъ котораго построена вся вселенная.

Фалесъ изъ Милета считалъ этимъ первичнымъ веществомъ воду. Это воззрѣніе вело свое начало, конечно, отъ болѣе древнихъ культурныхъ народовъ, вся культура которыхъ была связана съ оплодотворяющимъ дѣйствіемъ воды большихъ рѣкъ: Гоанго, Евфрата, Ганга, Нила. Взглядъ, что вода есть первичное вещество, былъ основанъ на наблюденіи, что вода необходима для обмѣна веществъ въ тѣлахъ органической природы. Однако, скоро должны были прійти къ убѣжденію, что выборъ воды первичнымъ веществомъ былъ довольно произволенъ. Анаксимандръ (610—545 до Р. Х.), послѣдователь Фалеса въ іонійской школѣ, отвергъ представленіе о водѣ, какъ о первичномъ веществѣ, и на мѣсто ея поставилъ неопредѣленное вещество. Анаксименъ (около 550 г. до Р. Х.), напротивъ, видѣлъ первичное вещество въ воздухѣ. „Когда воздухъ сгущается, получается вода и земля, а когда воздухъ разрѣжается, получается огонь; такимъ образомъ, всѣ вещества образуются изъ воздуха“.—Здѣсь мы видимъ начало ученія о четырехъ элементахъ или стихіяхъ: воздухъ, водѣ, огнѣ и землѣ; но простая погоня за единымъ принципомъ относительно природы матеріи сама по себѣ не вела еще къ дѣйствительному знанію.

¹⁾ Быть можетъ, правильнѣе производить греческое слово *χημία* отъ слова *χημός*, сокъ растеній.

То же самое относится и къ математическимъ разсужденіямъ Пифагорейцевъ. По ихъ мнѣнію въ строеніи вселенной проявляются пять правильныхъ геометрическихъ тѣлъ. Воздухъ состоитъ изъ октаэдровъ, вода изъ икосаэдровъ, огонь изъ тетраэдровъ и земля изъ гексаэдровъ. Пятое правильное тѣло, додекаэдръ, съ многими гармоническими отношеніями своихъ пятиугольниковъ, было символомъ вселенной. Для умозрѣній здѣсь открывалось широкое поле, но даже самыя гениальныя разсужденія въ этой области остаются бесплодными, если они не подтверждаются явленіями природы. Особенно отчетливо эта мысль выступаетъ при сравненіи идей Анаксагора и Демокрита съ современными представленіями о свойствахъ вещества.

Анаксагоръ (около 450 до Р. Х.) былъ родомъ изъ Клазоменъ въ Малой Азіи, но работалъ преимущественно въ Афинахъ. Къ его ученикамъ и друзьямъ принадлежали Сократъ, Периклъ и Фидій. Анаксагоръ былъ обвиненъ въ безбожій, такъ какъ училъ, что солнце есть раскаленный камень, болѣе, чѣмъ Пелопоннесъ, и избѣжалъ смертной казни только потому, что за него вступился Периклъ. Отъ его книги „О природѣ“ сохранились отдѣльные отрывки. Онъ считалъ заблужденіемъ мысль, что вещество можетъ быть создано или уничтожено или „превращено“. Всѣ явленія въ природѣ состоятъ въ обмѣнѣ, соединеніи и отдѣленіи отдѣльныхъ веществъ. Всѣ тѣла состоятъ изъ невидимыхъ частицъ, которыя остаются неизмѣнными и существуютъ въ безконечномъ числѣ. Онѣ отличаются другъ отъ друга формой, цвѣтомъ и вкусомъ. Первоначально онѣ были разбросаны беспорядочно, случайно. И міръ образовался изъ нихъ вслѣдствіе проявленія въ нихъ „духа“ (т. е. движущаго начала), благодаря которому въ вещественномъ мірѣ наступило господство порядка и законности.

Яснѣе высказывается относительно этого вопроса современникъ Анаксагора, Демокритъ изъ Абдеры. Онъ былъ, судя по древнимъ свѣдѣніямъ, челоѣкомъ много странствовавшимъ, который во время путешествій приобрѣлъ обширныя познанія. По своемъ возвращеніи онъ написалъ очень много книгъ. Въ глазахъ своихъ современниковъ онъ стоялъ высоко и, когда умеръ, 100 лѣтъ отъ роду, онъ былъ погребенъ на общественный счетъ. Большое вліяніе оказалъ на него его учитель Левкиппъ, который принялъ существенное участіе и въ обоснованіи выставленнаго Демокритомъ атомнаго ученія. По этой теоріи вселенная состоитъ изъ пустого пространства и изъ безконечнаго множества невидимыхъ, неуничтожаемыхъ и недѣлимыхъ маленькихъ тѣлецъ, атомовъ (греческое слово *atomos* означаетъ „недѣлимый“). Эти атомы имѣютъ различный видъ. Когда они соединяются, то образуется вещество, когда же они снова отдѣляются другъ отъ друга, вещество распадается. Измѣненія вещественнаго міра, такимъ образомъ, равнозначны движеніямъ атомовъ. Причиной же этихъ движеній по Демокриту является сила, которой обладаютъ сами атомы.

Демокритъ такъ же, какъ и Анаксагоръ, считалъ вещество вѣчнымъ и количество его неизмѣннымъ, но въ противоположность Анаксагору принималъ, что атомы различаются только формой. Считаая, что сила, дѣйствующая между атомами, есть нѣчто, принадлежащее природѣ самихъ атомовъ, Демокритъ этимъ приближался къ современному положенію, что „количество силы“ (или количество энергіи), несмотря на всѣ измѣненія въ вещественномъ мірѣ, неизмѣнно.

Атомное ученіе Демокрита представляетъ блестящій примѣръ того, что были въ

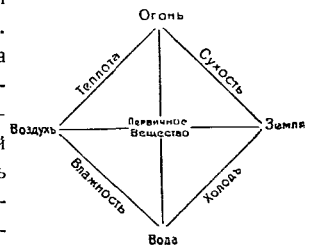
состоянии слѣлать греки благодаря ясному мысленію. Онъ построилъ теорію, которая была подтверждена экспериментальными изслѣдованіями нанихъ дней. Но исторія этого атомнаго ученія указываетъ намъ вмѣстѣ съ тѣмъ, что само по себѣ величественное знаніе умозрѣнія не становится путеводной звѣздой для науки, если это знаніе не покоится на прочно установленномъ опытами фундаментѣ. Атомное ученіе Демокрита не стало сейчасъ же путеводителемъ для тѣхъ, кто стремился выяснитъ природу химическихъ явленій. Ученіе это продолжало жить только у философовъ, а послѣдніе замѣтнаго вліянія на развитіе химіи вовсе не оказали.

324. Ученіе о четырехъ элементахъ, возникшее у халдеевъ, было развито дальше Аристотелемъ, великимъ систематикомъ древности. Пустого пространства Аристотель не признавалъ. Онъ, наоборотъ, принималъ, что все пространство заполнено веществомъ. Первичное вещество, говоритъ онъ, не имѣетъ никакихъ свойствъ, напротивъ, четыре элемента: огонь, воздухъ, земля и вода, являются носителями четырехъ свойствъ: тепла, холода, сухости и влажности. Огонь (рис. 269) тепелъ и сухъ, воздухъ тепелъ и влаженъ, земля суха и холодна, вода влажна и холодна. Элементы могутъ переходить одинъ въ другой. Если отнять у воздуха тепло, то онъ переходитъ въ воду, если землѣ придать тепло, то она переходитъ въ огонь и т. д. Изъ огня, воздуха, земли и воды состоятъ всѣ вещества и эти элементы могутъ быть получены разложеніемъ веществъ. Элементы же сами не могутъ быть разложены.— У халдеевъ былъ еще пятый элементъ, эфиръ, который проникаетъ всѣ тѣла. Аристотель также включилъ эфиръ въ свою систему. Земля, говорилъ онъ, есть тяжелый элементъ, огонь — легкій; между ними находятся вода и воздухъ; вещества устремляются внизъ къ землѣ, если въ нихъ преобладаетъ тяжелый элементъ; если же въ нихъ преобладаетъ легкій элементъ, то они устремляются вверхъ къ небу, состоящему изъ пятаго элемента (quinta essentia), эфира.

Тѣла, которыя тяжелѣе воды, содержатъ, по Аристотелю, землю; тѣла, которыя легче воды, содержатъ воздухъ; горючія тѣла содержатъ огонь и т. д. Вообще, вещество состоитъ изъ нѣсколькихъ элементовъ, которые соединены въ одно цѣлое, подобно тому, какъ соединяются въ одно цѣлое буквы слога. Отдѣльныя вещества существенно не отличаются другъ отъ друга, но состоятъ изъ однихъ и тѣхъ же элементовъ. Одно вещество можетъ переходить въ другое, замѣняя одинъ изъ своихъ элементовъ другимъ.—Превосходнымъ средствомъ для производства такихъ превращеній служить огонь (тепло). Процессы плавленія, замерзанія, испаренія и конденсациі принадлежатъ къ тѣмъ превращеніямъ, которыя легко объясняются согласно рис. 269. Земля становится водой, если сухость замѣняется влажностью, вода становится воздухомъ, если холодъ замѣняется тепломъ, и т. д.

325. Когда Александрія слѣлалась средоточіемъ греческой науки, греки мало по малу стали знакомиться съ химическимъ искусствомъ. Александрійскій музей находился въ тѣсномъ общеніи съ сословіемъ египетскихъ жрецовъ, и древнеегипетская культура усердно изучалась учеными музея.—Въ области химіи, искусства превращеній, особенно усердно занимались превращеніями металловъ. Египтяне нанли,

Рис. 269



Четыре элемента.

что при сплавлении двухъ металловъ получаются новые металлы, иногда значительно отличающіеся отъ первоначальныхъ. Далѣе, они сдѣлали наблюдение, что одинаковыя на видъ мѣдныя руды при выплавкѣ могутъ дать весьма различные металлы. Казалось, будто превращенія происходятъ во время процесса плавки. Тотъ фактъ, что изъ свинца при плавленіи его на воздухѣ получались иногда крупинки серебра, былъ извѣстенъ древнимъ и подкрѣплялъ ихъ вѣру въ возможность превращенія металловъ. Для тѣхъ, кто не подозрѣвалъ, что еще до обработки свинца серебро содержалось въ немъ, но кто былъ уже проникнуть вѣрой въ превращающую силу огня, подобное явленіе имѣло большую важность, особенно потому, что здѣсь дѣло шло о превращеніи неблагороднаго металла въ благородный. Что же касается золота, то было извѣстно, что минералъ, сходный по окраскѣ съ золотомъ (аурипигментъ), при сгораніи иногда оставляетъ небольшое количество золота.

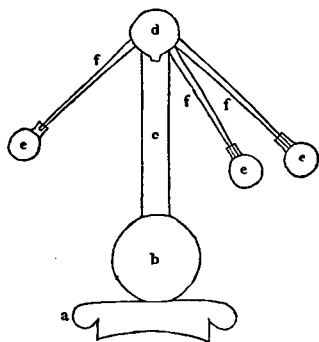
Ученіе о превращеніи металловъ—древняго происхожденія. Миѣы, записанные въ III вѣкѣ по Р. Х., рассказываютъ, что Гермесъ Трисмегистосъ (трижды величайшій) былъ первымъ, кто училъ людей искусству превращенія. Подъ этимъ Гермесомъ, по которому химія получила название „Гермесова искусства“, слѣдуетъ понимать, по всей вѣроятности, Тота, египетскаго бога науки. По преданію этотъ Гермесъ будто бы написалъ много книгъ о превращеніи металловъ и всегда существовалъ кругъ особо избранныхъ людей, посвященныхъ въ его откровенія.

У грековъ вѣра въ возможность превращенія металловъ нашла свободный доступъ не только вслѣдствіе матеріальныхъ выгодъ, которыя могло имѣть воспослѣдствіи разрѣшеніе этой проблемы, но также и потому, что древнеегипетскія преданія находились въ полномъ согласіи съ учешемъ Аристотеля. Аристотель особенно даже подчеркивалъ, что одно вещество можетъ быть превращено въ другое вещество при содѣйствіи огня или другого элемента. Первичное вещество, общее всѣмъ, было одно, различны были только смѣси элементовъ.—Въ научномъ отношеніи, такимъ образомъ, ничто не противорѣчило ученію о превращеніи металловъ. Оно перешло отъ грековъ къ арабамъ, отъ послѣднихъ къ западно-европейскимъ народамъ и держалось въ теченіе всѣхъ среднихъ вѣковъ, вплоть до новѣйшаго времени.

326. Что касается практическаго выполненія превращенія металловъ, то въ этомъ отношеніи ни о какомъ другомъ пути не могло быть рѣчи, какъ только объ опытномъ. Поэтому стали дѣлать массу опытовъ, но въ высшей степени безпорядочныхъ. Не было никакой надежной путеводной нити. Аристотелевское ученіе не давало никакихъ руководящихъ указашій. Лучше, во всякомъ случаѣ, были египетскія предписанія, особенно тѣ, которыя касались примѣненія тепла (огня) при химическихъ операціяхъ.

У насъ имѣются свѣдѣнія о химическихъ приборахъ и способахъ работъ, относящихся къ IV и V вѣкамъ по Р. Х. Именно, отъ трехъ александрійцевъ: Зосимы изъ Панополиса, епископа Синезія изъ Птолемаиды и Олимпіадора, прозваннаго

Рис. 270



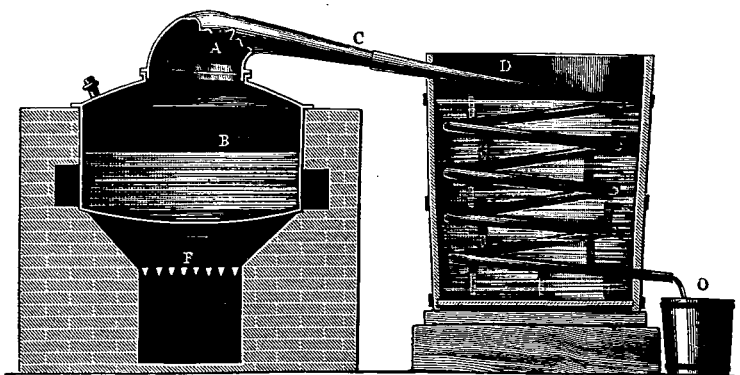
Александрійскій перегонный приборъ.

„Операторомъ“, мы имѣемъ свѣдѣнія о томъ процессѣ, который въ настоящее время мы называемъ дестилляціей или перегонкой.

На рис. 270 изображенъ александрійскій дестилляціонный аппаратъ. Сосудъ *b* изъ обожженной глины соединенъ металлической трубкой *c* со стекляннымъ сосудомъ *d*. Отъ послѣдняго идутъ три металлическія трубки *f* къ тремъ меньшаго размѣра стекляннымъ сосудамъ *e*. Трубки вдѣланы съ сосуда герметически. Если теперь наполнить сосудъ *b* жидкостью и нагрѣть его, то жидкость испаряется и ея пары сгущаются въ холодныхъ сосудахъ *e*.

Этотъ процессъ, такъ называемая дестилляція или перегонка, есть процессъ очистки. Если только въ жидкости были растворены твердыя вещества, то они остаются въ сосудѣ *b*, такъ какъ они не испаряются. Когда желаютъ получить чистую воду изъ обыкновенной ключевой воды, содержащей въ растворѣ различныя тѣла, то ее подвергаютъ перегонкѣ. На корабляхъ при помощи перегонки добываютъ питьевую воду изъ морской. На рис. 271 изображенъ современный перегонный аппаратъ простой кон-

Рис. 271



Перегонный аппаратъ.

струкціи. Въ котлѣ или кубѣ *B* жидкость нагрѣвается до кипѣнія и ея пары сгущаются въ спиральной трубкѣ (такъ называемомъ змѣвикѣ), которая окружена холодной водой.

При помощи перегонки можно отдѣлять другъ отъ друга жидкости съ различной температурой кипѣнія, которыя смѣшаны другъ съ другомъ (напримѣръ, воду и спиртъ). Смѣсь нагрѣваютъ, пока не начнетъ кипѣть жидкость, имѣющая болѣе низкую температуру кипѣнія. Послѣдняя перегоняется, тогда какъ менѣе летучая жидкость остается. Конечно, полное отдѣленіе не достигается однократной перегонкой, но при повтореніи процесса можно добиться болѣе высокой степени отдѣленія (очистки).—Широкое примѣненіе въ промышленности въ настоящее время находитъ такъ называемая фракціонированная перегонка, напримѣръ, при производствѣ спирта, при обработкѣ каменноугольнаго дегтя, а также при очисткѣ петролеума. Конечно, употребляемые при этомъ аппараты гораздо болѣе сложнаго устройства, чѣмъ изображенный на рис. 271. Сырой петролеумъ представляетъ смѣсь различныхъ болѣе или менѣе летучихъ жидкостей. Если нагрѣвать его въ перегонномъ кубѣ, то сначала

выдѣляются газы, затѣмъ перегоняются различныя жидкости, до 70° такъ называемыя горныя масла (нефть), между 70° и 120° —бензинъ. Эти масла очень легко воспламеняются и поэтому не должны содержаться въ очищенномъ петролеумѣ, который предназначается для горѣнія. Послѣдній перегоняется между 150° и 300° . Когда, слѣдовательно, температура въ перегонномъ кубѣ поднимается до 150° , мѣняется пріемникъ и „фракція“ отъ 150° до 300° собирается отдѣльно какъ отъ предшествующихъ, такъ и отъ слѣдующихъ фракцій. При еще болѣе высокыхъ температурахъ перегоняется сначала густое машинное масло, а затѣмъ вазелинъ. То, что остается, наконецъ, въ перегонномъ кубѣ, представляетъ массу вродѣ асфальта, которая можетъ быть употребляема такъ же, какъ и натуральный асфальтъ. Путемъ такихъ же процессовъ изъ каменноугольнаго дегтя получаютъ множество соединений (бензолъ, толуолъ, нафталинъ, фенолъ и др.), которыя подвергаются дальнѣйшей обработкѣ на химическихъ фабрикахъ. Они служатъ для полученія извѣстныхъ анилиновыхъ красокъ и множества другихъ препаратовъ.

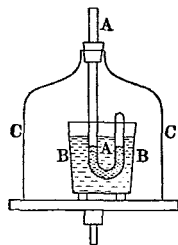
327. Этотъ древній процессъ очистки и отдѣленія состоитъ въ переводѣ жидкости въ газообразное (парообразное) состояніе и въ обратномъ переводѣ газа (пара) въ жидкое состояніе. Особенный интересъ представляетъ послѣдній процессъ теперь, когда мы обладаемъ средствами, при помощи которыхъ мы въ состояніи всѣ газы конденсировать въ жидкости.—Въ перегонномъ приборѣ паръ конденсируется, вступая въ холодный пріемникъ. Сгущеніе, слѣдовательно, можетъ имѣть мѣсто лишь тогда, когда пріемникъ охлажденъ (напримѣръ, охладительной смѣсью) ниже точки кипѣнія жидкости, пары которой должны быть конденсированы въ жидкость. Но если должны быть превращены въ жидкость такія газообразныя тѣла, какъ угольная кислота, водородъ, кислородъ и т. п., то должны быть употреблены одновременно охлажденіе и давленіе. Точка кипѣнія жидкости лежитъ, какъ извѣстно, тѣмъ выше, чѣмъ больше давленіе, подѣ которымъ находится жидкость. Если поэтому сжать газъ, то температура, при которой онъ будетъ въ состояніи конденсироваться въ жидкость, будетъ тѣмъ выше, чѣмъ больше давленіе, подѣ которымъ находится газъ. Однако, послѣднее не слѣдуетъ понимать такъ, что всѣ газы при любой температурѣ могутъ быть превращены въ жидкости однимъ только давленіемъ. Фарадэй по предложенію Дэви предпринялъ въ 1823 году рядъ изслѣдованій о сжиженіи газовъ. Эти изслѣдованія позже были продолжены Тилорье въ Парижѣ и Наттереромъ въ Вѣнѣ. Послѣдній сжималъ газы помощью насоса въ металлическомъ сосудѣ изъ кованаго желѣза, который помѣщался въ охладительной смѣси. Нѣкоторые газы легко конденсировались этимъ способомъ. Двуокись углерода, напримѣръ, превращается въ жидкость при температурѣ -20°C и при давленіи въ 20 атмосферъ. Напротивъ, Наттереру не удалось превратить въ жидкость водородъ, кислородъ и азотъ, хотя онъ подвергалъ ихъ давленію въ 2000 атмосферъ. Тилорье нашелъ, что жидкая угольная кислота при истеченіи изъ тонкаго отверстія очень быстро испаряется и вслѣдствіе охлажденія при этомъ застываетъ въ снѣгообразную массу. Фарадэй въ 1845 году пользовался при своихъ опытахъ сжиженія газовъ смѣсью снѣга, угольной кислоты и эѳира. Охладительная смѣсь—жидкость, имѣвшая температуру -78°C —помѣщалась въ сосудъ *B* (рис. 272), который находился подѣ колоколомъ *C*. Газы, которые подвергались сжиженію, находились въ трубкѣ *A*. Когда изъ колокола выкачивался воздухъ, наступало быстрое испареніе охладительной смѣси и температура послѣдней падала,

какъ показывалъ погруженный въ нее спиртовой термометръ, до— 110° . Однако, хотя Фарадэй сверхъ того подвергалъ газы и сильному давленію, ему все же не удалось обратить въ жидкость кислородъ, азотъ, водородъ и нѣкоторые другіе газы. Онъ догадывался, почему нельзя было сгустить эти газы. „Не подлежитъ никакому сомнѣнію“, говоритъ онъ, „что съ помощью охлажденія будутъ достигнуты результаты, какихъ нельзя добиться однимъ только повышеніемъ давленія“. Онъ былъ того взгляда, что названные газы не могутъ быть сгущены, прежде чѣмъ будетъ найдено средство получать температуры ниже— 110° С.

Дѣйствительно, оказалось, что всякій газъ долженъ быть охлажденъ до извѣстной температуры для того, чтобы его можно было обратить въ жидкость. Андрусъ (1813—1885), профессоръ химіи въ Бельфастѣ, доказалъ это опытнымъ путемъ въ 1869 году. Онъ сжималъ угольную кислоту въ стеклянной трубкѣ, которая при помощи водяной бани держалась на опредѣленной температурѣ. Когда температура угольной кислоты была выше 31° С, то она не сжижалась даже при давленіи въ 400 атмосферъ; но до этого давленія она слѣдовала закону Бойля (I, § 256). Напротивъ того, когда температура падала ниже 31° С, то сгущеніе наступало при давленіи 77 атмосферъ. Андрусъ назвалъ температуру, выше которой угольная кислота не можетъ обращаться въ жидкость (31°), критической температурой угольной кислоты. Если угольная кислота имѣетъ болѣе низкую температуру, то она можетъ быть давленіемъ обращена въ жидкость. Андрусъ предложилъ называть газообразныя тѣла паромъ, если они могутъ быть обращены въ жидкость однимъ только давленіемъ, и газомъ, если сгущеніе можетъ наступить только при совмѣстномъ охлажденіи и сжатіи. Угольная кислота, слѣдовательно, при температурахъ ниже 31° С является паромъ, при температурахъ же выше 31° С газомъ. Жидкая угольная кислота поэтому можетъ существовать только при температурахъ ниже 31° С (ср. I, § 259). Точно такъ же, какъ угольная кислота, и всякій другой газъ долженъ быть охлажденъ до опредѣленной температуры, чтобы его можно было обратить въ жидкое состояніе. Всякій газъ имѣетъ свою критическую температуру. Она, какъ впервые высказалъ Жаменъ и какъ доказали опытами Кальете и Матіасъ, есть та температура, при которой насыщенный паръ соотвѣтствующей жидкости имѣетъ ту же плотность, что и сама жидкость.

Андрусъ, равно какъ раніе Фарадэй, не сомнѣвался въ томъ, что такъ называемые постоянные газы (водородъ, кислородъ, азотъ, окись азота, болотный газъ и окись углерода) могутъ быть сжижены только при очень низкой температурѣ. Сжиженіе постоянныхъ газовъ удалось почти одновременно, въ 1877 году, двумъ различнымъ физикамъ, Р. Пикте въ Женевѣ и Л. Кальете въ Шатильонѣ на Сенѣ. Пикте достигалъ сильнаго охлажденія—какъ это дѣлается въ машинахъ для фабрикаціи льда—испареніемъ жидкой угольной кислоты, которая предварительно сама охлаждалась испареніемъ жидкой двуокиси сѣры до— 70° . Этимъ способомъ онъ получалъ температуру въ— 140° , при которой кислородъ подъ давленіемъ въ 50 атмосферъ обращался въ безцвѣтную жидкость приблизительно того же удѣльнаго вѣса, что и вода.

Рис. 272

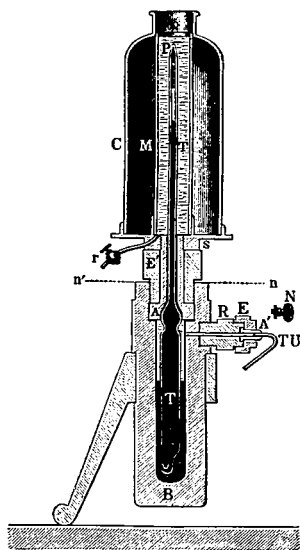


Приборъ Фарадэя.

Устройство прибора, которымъ пользовался Кальете, видно на рис. 273. *В* представляетъ крѣпкій стальной цилиндръ, который запирается винтомъ *Е*. Черезъ этотъ винтъ проходитъ плотно пригнанная крѣпкая стеклянная трубка, которая вверху запаяна, а внизу расширена въ сосудъ *Т*. Этотъ стеклянный сосудъ наполняется сжимаемымъ газомъ, а пространство между *В* и *Т* заполняется ртутью. Черезъ трубку *TU* накачивается помощью насоса вода. Благодаря этому ртуть проникаетъ въ стеклянный сосудъ и газъ сжимается. Трубка *Т* окружена цилиндромъ, который можно наполнить жидкой угольной кислотой или жидкой двуокисью сѣры, чтобы сильно охладить трубку. При достаточно высокомъ давленіи съ помощью этого прибора могутъ быть обращены въ жидкость многіе газы.

Кислородъ, водородъ и азотъ, какъ сказано, обращаются въ жидкость только при очень низкой температурѣ. Критическая температура кислорода, напримѣръ,

Рис. 273



Приборъ Кальете.

равна—118° С. Охлажденія, требуемаго для сжиженія этихъ газовъ, Кальете достигалъ тѣмъ, что сильно (до 300 атмосферъ) сжималъ ихъ, а затѣмъ мгновенно прекращалъ давленіе. Газъ сильно расширялся и вслѣдствіе этого охлаждался. Когда трубка *Т* охлаждалась до—105° С, то при прекращеніи давленія температура падала до—200° С и Кальете могъ наблюдать, что названные газы обращались въ жидкость.

Дальнѣйшія изслѣдованія относительно сжиженія газовъ были произведены Врублевскимъ и Ольшевскимъ въ Краковѣ и Дьюоромъ въ Лондонѣ. Дьюоръ первый получилъ значительныя количества жидкаго водорода и подробно изслѣдовалъ его свойства. Критическая температура водорода равна—242°. Плотность жидкаго водорода составляетъ 0.08. Онъ кипитъ при—252° С и застываетъ при—257° въ похожую на ледъ массу. Цѣлесообразный приборъ для полученія значительныхъ количествъ жидкаго воздуха былъ построенъ Линде въ Мюнхенѣ.

328. При помощи такъ называемой сухой перегонки древніе александрійскіе ученые разлагали органическія вещества. Сухая перегонка имѣетъ мѣсто тогда, когда нагреваютъ тѣла безъ доступа воздуха. Если нагревать растительныя вещества въ закрытомъ сосудѣ, то они не могутъ горѣть, такъ какъ для горѣнія необходимъ кислородъ воздуха. Но при нагреваніи вещества разлагаются и летучія вещества, которыя при этомъ получаются, могутъ быть собраны въ пріемникѣ, подобно тому, какъ собирается паръ при обыкновенной перегонкѣ.

Этимъ способомъ въ настоящее время получаютъ свѣтильный газъ изъ каменнаго угля, содержащаго кромѣ углерода также водородъ, кислородъ и азотъ. Если нагревать каменный уголь въ ретортахъ, то получается множество газообразныхъ продуктовъ разложенія, между прочимъ вода, аммиакъ—соединеніе водорода съ азотомъ,—

окись углерода, двуокись углерода и цѣлый рядъ углеводородовъ, т. е. соединеній углерода и водорода. Газъ подвергается затѣмъ очисткѣ и послѣ этого сохраняется въ большихъ, закрытыхъ водой сосудахъ, такъ называемыхъ газгольдерахъ (ср. водолазный колоколь I, § 267).

При сухой перегонкѣ употребляютъ вообще гораздо болѣе сильное нагрѣваніе, чѣмъ при обыкновенной и потому при ней получаютъ гораздо болѣе глубокаго измѣненія. При обыкновенной перегонкѣ отдѣляются другъ отъ друга жидкости или жидкости отъ нелетучихъ тѣлъ. При сухой перегонкѣ имѣютъ мѣсто химическія измѣненія. Большая разница, будетъ ли горѣть кусокъ дерева въ воздухѣ или же онъ будетъ разлагаться сухою перегонкою, но въ обоихъ случаяхъ образуются новыя соединенія или, какъ мы выражаемся теперь, происходятъ химическіе процессы.

329. Кромѣ огня древніе знали и различныя другія средства, съ помощью которыхъ можно производить коренныя измѣненія въ свойствахъ извѣстныхъ тѣлъ. Напримѣръ, они знали уксусъ, въ которомъ могутъ растворяться различныя минеральныя вещества. Плиній рассказываетъ, что Клеопатра растворяла въ уксусѣ дорогія жемчужины и перла растворъ, чтобы выиграть пари, что за однимъ обѣдомъ она съѣстъ и выпьетъ на миллионъ сестерцій. Плутархъ повѣствуетъ, что Ганнибалъ при своемъ переходѣ черезъ Альпы разрушалъ на пути скалы, обливая ихъ уксусомъ. Равнымъ образомъ египтянамъ было извѣстно, что при обливаніи золы водой получается растворъ съ особенными свойствами. Евреи пользовались золой, какъ средствомъ для чистки, ибо съ ея помощью можно удалять такую грязь, на которую вода не производитъ никакого дѣйствія. Александрійскіе греки, безъ сомнѣнія, получали различнаго рода искусственныя вещества не только съ помощью огня и перегонки, но также и съ помощью различныхъ ѣдкихъ жидкостей.

Изъ Александріи химическое искусство на нѣкоторое время перешло къ арабамъ, которые, когда въ Испаніи водворилось спокойствіе, развернули многостороннюю дѣятельность, развивая естественнонаучную сторону греческой культуры (ср. I, § 57).

Самый выдающійся арабскій „химикъ“ извѣстенъ въ потомствѣ подъ именемъ Гебера. Его настоящее имя было Джабиръ ибнъ Гайанъ и жилъ онъ около 900 года. Удивительно, что о его личности неизвѣстно ничего достовѣрнаго, хотя онъ въ теченіе всѣхъ среднихъ вѣковъ считался высшимъ химическимъ авторитетомъ. Такъ же неизвѣстно, онъ ли авторъ всѣхъ сочиненій, которыя, особенно въ XVI вѣкѣ, стали появляться подъ его именемъ въ латинскихъ переводахъ. Нѣкоторыя изъ важнѣйшихъ между этими книгъ, по всей вѣроятности, написаны, впрочемъ, имъ и онъ обнаруживаютъ, что онъ стоялъ значительно выше alexandрійцевъ. Онъ зналъ больше методовъ изслѣдованій и средствъ, чѣмъ они, и писалъ о своихъ работахъ ясно и понятно, тогда какъ языкъ alexandрійцевъ былъ въ высокой степени символическимъ и потому трудно понятнымъ.

Взгляды Гебера относительно свойствъ вещества были въ сущности тѣ же, что и у греко-alexandрійскихъ ученыхъ. Онъ является послѣдователемъ Аристотелевской теоріи стихій, вѣривъ въ возможность приготовления золота и т. д. Но онъ все же ясно говорить о составѣ веществъ и благодаря его сочиненіямъ стали извѣстны понятія древнихъ о природѣ вещества.

Относительно металловъ Геберъ принималъ, что всѣ они состоятъ изъ ртути и сѣры. Отдѣльные металлы различаются другъ отъ друга только отношеніемъ, въ какомъ въ нихъ содержатся эти двѣ составныя части. Если, такимъ образомъ, нужно превратить одинъ металлъ въ другой, то должно быть измѣнено отношеніе между ртутью и сѣрой въ немъ. Ртуть надѣляетъ металлы способностью растяженія, блескомъ и плавкостью, сѣра придаетъ имъ окраску и дѣлаетъ ихъ измѣняемыми въ огнѣ, т. е. горючими. Ртуть и сѣру Геберъ называлъ принципами металловъ.—Если, значитъ, Геберъ считалъ возможными превращенія металловъ, то это вполне согласовалось съ его представленіями о природѣ вещества. Желаніе получить какое-либо вещество изъ тѣла, которое этого вещества не содержитъ, есть безуміе. „Но такъ какъ всѣ металлы состоятъ изъ ртути и сѣры, то можно прибавить недостающее или удалить лишнее“. Достигается это перегонкой, раствореніемъ и т. д., а дѣйствующими средствами служатъ соль, квасцы, купоросное масло, бура, крѣпкій уксусъ и огонь. Геберъ зналъ азотную кислоту, а также, по всей вѣроятности, и сѣрную.

Средства для превращенія металловъ, такъ называемыя „медицины“, распадаются на три группы. Медицины перваго порядка суть вещества, встрѣчающіяся въ природѣ. Онѣ измѣняютъ неблагородные металлы, но измѣненіе является непродолжительнымъ. Медицины втораго порядка, получающіяся при очисткѣ природныхъ тѣлъ, могутъ отчасти превращать неблагородные металлы въ благородные. Но полное превращеніе можетъ быть произведено только помощью медицины третьяго порядка, философскимъ камнемъ или великимъ эликсиромъ.

Полученіе философскаго камня и стало тѣмъ, на что направлена была вся дѣятельность золотодѣлателей, алхимиковъ. Указанія Гебера на этотъ счетъ неясны и (само собою разумѣется) не даютъ никакого дѣйствительнаго руководства.

Хотя для Гебера, равно какъ и для болѣе позднихъ алхимиковъ среднихъ вѣковъ, главной задачей было превращеніе металловъ, тѣмъ не менѣе и другіе вопросы, которые могли быть разрѣшены химическимъ искусствомъ, отнюдь не оставались въ пренебреженіи. Ближайшими послѣдователями Гебера были арабскіе врачи, между ними знаменитый Авиценна (Ибнъ Сина). Онъ родился въ 980 году близъ Бухары, былъ придворнымъ врачомъ нѣсколькихъ султановъ Бухары, которая простиралась тогда на западъ на большую часть теперешней Персіи, изучалъ медицину и философію въ Испагани и умеръ въ 1037 году въ Гамаданѣ. Онъ составилъ учебникъ врачебнаго искусства, который былъ въ употребленіи до XVI столѣтія. Въ этой книгѣ онъ выступаетъ рѣшительнымъ сторонникомъ ученія Клавдія Галена (131—201). Послѣдшій кладетъ въ основу положеніе, что всѣ тѣла состоятъ изъ четырехъ элементовъ; когда эти элементы смѣшаны въ человѣческомъ тѣлѣ въ соответствующемъ отношеніи, тѣло здорово. Напротивъ, если получаетъ преобладаніе одинъ изъ элементовъ, составъ крови становится ненормальнымъ и тѣло дѣлается больнымъ. Чтобы вылечить болѣзнь, должно быть восстановлено правильное отношеніе четырехъ элементовъ. Естественнымъ слѣдствіемъ развитія химическаго искусства явилось увеличеніе числа лекарствъ. Чѣмъ больше веществъ были въ состояніи получать химики, тѣмъ больше было возможности найти для каждой болѣзни подходящее лекарство. Геберъ значительно увеличилъ число веществъ, которыя могли быть получены опредѣленными способами, и однимъ изъ слѣдствій этого было то, что у

арабовъ появились аптеки, въ которыхъ лекарства приготавливались по опредѣленнымъ правиламъ, преимущественно изъ растительныхъ веществъ.

330. Отъ арабовъ химическое искусство перешло къ южнымъ и западнымъ европейскимъ народамъ. Арабскія высшія школы привели къ основанію высшихъ школъ въ Италіи, Франціи, Англии и Германіи (срав. I, § 59). Къ учебнымъ предметамъ относились, кромѣ математики, физики и философіи, также алхимія и врачебное искусство. Отъ XI до XVI вѣка алхиміей занималось множество ученыхъ и остроумныхъ людей, большею частью монаховъ. Какую роль искусство приготавливанія золота играло въ нѣкоторыхъ монастыряхъ, можно видѣть изъ того, что въ 1317 году папа воспретилъ монахамъ заниматься алхиміей.—Къ тѣмъ, кто занимался въ средніе вѣка искусствомъ приготавливанія золота, принадлежатъ также нѣкоторые изъ величайшихъ ученыхъ того времени, между прочимъ и Альбертъ Магнусъ, графъ Болльштеттскій (род. 1193 въ Лаунгенѣ въ Швабіи, ум. 1280 въ Кельнѣ). Учился онъ въ Падуѣ, затѣмъ сталъ доминиканскимъ монахомъ, преподавалъ въ Кельнѣ, Страсбургѣ и Парижѣ, былъ назначенъ епископомъ регенсбургскимъ, но сложилъ съ себя этотъ санъ, чтобы посвятить себя въ Кельнѣ исключительно наукѣ. Въ Парижѣ его лекціи объ Аристотелѣ посѣщались такимъ множествомъ слушателей, что ихъ нужно было читать подъ открытымъ небомъ. Альбертъ Магнусъ былъ однимъ изъ величайшихъ богослововъ среднихъ вѣковъ. Онъ былъ добросовѣстнымъ и основательнымъ изслѣдователемъ, изучалъ ли онъ Аристотеля, или наблюдалъ и изслѣдовалъ природу. Онъ въ высокой степени содѣйствовалъ тому, что алхимія стала почитаемымъ занятіемъ для набожныхъ и ученыхъ монаховъ. Онъ былъ твердо убѣжденъ въ возможности превращенія металловъ. Однако, не всякому дано братья за разрѣшеніе этой задачи. По Альберту Магнусу алхимикъ долженъ обладать слѣдующими качествами: онъ долженъ быть молчаливымъ, жить въ уединеніи, имѣть отдѣльную рабочую комнату, долженъ выбирать для работы надлежащее время, обладать настойчивостью и имѣть достаточныя средства, чтобы обставить себя необходимыми пособіями. Онъ долженъ освоиться съ химическими методами работъ, пользоваться сосудами только изъ стекла и держать себя вдали отъ земныхъ владыкъ.—Въ этихъ совѣтахъ лежитъ корень тѣи таинственности, въ которую облеклось въ средніе вѣка приготавливаніе золота. Самъ Альбертъ былъ прилежнымъ изслѣдователемъ. Онъ хотѣлъ такъ же, какъ и Геберъ, не „превратить“ одно вещество въ другое, а посредствомъ измѣненія состава преобразовать одно въ другое. „Философскій камень“, по его понятію, долженъ дѣйствовать „естественно“. Его великій современникъ Роджеръ Бэконъ (I, § 80), несмотря на все свое остроуміе и на свою способность къ непосредственному наблюденію природы, имѣлъ фантастическія понятія о силѣ философскаго камня. Онъ былъ убѣжденъ въ томъ, что философскій камень можетъ превратить неблагородный металлъ въ благородный въ миллионъ разъ больше своего собственнаго вѣса, и что вмѣстѣ съ тѣмъ онъ обладаетъ силой удлинять человѣческую жизнь. Томасъ Аквинскій (1224—1274) также твердо вѣрилъ въ дѣйствіе великаго эликсира. Такимъ образомъ, ученіе о возможности превращенія металловъ мало по малу превратилось въ вѣру въ существованіе универсальнаго средства (панацеи). Алхимія стала тайнымъ искусствомъ, заниматься которымъ могли только особо одаренные люди, и всюду стали появляться адепты, т. е. лица, которыя утверждали, что они посвящены въ полное тайны искусство приготавливанія золота.

Государи, какъ можно легко себѣ представить, очень интересовались искусствомъ приготовленія золота и стремились привлечь къ себѣ адептовъ. Альбертъ Магнусъ справедливо предостерегалъ дѣлателей золота отъ поступленія на службу къ князьямъ, такъ какъ въ большинствѣ случаевъ это кончалось обманомъ или жестокимъ наказаніемъ, потому что адепты не были въ состояніи выполнить своего обѣщанія, которое они, безъ сомнѣнія, часто давали съ полной вѣрой, надѣясь добиться превращенія металловъ, если будутъ располагать необходимыми для этого средствами. Безконечныя разочарованія, которыя доставляли князьямъ дѣлатели золота, очень содѣйствовали упадку вѣры въ алхімію.

331. Изъ исторіи алхіміи можно ясно видѣть, въ какой степени изслѣдованіе природы зависитъ отъ руководящей основной точки зрѣнія, отъ принятой гипотезы. Во всѣ средніе вѣка алхімія была единственной экспериментальной наукой, если только можно прилагать къ ней это названіе. Были произведены всѣ опыты, какіе только можно себѣ вообразить, были испробованы самые удивительныя средства, такъ какъ не было извѣстно, какимъ путемъ можно найти философскій камень. Но къ разрѣшенію вопроса экспериментаторы не подошли ближе. Одного только экспериментирования недостаточно. Цѣнность полученныхъ данныхъ зависитъ отъ руководящей гипотезы. Только при ея посредствѣ удастся открыть единство въ существующемъ многообразіи. Тѣмъ не менѣе, ревностное, хотя и безсистемное экспериментированіе алхимиковъ было не совсѣмъ бесплодно.

Были найдены новые методы работы, а старыя были разработаны и улучшены. Такіе люди, какъ Арнольдъ Виллановъ, учитель и врачъ второй половины XIII вѣка сначала въ своемъ отечествѣ, Испаніи, позже во Франціи и Италіи, и Базилій Валентинъ, жившій въ первой половинѣ XV вѣка бенедиктинскій монахъ, получили множество новыхъ химическихъ препаратовъ, изъ которыхъ многими стали пользоваться, какъ лекарствами. Химическіе методы работъ совершенствовались въ продолженіе долгаго періода исканія превращеній въ золото, но и съ улучшенными методами достигнуто было мало, ибо при экспериментированіи исходили изъ ложнаго представленія относительно природы вещества.

332. Само собою понятно, что Возрожденіе оказало свое вліяніе также и въ области химіи. Это вліяніе продолжалось въ теченіе полутора вѣковъ. То обстоятельство, что алхімія въ теченіе всѣхъ среднихъ вѣковъ могла удерживать свое господство, имѣло своимъ основаніемъ вѣру въ авторитетъ, которая характеризуетъ духовную жизнь этого времени. Эпоха Возрожденія была эпохой разрыва съ авторитетами. Выдвинуты были новыя цѣли, старыя же совершенно или отчасти были отодвинуты въ сторону. Изъ тѣхъ лицъ, которыя направили химическое искусство на новый путь, въ первомъ ряду стоитъ Парацельзъ (род. 1493 въ Маріа-Айнзиденѣ, въ кантонѣ Швицъ, ум. 1541 въ Зальцбургѣ). До сихъ поръ конечной цѣлью было превращеніе металловъ. Парацельзъ же настойчиво указывалъ на то, что задачей химическаго искусства должно быть изготовленіе лекарствъ. Лозунгомъ его было, что врачебное искусство и химія должны идти рука объ руку. Врачебная наука безъ химически приготовленныхъ медикаментовъ была ничто и задача химіи заключалась въ томъ, чтобы по мѣрѣ возможности способствовать развитію врачебной науки. Болѣзни въ человѣческомъ организмѣ вызываются химическими причинами и могутъ быть устранены только химическими лекарствами. Пара-

цельзъ пользовался въ качествѣ лекарствъ цѣлымъ рядомъ веществъ, извѣстныхъ раньше, какъ ядовитыя. Онъ успѣшно лечилъ различные трудные случаи и вмѣстѣ съ тѣмъ вносилъ во врачебное искусство и въ химию новую живую струю.

Большое значеніе это новое движеніе получило благодаря тому, что химическими работами теперь стали заниматься врачи, слѣдовательно, научно-образованные люди, а не исключительно искатели золота, которые, какъ было сказано уже, не пользовались особеннымъ уваженіемъ. Парацельзъ своими собственными работами не двинулъ химіи впередъ. Его вліяніе не поставило химіи и существенно новой цѣли, ибо довольно безразлично, идетъ ли дѣло о полученіи золота или о приготовленіи лекарствъ. Заслуга его состоитъ въ томъ, что онъ связалъ химию съ врачебной наукой.

Полное имя Парацельза было Филиппъ Авреоль Теофрастъ Парацельзъ Бомбасть фонъ Гогенгеймъ. Этому напыщенному имени соответствовали надменный и хвастливый, но все же гениальный человекъ. Его жизнь была несчастлива. Получивъ въ Базелѣ весьма неполное медицинское образованіе, онъ сталъ стремиться проникнуть въ тайны алхимиковъ. Затѣмъ онъ предпринималъ большія путешествія по различнымъ странамъ Европы, въ которыхъ усердно работалъ надъ расширеніемъ своихъ знаній. Возвратившись въ Базель, онъ быстро пріобрѣлъ славу удивительнаго врача и въ 1526 году получилъ мѣсто профессора медицины въ университетѣ. Здѣсь онъ выступилъ въ качествѣ реформатора, отвергъ старые медицинскіе авторитеты, Галена и Авиценну, сочиненія которыхъ публично сжегъ, и читалъ лекціи на нѣмецкомъ языкѣ о своихъ химико-медицинскихъ теоріяхъ. Но уже спустя два года онъ вновь покидаетъ Базель вслѣдствіе ссоры съ магистратомъ и опять начинаетъ непостоянную, бродячую жизнь. Хотя у него были хорошіе доходы, однако, вслѣдствіе расточительной жизни онъ умеръ въ нуждѣ.

~~333~~ Ученія Парацельза нашли большое одобреніе у одной части врачей, тогда какъ со стороны другой части подверглись сильнымъ нападкамъ. Въ значительной степени безпристрастной оцѣнкѣ его заслугъ способствовалъ Андрей Либау (Либавіусъ). Вначалѣ онъ былъ врачомъ, затѣмъ учителемъ и умеръ ректоромъ въ Кобургѣ въ 1616 году. Либау также отвергалъ все, что было у Парацельза превеличеннаго и таинственнаго, но съ другой стороны указывалъ, что послѣдшій ввелъ во врачебное искусство цѣлый рядъ полезныхъ лекарствъ. Онъ составилъ руководство по химіи, въ которомъ описалъ простыми и ясными словами, представляющими пріятный контрастъ съ высокопарнымъ стилемъ Парацельза, химическіе методы работъ, приборы и препараты. Но несмотря на это онъ все же былъ только алхимикомъ, а не химикомъ въ современномъ значеніи этого слова. Онъ твердо вѣрилъ въ возможность приготовленія золота и питалъ большое довѣріе къ введенному Вилланованомъ лекарству, которое содержало „годное для питья золото“. Въ личности Либау былъ воплощенъ, такъ сказать, переходъ отъ алхиміи къ дѣйствительному научному химическому изслѣдованію. То же относится и къ его знаменитому современнику, голландскому врачу Іоганну Баптисту ванъ Гельмонту (1577—1644), который самосто-ятельно работалъ не только въ области медицины, но также и въ области химіи. Это былъ превосходный наблюдатель, но, какъ настоящій сынъ своего времени, онъ имѣлъ большую склонность къ мистицизму и суевѣрью. При этомъ онъ былъ исполненъ самоувѣренности и сильного желанія освободиться отъ пользовавшихся вліяніемъ

авторитетовъ. Онъ обладалъ достаточнымъ знаніемъ языковъ, чтобы безъ содѣйствія средневѣковыхъ комментаторовъ быть въ состояніи изучать греческихъ философовъ. Какъ врачъ, онъ держался сначала Гиппократа и Галена, но затѣмъ пришелъ къ мнѣнію, что во многихъ случаяхъ Парацельсъ является лучшимъ руководителемъ, и сдѣлалъ однимъ изъ самыхъ выдающихся борцовъ за теоріи послѣдняго, поскольку признавалъ ихъ правильными.

Въ чисто химической области онъ былъ противникомъ Аристотелевскаго ученія. Особенно нападалъ онъ на тотъ взглядъ, что огонь есть элементъ. Огонь не есть что-либо вещественное, это есть только горящій дымъ; пламя же есть раскаленный дымъ. Три элемента алхимиковъ, сѣру, ртуть и соль (которую къ двумъ элементамъ Гебера прибавилъ Базилій Валентинъ) онъ также не признавалъ за элементы. Напротивъ, ванъ Гельмонтъ указывалъ на воду, какъ на основную составную часть тѣлъ; всѣ масла, винный спиртъ, воскъ, всѣ горючія тѣла содержать воду, которая обнаруживается при горѣніи тѣла. Растенія образуютъ изъ воды не только свои горючія, но также и землеобразныя составныя части. Ванъ Гельмонтъ считалъ, что онъ доказалъ это путемъ опыта. Онъ помѣстилъ въ чанъ 200 фунтовъ сухой земли и посадилъ въ нее ивовую вѣтвь вѣсомъ въ 5 фунтовъ. Все было тщательно защищено отъ пыли и земля каждый день орошалась дождевой водой. По истеченіи 5 лѣтъ ива увеличила свой вѣсъ до 164 фунтовъ, между тѣмъ какъ вѣсъ земли измѣнился только на нѣсколько унцій. Отсюда ванъ Гельмонтъ заключилъ, что растеніе образовало всѣ свои составныя части исключительно изъ воды. А такъ какъ зола растеній представляетъ изъ себя землю, то, слѣдовательно, вода можетъ быть превращена въ землю. Значитъ, земля не есть элементъ, какъ это утверждалъ Аристотель. Ванъ Гельмонтъ утверждалъ, что возможно также превращеніе земли въ воду, однако, не указалъ, какимъ образомъ можно произвести это превращеніе.

Важнѣе его наблюденій надъ огнемъ, землей и водой были его изслѣдованія надъ газообразными тѣлами. Съ древнѣйшихъ временъ было извѣстно, что кромѣ обыкновеннаго воздуха существуетъ также горючій воздухъ и удушливый воздухъ, которые выдѣляются въ нѣкоторыхъ мѣстахъ земли. Думали, однако, что эти газообразныя тѣла представляютъ собою тотъ же воздухъ, къ которому примѣшано либо что-нибудь горючее, либо что-нибудь удушливое. Газообразныя тѣла не умѣли получать искусственно, но знали о существованіи различныхъ „воздушныхъ смѣсей“ въ рудникахъ. Если при химическихъ процессахъ и замѣчали образованіе газа, то не придавали этому явленію большого значенія, ибо предполагали, что въ такихъ случаяхъ дѣло всегда шло объ обыкновенномъ воздухѣ.

Ванъ Гельмонтъ различалъ нѣсколько газообразныхъ тѣлъ и тѣ, которыя отличались отъ обыкновеннаго воздуха, называлъ газами. Газъ по Гельмонту отличается отъ пара тѣмъ, что паръ можетъ быть сгущенъ въ жидкость, газъ, напротивъ, не можетъ (ср. § 327). Ванъ Гельмонтъ сумѣлъ получать разныя газообразныя тѣла дѣйствіемъ кислотъ на металлы или на известковыя тѣла, а также при горѣніи, броженіи и гшеніи, но болѣе подробно изслѣдовать эти газообразныя тѣла ему не удалось, такъ какъ онъ не умѣлъ собирать ихъ. Вслѣдствіе этого онъ принималъ нѣсколько различныхъ газовъ за одинъ и тотъ же, ибо они, какъ угольная кислота, не поддерживали ни горѣнія, ни дыхація. Равнымъ образомъ онъ считалъ различныя горючіе газы за одинъ и тотъ же газъ.

Представляет ли воздухъ, подобно водѣ, элементъ, этого ванъ Гельмонтъ не желаетъ опредѣленно рѣшить, но онъ объясняетъ, что воздухъ не можетъ быть превращенъ въ воду такъ же, какъ и вода не можетъ быть превращена въ воздухъ. Эти два тѣла вполнѣ независимы другъ отъ друга. Аристотель, какъ извѣстно, утверждалъ прямо противоположное.

~~334~~ Ванъ Гельмонту принадлежитъ слѣдующее важное наблюденіе. Если свѣча горитъ въ воздухѣ, замкнутомъ водой, то она быстро потушается и часть воздуха при горѣніи исчезаетъ, что видно изъ того, что мѣсто воздуха отчасти занимаетъ вода. Ванъ Гельмонтъ, однако, не изслѣдовалъ ближе этого явленія. Онъ удовольствовался разъясненіемъ, что то, что поддерживаетъ горѣніе и исчезаетъ при горѣніи, не есть самый воздухъ, но вещество, которое содержится въ порахъ воздуха. Сильвій Делабозъ (1614—1672), профессоръ медицины въ Лейденѣ, считалъ это вещество чѣмъ-то сходнымъ съ селитрой—допущеніе, къ которому примыкалъ также Робертъ Гукъ (I, § 166). Его послѣдователь Джонъ Майовъ (1645—1679) далъ въ 1669 году объясненіе горѣнію, которое по существу было сходно съ даннымъ позже объясненіемъ Лавуазье, но которое обратило на себя мало вниманія и скорѣе было совершенно забыто.

335. Въ 1661 году въ Оксфордѣ появилась книга подъ заглавіемъ „The sceptical Chymist“ (Скептическій химикъ). Неизвѣстный авторъ книги энергично нападалъ на теоріи Аристотеля и алхимиковъ и выставялъ положеніе, что химія есть чисто опытная наука.

Авторомъ этой книги былъ неоднократно упомянутый Робертъ Бойль (род. въ 1627 году), сынъ Ричарда Бойля, „великаго графа изъ Корка“, который молодымъ человѣкомъ прибылъ въ Ирландію и приобрѣлъ тамъ большое состояніе. Въ то время когда онъ посѣщалъ школу въ Итонѣ, благодаря особенному случаю интересъ его направился на естественныя науки. Когда онъ однажды присутствовалъ въ лабораторіи одного аптекаря при опытахъ послѣдняго, произошелъ взрывъ. Это происшествіе произвело на него глубокое впечатлѣніе и послужило для него поводомъ обратиться къ изученію естественныхъ наукъ. Въ возрастѣ 12 лѣтъ Бойль предпринялъ въ сопровожденіи брата и воспитателя путешествіе во Францію, Швейцарію и Италію. Тѣ шесть лѣтъ, въ теченіе которыхъ продолжалось это путешествіе, были плодотворнымъ временемъ занятій.—Во Флоренці зимой 1641—1642 года онъ изучалъ работы и приборы Галилея и можно смѣло сказать, что кое-что отъ генія Галилея перешло къ нему. Когда онъ позже писалъ вышеупомянутое сочиненіе, для выраженія различныхъ мнѣній онъ пользовался, подобно Галилею, формой діалога и языкъ его, какъ и языкъ Галилея, былъ современнымъ, т. е. яснымъ и понятнымъ, а также свободнымъ отъ мистическихъ выраженій и таинственныхъ намековъ.

Бойль возвратился на родину въ 1644 году, чтобы вступить во владѣніе наслѣдствомъ—въ это время умеръ его отецъ. Къ этому наслѣдству принадлежало между другими владѣніями помѣстье Стальбриджъ въ Дорсетширѣ. Здѣсь онъ поселился, чтобы въ тишинѣ и уединеніи заняться изученіемъ физическихъ и химическихъ сочиненій, равно какъ и работами въ своей лабораторіи. Въ 1654 году Бойль переселился въ Оксфордъ. Уже раньше онъ сдѣлался членомъ общества, къ которому принадлежалъ также математикъ Валлисъ (I, § 178) и которое ставило себѣ задачей

способствовать развитію экспериментальныхъ наукъ. Общество мало выступало публично и было прозвано „невидимой коллегіей“. Первоначально свои собранія общество имѣло въ Greshams College, въ которомъ его предсѣдатель, Самюэль Форстеръ, былъ профессоромъ астрономіи. Но когда часть членовъ переселилась въ Оксфордъ, общія собранія происходили только отъ времени до времени.

Изъ этого общества развилось позже знаменитое англійское научное общество, существующее съ 1663 года подъ именемъ Royal Society. Вначалѣ это общество встрѣчало сильное противодѣйствіе со стороны церкви и къ Бойлю, который слылъ за серьезнаго и благочестиваго человѣка, самымъ настоятельнымъ образомъ было предъявлено требованіе выступить изъ этого общества. Но настроеніе, по крайней мѣрѣ до нѣкоторой степени, скоро перемѣнилось, хотя раздраженіе противъ учениковъ Фрэнсиса Бэкона было велико. Какъ въ 1665 году, когда въ Лондонѣ свирѣпствовала чума, такъ и въ 1666 году, когда городъ испыталъ большой пожаръ, общество проявило достойную большой благодарности дѣятельность.

Часть статей Бойля появилась въ журналѣ Royal Society „Philosophical Transactions“. Въ 1668 году Бойль переселился въ Лондонъ и сдѣлался однимъ изъ самыхъ дѣятельныхъ членовъ этого общества. Онъ занимался не только естественными науками, но также историческими, лингвистическими и богословскими. Энергично содѣйствовалъ онъ также распространенію библіи и самъ перевелъ Новый Заветъ на турецкій языкъ. Умеръ онъ въ 1691 году.

„Скептической химикъ“ была не первая научная работа Бойля. Уже въ предыдущемъ году, именно въ 1660, онъ выпустилъ въ свѣтъ сочиненіе о воздухѣ, въ которомъ опубликовалъ свое открытіе о связи между объемомъ и давленіемъ воздуха (I, § 257). Въ „Скептическомъ химикѣ“ Бойль излагаетъ свой взглядъ на природу элементовъ. Онъ согласенъ съ Аристотелемъ въ томъ, что тѣла состоятъ изъ элементовъ (основныхъ веществъ) и что они могутъ быть разложены на эти элементы, но онъ не можетъ признать за элементы ни огонь, ни землю, ни воду, ни воздухъ. Подъ элементомъ Бойль понимаетъ осязаемую составную часть тѣла, которая не можетъ быть разложена на другія, отличныя отъ нея, составныя части.

Для Бойля было ясно, что существуетъ много веществъ, которыя по его опредѣленію могутъ считаться элементами, и что число послѣднихъ съ усовершенствованіемъ химическихъ способовъ отдѣленія должно будетъ еще увеличиться. Элементы Бойля не представляютъ собою абсолютныхъ основныхъ веществъ, а только обозначенія для химическихъ опытовъ. Съ теченіемъ времени могутъ быть открыты не только новыя основныя вещества, но можетъ оказаться, что нѣкоторыя изъ тѣлъ, которыя считались элементами, въ дѣйствительности не элементы. Такимъ образомъ, что касается сущности элементовъ, взгляды Бойля вполне совпадаютъ съ нынѣшними понятіями. Бойль сообщаетъ также и свои взгляды относительно взаимодѣйствія между найденными опытнымъ путемъ элементами. Когда два или болѣе число элементовъ соединяются, то получается химическое соединеніе, которое есть постольку самостоятельное вещество, поскольку оно обладаетъ иными свойствами, чѣмъ каждая изъ составныхъ частей. Химическое соединеніе происходитъ между мельчайшими частицами вслѣдствіе взаимнаго притяженія, которое дѣйствуетъ на очень незначительномъ разстояніи. Основныя вещества сами, быть можетъ, состоятъ изъ одного и того же первичнаго вещества и различаются только различной величиной, формой и взаимнымъ

положеніемъ мельчайшихъ частицъ. — Бойль проводилъ рѣзкое различіе между смѣсью и химическимъ соединеніемъ. Въ смѣси составныя части располагаются другъ подлѣ друга, сохраняя каждая свои свойства. Химическое же соединеніе есть вполнѣ гомогенное (однородное) вещество, въ которомъ всякая отдѣльная часть обладаетъ одними и тѣми же свойствами.

Химія была возвышена Бойлемъ до степени точной науки, задачу которой составляетъ изслѣдованіе свойствъ элементовъ и химическихъ соединеній и нахожденіе законовъ, по которымъ совершаются химическія измѣненія.

336. Намъ нѣтъ необходимости слѣдить здѣсь за развитіемъ химіи шагъ за шагомъ. Нужно только отмѣтить, что при этомъ развитіи до начала XIX столѣтія дѣло касалось преимущественно природы процесса горѣнія. Бойль, много работавшій съ воздушнымъ насосомъ, сдѣлалъ важное наблюденіе, что сѣру нельзя зажечь въ безвоздушномъ пространствѣ. Далѣе онъ нашелъ, что получающаяся при сгораніи металла металлическая зола (окалина металла) вѣситъ больше, чѣмъ сгорѣвшій металлъ. Онъ даже замѣчалъ, что, если обжигать (т. е. медленно сжигать) въ замкнутомъ пространствѣ свинецъ, то часть заключеннаго воздуха исчезаетъ. Несмотря на это онъ не ставилъ въ связь съ исчезновешемъ воздуха это увеличеніе вѣса, а считалъ, что металлическая окалина тяжелѣе металла потому, что послѣдній при горѣніи принимаетъ въ себя вѣсомое тепловое вещество.

Химики должны были пройти, какъ учить исторія, длинный путь, прежде чѣмъ имъ удалось выяснитъ природу процесса горѣнія. Послѣ Бойля прибѣгали къ другимъ объясненіямъ этого процесса, но въ нихъ не находилъ себѣ достаточной опоры фактъ, что металлъ при сгораніи увеличивается въ вѣсѣ, т. е. что продуктъ горѣнія тяжелѣе сгорѣвшаго металла. Врачъ и химикъ Іоганнъ Іоакимъ Бехеръ (род. въ 1635 г. въ Шпейерѣ, ум. въ 1682 г. въ Лондонѣ) и послѣ него Георгъ Эрнстъ Шталь (род. въ 1660 г. въ Ансбахѣ, ум. въ 1734 г. въ Берлинѣ) выставили своеобразную теорію, что всѣ горючія тѣла содержатъ одно и то же вещество, которымъ и обусловливается горѣніе. Шталь, который былъ профессоромъ медицины въ Галле, а позже королевскимъ придворнымъ врачомъ въ Берлинѣ, въ 1702 году развилъ новую теорію горѣнія въ приложеніи къ новому изданію того сочиненія Бехера, въ которомъ послѣдній впервые высказалъ основныя положенія своей теоріи. Шталь назвалъ составную часть тѣла, обусловливающую ихъ горючесть, флогистонъ. Огнеупорное тѣло не содержитъ флогистона; напротивъ, тѣло, которое, какъ, напримѣръ, уголь, сгорая, оставляетъ только немного золы, въ болѣеи своей части состоитъ изъ флогистона. Именно, при горѣніи исчезаетъ флогистонъ и остаются составныя части, свободныя отъ флогистона.

Самъ Шталь не придавалъ большого значенія тому обстоятельству, что по флогистической теоріи продуктъ горѣнія металла долженъ быть легче самого металла, тогда какъ въ дѣйствительности этотъ продуктъ тяжелѣе послѣдняго. Французскій химикъ Р. Лемери (1645—1715), напротивъ, счелъ необходимымъ найти этому факту объясненіе. Онъ поэтому принималъ, что тѣло при горѣніи съ одной стороны отдаетъ флогистонъ, но съ другой стороны принимаетъ въ себя вѣсомое тепловое вещество. Шталь, разумѣется, зналъ, что горѣніе можетъ имѣть мѣсто только въ присутствіи воздуха. Роль, которую играетъ при горѣніи воздухъ, по его мнѣнію состояла въ томъ, что воздухъ принимаетъ въ себя выдѣляющійся флогистонъ, и опредѣленное

количество воздуха могло, по его представлению, принять въ себя только извѣстное количество флогистона.

Флогистонъ можетъ, такъ училъ онъ далѣе, быть переведенъ при извѣстныхъ условіяхъ изъ одного тѣла въ другое. Металлическая зола (сгорѣвшій металл; металлъ, который отдалъ свой флогистонъ) становится металломъ, если нагрѣвать ее вмѣстѣ съ углемъ. Именно, при нагрѣваніи угля флогистонъ освобождается и воспринимается металлической золой. Такимъ образомъ: металлъ — флогистонъ = металлической окалинѣ, и, наоборотъ, окалина + флогистонъ = металлу.

337. Шталь полагалъ, что флогистонъ есть основное вещество, которое не можетъ быть изолировано. Когда, на примѣръ, сгораетъ кусокъ угля, то, разумѣется, флогистонъ освобождается, но онъ разсѣивается въ воздухѣ, такъ что его нельзя замѣтить. Воздухъ не горючъ, даже тогда, когда онъ содержитъ флогистонъ. Это, по мнѣнію приверженцевъ флогистона, основывается на томъ, что флогистонъ и воздухъ не связаны другъ съ другомъ. Флогистонъ въ воздухѣ содержится въ „свободномъ“ состояніи и изъ него воспринимается растеніями. Но такъ какъ чистый уголь, на примѣръ, сажа сосноваго дерева, сгораетъ полностью, то онъ долженъ быть прилизительно тѣмъ же, что и флогистонъ.—Но существовали еще и другія вещества, которыя, по всей видимости, состояли изъ чистаго флогистона. Къ такимъ веществамъ принадлежитъ водородъ, полученный Генри Кэвендишемъ (I, § 306) растворомъ цинка въ разбавленной сѣрной кислотѣ. Кэвендишъ нашель, что изъ опредѣленнаго количества кислоты всегда получается одно и то же количество водорода, если даже растворять въ разбавленной кислотѣ другой металлъ, а не цинкъ. А такъ какъ, заключилъ Кэвендишъ, опредѣленное количество кислоты вытѣсняетъ извѣстное количество флогистона и такъ какъ опредѣленное количество кислоты, какъ учить опытъ, всегда выдѣляетъ одно и то же количество водорода, безразлично, какимъ металломъ воспользоваться, и такъ какъ водородъ очень горючъ—онъ можетъ сгорать даже полностью—, то водородъ, по всей вѣроятности, и есть не что иное, какъ флогистонъ.

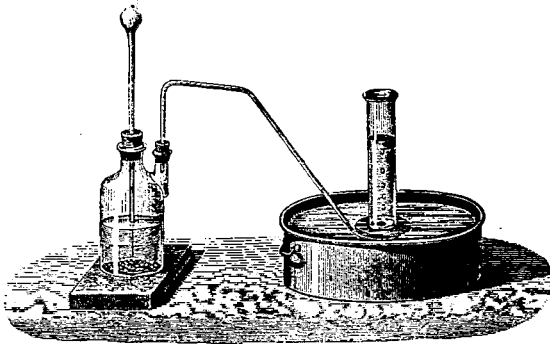
Для производства опытовъ Кэвендиша требовались приборы, при помощи которыхъ можно было бы собрать выдѣляющійся водородъ и измѣрить его количество. Уже Бойль устроилъ приборъ для полученія газовъ, въ существенномъ напоминающій форму употребляемыхъ и нынѣ послѣ того, какъ англійскій священникъ и химикъ Стефанъ Гельсъ (1679—1761), имѣющій за собою большія заслуги благодаря своимъ болѣе подробнымъ изслѣдоваціямъ газообразныхъ тѣлъ, придаль ему устройство, представленное на рис. 274. Въ склянкѣ находится вода и куски цинка. Изогнутая трубка при помощи пробки вставлена въ горлышко склянки, другимъ же концомъ погружена въ сосудъ съ водой (въ такъ называемую пневматическую ванну) такъ, что оканчивается подъ отверстіемъ опрокинутаго и наполненнаго водой цилиндра. Если чрезъ воронку влить въ склянку сѣрной кислоты, то образуется водородъ, который удаляется чрезъ изогнутую трубку и собирается въ цилиндрѣ. Если желаютъ имѣть чистый водородъ, то цилиндръ слѣдуетъ опустить надъ концомъ трубки только послѣ того, какъ воздухъ будетъ полностью вытѣсненъ изъ склянки.

Кэвендишъ опредѣляя удѣльный вѣсъ водорода и нашель, что онъ въ 14¹/₂ разъ легче воздуха. Водородъ самый легкій изъ всѣхъ газовъ.

338. Въ 1774 году Джозефъ Пристлей (1733—1804), соотечественникъ

Кэвендиша, бывший подобно Гэльсу священникомъ и химикомъ, открылъ новое газообразное тѣло, представляющее въ отношеніи способности горѣнія, такъ сказать, противоположность водороду, т. е. оно не горитъ, но очень легко поддерживаетъ горѣніе другихъ тѣлъ. Исходнымъ пунктомъ для этого открытія служилъ опытъ Гэльса, а также опытъ французскаго химика Пьера Байана (1725—1797). Гэльсъ замѣтилъ, что окалина свинца (сурикъ) при нагрѣваніи выдѣляетъ воздухъ, а Байанъ нашелъ, что красная окалина ртути при нагрѣваніи даже въ отсутствіи веществъ, содержащихъ флогистонъ, переходитъ въ ртуть, при чемъ окалина выдѣляетъ воздухъ.

Рис. 274

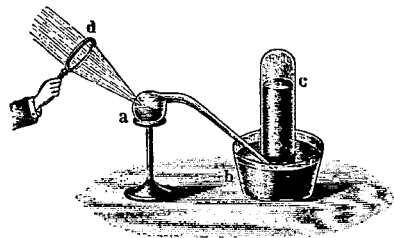


Приборъ для добыванія водорода.

Эти важныя наблюденія не были подробнѣе изслѣдованы, хотя теорія флогистона не давала для нихъ никакого объясненія. Лишь Пристлей повторилъ опытъ Байана и произвелъ его способомъ, представленнымъ на рис. 275. Колба *a* содержитъ красную окалину ртути, горло колбы такъ же, какъ и чашка *b* и цилиндръ *c*, наполнено металлической ртутью.

Пристлей заставлялъ падать на окалину ртути солнечные лучи, собранные зажигательнымъ стекломъ. Окалина сильно нагрѣвалась и начинала выдѣлять, какъ уже замѣчалъ и Байанъ, воздухъ, который собирался надъ ртутью въ цилиндръ *c*; вмѣстѣ съ тѣмъ надъ поропкомъ окалины ртути появлялись маленькія капельки металлической ртути.

Рис. 275



Полученіе Пристлеемъ кислорода.

Пристлей подвергъ изслѣдованію выдѣлившійся изъ окалины ртути воздухъ и нашелъ, что онъ поддерживаетъ горѣніе въ гораздо болѣе высокой степени, чѣмъ обыкновенный воздухъ. Свѣча сгорала въ новомъ воздухѣ гораздо быстрѣе, чѣмъ въ обыкновенномъ, а когда онъ опускалъ въ него тлѣющую лучину, то она сгорала сильно свѣтящимся пламенемъ. Пристлей считалъ новое газообразное тѣло свободнымъ отъ флогистона воздухомъ, ибо энергичное горѣніе указывало, что этотъ

воздухъ гораздо болѣе жадно принимаетъ флогистонъ, чѣмъ обыкновенный. Чѣмъ быстрѣе горящее тѣло могло отдавать свой флогистонъ и чѣмъ быстрѣе воздухъ могъ его принимать, тѣмъ энергичнѣе происходило горѣніе.—Открытый Пристлеемъ воздухъ (газъ) позже получилъ названіе кислорода.

339. Въ то время какъ въ Англіи Пристлей былъ занятъ изслѣдованіями различныхъ газообразныхъ тѣлъ, подобными работами были заняты Карлъ Вильгельмъ Шееле (1742—1786) въ Швеции и Антуанъ Лоранъ Лавуазье (1743—1794) во Франціи. Шееле, который былъ аптекаремъ въ Кёпингѣ, самостоятельно, не имѣя никакихъ свѣдѣній объ открытіи Пристлея, открылъ кислородъ, который онъ называлъ „огненнымъ воздухомъ“. Несмотря на то, что онъ работалъ со скудными средствами и дожилъ только до 44-лѣтняго возраста, онъ произвелъ большое число самостоятельныхъ химическихъ работъ, проложившихъ новые пути въ науку. Однако, онъ находился подъ вліяніемъ теоріи флогистона, вслѣдствіе чего заключенія, которыя онъ вывелъ изъ своихъ опытовъ, совершенно не соотвѣтствовали дѣйствительному значенію этихъ опытовъ. Выяснить процессъ горѣнія удалось Лавуазье. Достигъ онъ этого введеніемъ въ химію вѣсовъ, чѣмъ направилъ вниманіе особенно на количественную сторону явленія горѣнія.

Изъ того факта, что при сжиганіи (горѣніи) металла имѣетъ мѣсто увеличеніе его вѣса, Лавуазье вывелъ заключеніе, что металлъ принимаетъ вещество, а не отдаетъ его, какъ допускали флогистики. Далѣе онъ доказалъ опытомъ, что, если сжигать металлъ въ закрытомъ сосудѣ, то часть находящагося въ сосудѣ воздуха потребляется, а при помощи вѣсовъ онъ прочно установилъ, что прибавленіе вѣса металла въ точности равно потерѣ вѣса воздуха. Отсюда можно было съ увѣренностью вывести заключеніе, что при горѣніи часть воздуха соединяется съ металломъ.

Лавуазье при своихъ опытахъ поступалъ такъ, какъ раньше Бойль. Онъ помѣстилъ въ стеклянную колбу олово, герметически закрылъ ее и нагрѣлъ такъ, чтобы металлъ прокалился. Послѣ нагрѣванія колба вмѣстѣ съ содержимымъ имѣла тотъ же вѣсъ, что и раньше. Но при открытіи послѣ этого колбы воздухъ устремлялся въ нее и оказывалось, что металлъ благодаря пережиганію сталъ тяжелѣе какъ разъ на вѣсъ вошедшаго воздуха. Такимъ образомъ не могло подлежать никакому сомнѣнію, что пережиганіе олова состояло въ томъ, что оно соединялось съ воздухомъ. Но этимъ опытомъ не было рѣшено, соединяется ли съ металломъ воздухъ, какъ таковой, или только одна составная часть его. Лавуазье не удалось также снова вытѣснить изъ окалины металла воздухъ, чтобы можно было подвергнуть его болѣе подробному изслѣдованію.

Въ этомъ пришелъ ему на помощь Пристлей со своимъ открытіемъ кислорода. Пристлей показалъ, что окалина ртути при нагрѣваніи можетъ разлагаться на металлъ и воздухъ. Лавуазье избралъ, такъ сказать, противоположный путь. Онъ помѣстилъ немного ртути въ реторту (рис. 276), горлышко которой выходило въ воздухъ, замкнутый въ колоколѣ надъ ртутью. Находящаяся въ ретортѣ ртуть кипятилась въ продолженіе двухъ недѣль. Спустя нѣсколько дней въ ртути появились красныя капельки, что указывало на то, что началось пережиганіе металла. По истеченіи двѣнадцати дней исчезла приблизительно пятая часть воздуха и при продолженіи кипяченія дальнѣйшее образованіе окалины ртути прекратилось. Это была первая часть опыта Лавуазье. Вторая часть была не что иное, какъ опытъ Пристлея. Онъ на-

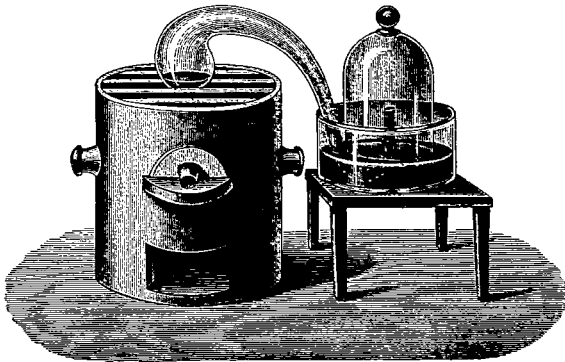
грѣвалъ образовавшуюся окалину ртути и получилъ, какъ и Пристлей, ртуть и кислородъ, при чемъ количество послѣдняго въ точности соотвѣтствовало количеству воздуха, исчезнушаго во время пережиганія.

Лавуазье вывелъ изъ этого опыта слѣдующія заключенія:

1. Когда металлъ пережигается (сгораетъ) въ воздухѣ, то онъ принимаетъ въ себя часть воздуха.
2. Принятая металломъ часть воздуха есть кислородъ.
3. Приблизительно пятая часть обыкновеннаго воздуха есть кислородъ.

Послѣднее вытекало изъ того обстоятельства, что, когда исчезла пятая часть заключеннаго воздуха, остальные четыре пятыхъ не производили дальнѣйшаго пере-

Рис. 276



Опытъ Лавуазье.

жиганія (сгорания). Воздухъ, такимъ образомъ, состоитъ изъ кислорода и, по крайней мѣрѣ, еще одного газообразнаго тѣла. Позже нашли, что, кромѣ кислорода, онъ содержитъ еще нѣсколько другихъ газовъ.

340. Важнѣйшимъ результатомъ изслѣдованій Лавуазье является, однако, не то открытiе, что воздухъ не простое тѣло. Это знали уже Пристлей и Шееле. Важнѣйшее значенiе работъ Лавуазье заключается главнымъ образомъ въ томъ, что ими былъ нанесенъ смертельный ударъ теорiи флогистона. Теперь было ненужно прибѣгать къ гипотетическому флогистону, чтобъ объяснить процессъ горѣшя. Лавуазье именно и показалъ, что какъ горѣние сѣры, угля и другихъ веществъ состоитъ въ томъ, что эти тѣла соединяются съ кислородомъ воздуха, такъ и обжигаше (сгоранiе) металловъ состоитъ въ томъ, что они соединяются съ кислородомъ.

Горѣние въ атмосферномъ воздухѣ есть, слѣдовательно, окисленiе, т. е. соединенiе горящаго тѣла съ кислородомъ. Этимъ Лавуазье создалъ новое основное положенiе для представленiя химическихъ процессовъ и состава химическихъ соединенiй. Съ этого времени вѣсы становятся необходимымъ орудiемъ химика и со времени этого объясненiя процесса горѣшя опытный законъ о неизмѣняемости количества вещества проходитъ красной нитью въ развитiи химiи. Вещество не можетъ быть ни создано, ни уничтожено, но вещества могутъ быть разло-

жены и соединены и вѣсы являются превосходнымъ средствомъ, при помощи котораго можно ориентироваться въ химическихъ измѣненіяхъ.

Лавуазье былъ сынъ богатаго адвоката, получилъ превосходное школьное воспитаніе и во время своего студенчества работалъ у самыхъ лучшихъ французскихъ естествоиспытателей. По желанію своего отца онъ изучалъ сначала юриспруденцію, но позже окончательно обратился къ изученію естественныхъ наукъ. Его первая работа о гипсѣ была прочитана въ Академіи въ 1765 году, а тремя годами позже онъ сталъ членомъ Академіи. Скоро его талантъ былъ признанъ и Академіи часто приходилось считаться съ его мнѣніемъ.

Молодой ученый питалъ большой интересъ къ техникѣ и промышленности. Съ 1776 г. онъ былъ директоромъ королевскихъ пороховыхъ заводовъ. Онъ организовалъ обширныя техническія и научныя изслѣдованія. Необходи-

Рис. 277



Лавуазье.

димыя для этого средства онъ черпалъ изъ значительныхъ доходовъ, которые получалъ въ качествѣ генеральнаго откупщика. Во времена господства террора этотъ выдающійся гражданинъ и замѣчательный ученый, несмотря на свои заслуги передъ отечествомъ и наукой, былъ приговоренъ къ смерти по обвиненію въ томъ, что онъ злоупотреблялъ своимъ положеніемъ въ качествѣ руководителя государственной индустрии и въ качествѣ генеральнаго откупщика. вмѣстѣ съ 27 другими генеральными откупщиками онъ былъ казненъ въ 1794 году. Робеспьерръ не щадилъ никого, кто занималъ выдающееся положеніе, и судьи объявили, что республикѣ не нужно ученыхъ.

341. Благодаря употребленію вѣсовъ сталъ получаться матеріалъ, на которомъ Дальтонъ (§ 80) могъ обосновать свою атомную теорію, остающуюся и по сей день краеугольнымъ камнемъ химическаго изслѣдованія.—Прежде чѣмъ заняться рассмотрѣніемъ этой атомной теоріи, необходимо дать здѣсь списокъ простыхъ веществъ или элементовъ, извѣстныхъ въ настоящее время.

Простыя вещества

Названія простых веществъ	Знакъ	Атомный вѣсъ	Названія простых веществъ	Знакъ	Атомный вѣсъ
Азотъ (Nitrogenium)	N	13.9	Неонъ	Ne	20.0
Алюминій	Al	26.9	Никкель	Ni	58.4
Аргонъ	Ar	39.7	Ниобій	Nb	93.3
Варій	Ba	136.4	Олово (Stannum)	Sn	118.1
Бериллій	Be	9.0	Осмій	Os	189.9
Боръ	B	10.9	Палладій	Pd	105.6
Бромъ	Br	79.3	Платина	Pt	193.4
Ванадій	V	51.0	Прозеодимъ	Pr	142.4
Висмутъ (Bismutum)	Bi	206.5	Радій	Ra	225.0
Водородъ (Hydrogenium)	H	1.0	Родій	Rh	102.2
Вольфрамъ	W	182.7	Ртуть (Hydrargyrum)	Hg	198.5
Гадолиний	Gd	154.9	Рубидій	Rb	84.8
Галлій	Ga	68.5	Рутеній	Ru	100.9
Гелій	He	4.0	Самарій	Sa	148.9
Германій	Ge	71.7	Свинецъ (Plumbum)	Pb	205.4
Желѣзо (Ferrum)	Fe	55.6	Селенъ	Se	78.4
Золото (Aurum)	Au	195.7	Серебро (Argentum)	Ag	107.1
Индій	In	112.8	Скандій	Sc	43.7
Иридій	Ir	191.7	Стронцій	Sr	86.9
Иттербій	Yb	171.7	Сурьма (Stibium)	Sb	119.5
Иттрий	Y	88.3	Сѣра	S	31.8
Иодъ	J	125.9	Талій	Tl	202.6
Кадмій	Cd	111.1	Танталъ	Ta	181.2
Калій	K	38.8	Теллуръ	Te	127.1
Кальцій	Ca	39.8	Тербій	Tb	158.8
Кислородъ (Oxygenium)	O	15.9	Титанъ	Ti	47.8
Кобальтъ	Co	59.1	Торій	Th	230.9
Кремній (Silicium)	Si	28.2	Тулій	Tu	169.4
Криптонъ	Kr	81.2	Углеродъ (Carbonicum)	C	11.9
Ксенонъ	X	128.0	Уранъ	U	237.8
Лантанъ	La	137.6	Фосфоръ	P	30.8
Литій	Li	7.0	Фторъ	F	18.9
Магній	Mg	24.2	Хлоръ	Cl	35.2
Марганецъ	Mn	54.6	Хромъ	Cr	51.7
Молибденъ	Mo	95.3	Цезій	Cs	131.9
Мышьякъ (Arsenicum)	As	74.5	Церій	Ce	139.1
Мѣдь (Styrium)	Cu	63.1	Цинкъ	Zn	64.9
Натрій	Na	22.9	Цирконій	Zr	89.9
Неодимъ	Nd	139.4	Эрбій	Er	165.0

Химическій знакъ простого вещества есть, какъ видно изъ списка, начальная буква его (латинскаго) названія, къ которой прибавляется еще вторая буква, если нѣсколько названій имѣютъ однѣ и тѣ же начальныя буквы. Но знакъ обозначаетъ не только названіе соответствующаго простого вещества, но и опредѣленный вѣсъ, атомный вѣсъ соответствующаго элемента.

Первыя опредѣленія атомныхъ вѣсовъ были произведены Дальтономъ. Результаты его изслѣдованій были опубликованы въ 1805 году.

Нѣсколькими годами раньше Дальтонъ подвергъ изслѣдованію два различныхъ соединенія углерода съ водородомъ и нашелъ, что въ одномъ соединеніи съ однимъ и тѣмъ же количествомъ углерода соединено вдвое больше водорода, чѣмъ въ другомъ. Эту же законмѣрность онъ нашелъ и въ составѣ двухъ соединеній углерода съ кислородомъ, въ окиси углерода и въ двуокиси углерода (угольной кислотѣ). Одно и то же количество углерода во второмъ изъ этихъ соединеній соединено съ вдвое бблыпимъ количествомъ кислорода, чѣмъ въ первомъ. Еще замѣтна эта законмѣрность выступаетъ въ соединеніяхъ кислорода съ азотомъ. Одно и то же количество, именно 28 вѣсовыхъ частей азота, соединяется съ 16, 32, 48, 64, и 80 вѣсовыми частями кислорода, другими словами, съ вѣсовыми количествами, относящимися, какъ 1 : 2 : 3 : 4 : 5. Если одно и то же количество одного элемента соединяется съ различными количествами другого элемента, то отношеніе послѣднихъ можетъ быть выражено цѣлыми числами.

Эту своеобразную законмѣрность въ составѣ химическихъ соединеній Дальтонъ объяснилъ при помощи высказанной уже въ древности гипотезы, что вещества состоятъ изъ чрезвычайно маленькихъ, недѣлимыхъ частицъ, атомовъ (ср. § 323). Каждое простое вещество, говорить онъ, состоитъ изъ одинаковыхъ атомовъ постоянного вѣса и химическія соединенія происходятъ благодаря тому, что соединяются атомы простыхъ веществъ. Если одно простое вещество образуетъ съ другимъ больше, чѣмъ одно соединеніе, то извѣстное количество (одинъ атомъ или нѣсколько атомовъ) одного соединяется либо съ однимъ, либо съ двумя, либо съ тремя и т. д. атомами другого. Такимъ образомъ, мы должны по необходимости выражать количества второго вещества, вступающія въ соединенія съ однимъ и тѣмъ же количествомъ перваго, цѣлыми числами.

342. Необходимымъ условіемъ Дальтоновской атомной теоріи являются работы Лавуазье. Безъ помощи вѣсовъ Дальтонъ не былъ бы въ состояніи придти къ своему представленію природы химическихъ соединеній. Слѣдуетъ еще отмѣтить, что ему не помѣшали даже господствовавшіе тогда взгляды на сущность теплоты—она разсматривалась въ то время, какъ нѣчто вещественное. Вѣсами нельзя было доказать существованія тепловаго вещества.

Что же означаетъ выраженіе атомный вѣсъ? Само собою понятно, что оно не можетъ означать вѣсъ отдѣльнаго атома. Послѣдняго нельзя опредѣлить при помощи вѣсовъ, ибо атомъ не можетъ быть изолированъ и, сверхъ того, онъ неизмѣримо меньше самаго малаго вѣса, который можетъ быть показанъ вѣсами. Ничего опредѣленнаго о дѣйствительномъ вѣсѣ атомовъ мы не знаемъ, но во всякомъ случаѣ онъ чрезвычайно малъ. Атомный вѣсъ есть только относительное понятіе, т. е. числа, выражающія атомные вѣса, даютъ только отношенія атомныхъ вѣсовъ различныхъ простыхъ веществъ. Какимъ образомъ находятъ это отношеніе, можно вкратцѣ пояснить слѣдующимъ образомъ.

Самыя малыя частицы химическаго соединенія не могутъ, конечно, быть атомами, онѣ должны быть составлены изъ различныхъ атомовъ. Мѣлъ (известнякъ) состоитъ изъ кальція, углерода и кислорода. Даже самая малая частица мѣла содержитъ эти три простыхъ вещества. Самая малая частица мѣла, какую только можно себѣ пред-

ставить, т. е. частица, которая при дальнѣйшемъ отдѣленіи не можетъ быть разложена на еще меньшія частицы мѣла, а разлагается только на кальцій, углеродъ и кислородъ, называется молекулой.

Извѣстные химическіе факты привели, далѣе, къ допущенію, что не только въ сложныхъ тѣлахъ, но и въ простыхъ веществахъ атомы соединяются въ группы атомовъ, т. е. въ молекулы. Различіе между молекулами сложнаго вещества и молекулами простаго состоитъ, такимъ образомъ, въ томъ, что первыя составлены изъ разнородныхъ, послѣднія, наоборотъ, изъ однородныхъ атомовъ.

Различныя соотношенія газообразныхъ тѣлъ особенно ясно указываютъ на то, что газы состоятъ изъ молекулъ независимо отъ того, есть ли данный газъ простое вещество или химическое соединеніе.

Гэ-Люссакъ, какъ было упомянуто въ ученіи о теплотѣ, доказалъ, что всѣ газообразныя тѣла при нагрѣваніи расширяются равномѣрно, а Бойль показалъ (I, § 257), что объемы всѣхъ газовъ измѣняются въ обратномъ отношеніи къ давленію. Отсюда итальянскій физикъ Амедео Авогадро (1776—1856) вывелъ заключеніе, что одинаковые объемы различныхъ газовъ при одинаковой температурѣ и одинаковомъ давленіи содержатъ одинаковое число молекулъ. Этотъ „законъ“ Авогадро можно формулировать и такъ, что молекулы различныхъ газовъ при одинаковой температурѣ и одинаковомъ давленіи занимаютъ одни и тѣ же объемы. Такъ какъ законы Гэ-Люссака и Бойля касаются какъ сложныхъ, такъ и простыхъ газовъ, то очень вѣроятно, что послѣдніе такъ же, какъ и первые, состоятъ изъ молекулъ, т. е. изъ группъ атомовъ, а не изъ отдѣльныхъ атомовъ.

Итакъ, чтобы опредѣлить отношеніе молекулярныхъ вѣсовъ газообразныхъ тѣлъ, необходимо только узнать вѣса равныхъ объемовъ при одинаковой температурѣ и одинаковомъ давленіи. Отношеніе объемныхъ вѣсовъ есть тогда вмѣстѣ съ тѣмъ и отношеніе молекулярныхъ вѣсовъ. Единицей объемнаго вѣса такъ же, какъ и молекулярнаго, служитъ вѣсъ легчайшаго газа, водорода.

Изъ молекулярнаго вѣса получается и атомный вѣсъ, если извѣстно, изъ сколькихъ атомовъ состоитъ молекула. Въ связи съ извѣстными химическими фактами, въ разсмотрѣніе которыхъ мы не можемъ здѣсь входить ближе, принимаютъ, что молекула водорода состоитъ изъ двухъ атомовъ. Если принять теперь, что атомный вѣсъ водорода равенъ 1, то его молекулярный вѣсъ равенъ 2; при помощи вѣсовъ опредѣляютъ, во сколько разъ другой газъ тяжелѣе водорода, и удвоенное послѣднее число и есть молекулярный вѣсъ другого газа.

Кислородъ въ 16 разъ тяжелѣе водорода. Слѣдовательно, молекулярный вѣсъ кислорода составляетъ 32, и такъ какъ его молекула состоитъ изъ двухъ атомовъ, то атомный вѣсъ кислорода равенъ 16.

Пары фосфора тяжелѣе водорода въ 62 раза. Молекулярный вѣсъ фосфора, слѣдовательно, равенъ 124. Но молекула фосфора состоитъ изъ четырехъ атомовъ. Такимъ образомъ, атомный вѣсъ фосфора равенъ 31.

Подобнымъ же образомъ опредѣляется атомный вѣсъ и другихъ простыхъ веществъ, которыя могутъ быть изслѣдованы въ газообразномъ состояніи. Для остальныхъ простыхъ веществъ опредѣленіе производится помощью анализа ихъ соединеній съ тѣми простыми веществами, атомный вѣсъ которыхъ извѣстенъ.

Химическіе знаки обозначаютъ не только названія, но вмѣстѣ съ тѣмъ и атом-

ные вѣса элементовъ. Н обозначаетъ, слѣдовательно, одну вѣсовую часть водорода, S—32 вѣсовыхъ частей сѣры и т. д. Составъ химическихъ соединений можетъ быть выраженъ помощью этихъ знаковъ въ очень простомъ видѣ. Такъ, напримѣръ, составъ сѣрной кислоты выражается формулой H_2SO_4 . Эта формула означаетъ, что сѣрная кислота состоитъ изъ 2 вѣсовыхъ частей водорода, 32 вѣсовыхъ частей сѣры и 64 вѣсовыхъ частей кислорода.

343. Изъ многочисленныхъ химическихъ соединений, получающихся при соединении элементовъ, здѣсь должны быть указаны только нѣкоторыя главныя ихъ группы. Такъ называемыя кислоты имѣютъ, какъ училъ уже Бойль, кислый вкусъ и превращаютъ, если онѣ жидки или растворены въ водѣ, синій цвѣтъ нѣкоторыхъ растительныхъ красокъ, напримѣръ, лакмуса, въ красный. Въ настоящее время прибавляютъ, что кислоты суть водородныя соединения, водородъ которыхъ можетъ быть замѣщенъ металломъ.

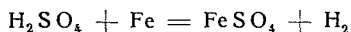
П р и м ѣ р ы .

HCl , соляная кислота (хлористый водородъ),

H_2SO_4 , сѣрная кислота,

HNO_3 , азотная кислота (царская водка).

Уравненіе



обозначаетъ, что при дѣйствіи сѣрной кислоты на желѣзо, послѣднее становится на мѣсто водорода кислоты, при чемъ одновременно водородъ выдѣляется или становится „свободнымъ“. Получающееся соединеніе $FeSO_4$ есть соль, сѣрнокислое желѣзо или сульфатъ желѣза. Въ этомъ химическомъ процессѣ два атома водорода замѣщены однимъ атомомъ желѣза. Поэтому называютъ водородъ одноатомнымъ и желѣзо двуатомнымъ. Атомъ желѣза равнозначенъ или эквивалентенъ двумъ атомамъ водорода.

Простыя вещества по атомности (валентности) распадаются на различныя группы.

Тѣ простыя вещества, одинъ атомъ которыхъ въ химическомъ соединеніи можетъ стать на мѣсто одного атома водорода, или одинъ атомъ которыхъ образуетъ химическое соединеніе съ однимъ атомомъ водорода, называются одноатомными.

Напротивъ, тѣ простыя вещества, атомы которыхъ замѣщаютъ два атома водорода или могутъ соединиться съ двумя атомами водорода, называются двуатомными. Равнымъ образомъ существуютъ трехатомныя, четырехатомныя и т. д. простыя вещества. Одноатомны, напримѣръ, водородъ, хлоръ, бромъ, іодъ, фторъ, натрій, калий, серебро; двуатомны кислородъ, сѣра, кальцій, барій, магній, цинкъ, свинецъ, желѣзо, ртуть, мѣдь; трехатомны азотъ, фосфоръ и золото; четырехатомны углеродъ, олово и платина.

Одно и то же простое вещество можетъ выступать съ различными атомностями. Желѣзо, напримѣръ, образуетъ два окисла, FeO , закись желѣза, и Fe_2O_3 , окись желѣза. Въ первомъ соединеніи оно двуатомно, во второмъ трехатомно. Знаніе атомности въ высокой степени облегчаетъ пониманіе формулъ, помощью которыхъ выражается составъ химическихъ соединений. Трехатомный азотъ образуетъ съ одноатомнымъ водородомъ соединеніе NH_3 (амміакъ). Четырехатомный углеродъ обра-

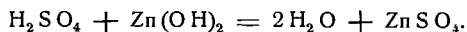
зуеть съ O_2 „насыщенное“ соединеніе CO_2 (двуокись углерода), H_2 съ O образуеть насыщенное соединеніе H_2O (воду).

344. Такъ называемыя основанія по Бойлю обладаютъ свойствомъ возста-навливать синій цвѣтъ лакмуса, измѣненный кислотю въ красный, и превращать желтый цвѣтъ куркумы въ коричневый.

Основанія, какъ мы знаемъ теперь, суть гидраты окисей, т. е. соединенія металловъ съ такъ называемой гидроксильной группой OH . Эта атомная группа не насыщена, такъ какъ кислородъ двуатоменъ, а водородъ одноатоменъ. Группа OH содержитъ еще одну „свободную“ атомность, которая насыщается металломъ при образованіи основанія. Гидратъ окиси натрія есть $NaOH$, гидратъ окиси мѣди $Si(OH)_2$.

Большинство гидратовъ окисей въ водѣ нерастворимы. Растворимы гидраты окисей такъ называемыхъ щелочныхъ металловъ (калія, натрія и нѣкоторыхъ другихъ рѣдкихъ металловъ) и щелочноземельныхъ металловъ (кальція, стронція, барія и магнія). Растворы эти обладаютъ щелочнымъ вкусомъ.

345. При дѣйствіи кислоты на основаніе имѣеть мѣсто слѣдующій процессъ (реакція):



Цинкъ становится на мѣсто водорода сѣрной кислоты, а водородъ на мѣсто цинка гидрата окиси. Получаются два новыя соединенія: вода и цинковая соль сѣрной кислоты, — сѣрнокислый цинкъ или сульфатъ цинка. Когда двѣ жидкости, изъ которыхъ одна содержитъ кислоту, а другая гидратъ окиси (гидратъ окиси калія, ѣдкое кали, или гидратъ окиси натрія, ѣдкій натръ), смѣшаны въ извѣстномъ отношеніи, то смѣсь не содержитъ больше ни кислоты ни гидрата окиси, а только соль. Этотъ процессъ образованія соли называется нейтрализаціей.

Кислоты, основанія и соли — три главныя группы химическихъ соединеніи, которыя являются особенно важными въ связи съ извѣстными физическими явленіями.

346. Атомная теорія Дальтона очень хорошо объясняетъ законмѣрность въ строеніи химическихъ соединеніи, но она не разъясняетъ, почему атомы образуютъ соединенія.

Демокритъ (§ 323), болѣе 2000 лѣтъ тому назадъ установившій основанную только на умозаключеніяхъ атомную теорію, допускалъ, что атомы соединяются вслѣдствіе дѣйствія силъ, составляющихъ принадлежность сущности самихъ атомовъ. Также и Робертъ Бойль говоритъ о силахъ, которыя дѣйствуютъ при химическихъ процессахъ между мельчайшими частицами тѣлъ.

Въ настоящее время причину, лежащую въ основѣ химическихъ процессовъ, называютъ химическимъ сродствомъ. Слово это, которое употреблялось уже Альбертомъ Магнусомъ, выбрано не очень удачно, такъ какъ оно указываетъ на родство веществъ, которыя легко соединяются другъ съ другомъ. Но вещества, испытывающія большое химическое тяготѣніе другъ къ другу, по своимъ свойствамъ не похожи, а, напротивъ, очень различны. О самой сущности сродства болѣе опредѣленно ничего неизвѣстно. Извѣстно только, что оно дѣйствуетъ на очень незначительныхъ разстояніяхъ и что на него оказываютъ вліяше теплота, свѣтъ и электричество. Вещества, которыя должны дѣйствовать химически другъ на друга, по возможности употребляются въ жидкомъ (расплавленномъ или растворенномъ) состояніи, потому

что въ этомъ состояніи молекулы могутъ приближаться другъ къ другу больше, чѣмъ въ твердомъ состояніи. Но, чтобы возбудить дѣятельность сродства, можно поступить и иначе. При обыкновенной температурѣ сѣрная кислота почти совсѣмъ не дѣйствуетъ на мѣдь. Наоборотъ, въ горячей сѣрной кислотѣ мѣдь растворяется, образуя сульфатъ мѣди и двуокись сѣры.

Какъ теплота, свѣтъ также можетъ дать толчокъ къ химическимъ реакціямъ. Если смѣшать въ темной комнатѣ равные объемы газообразныхъ элементовъ водорода и хлора, то они не соединяются. Но если эту смѣсь подвергнуть дѣйствию солнечныхъ лучей, то эти два элемента со взрывомъ соединяются въ хлористый водородъ. То же самое имѣетъ мѣсто, если черезъ смѣсь этихъ газовъ пропустить электрическую искру.

Изъ этихъ примѣровъ ясно, что естественныя силы, теплота, свѣтъ, электричество, оказываютъ большое вліяніе на естественную силу, которая зовется химическимъ сродствомъ.

Теплота, свѣтъ и электричество могутъ, однако, не только вызывать образованіе химическихъ соединений, но они также могутъ вызвать и какъ разъ обратное, т. е. разложеніе соединений на ихъ составныя части, иными словами, они могутъ уничтожать химическое сродство. Водяной паръ распадается на водородъ и кислородъ, при нагрѣваніи его отъ 2000° до 3000°. Азотная кислота подъ вліяніемъ свѣта претерпѣваетъ разложеніе. Фотографія основывается на томъ, что находящаяся на свѣточувствительной пластинкѣ соль серебра подъ вліяніемъ свѣта разлагается.

347. Когда заходитъ рѣчь о химическомъ дѣйствіи электричества, то обыкновенно прежде всего является мысль объ электрическомъ токтѣ. Однако, не слѣдуетъ забывать, что электрическая искра есть также токъ, именно токъ высокаго напряженія очень короткой продолжительности.

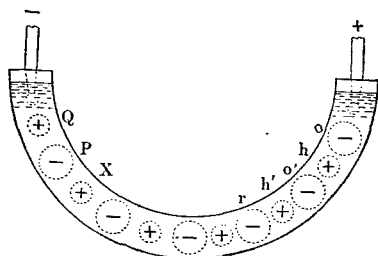
Первыя наблюденія надъ химическими дѣйствіями электричества связаны съ рядами электрическихъ машинъ и лейденскихъ банокъ. Результаты, однако, были ненадежны и для болѣе позднихъ изслѣдовацій имѣли мало значенія. Мы поэтому не будемъ ими подробно заниматься. Слѣдуетъ только упомянуть, что уже въ 1789 году два голландскихъ изслѣдователя открыли, что сильнымъ электрическимъ разрядомъ вода разлагается на горючій воздухъ (водородъ) и жизненный воздухъ (кислородъ). Еще позже Беккариа замѣтилъ образованіе металлическаго цинка, когда электрическая искра проскакивала между двумя кусками цинковой окалины (окиси цинка).

Большая опредѣленность въ изученіи этихъ явленій наступила только съ открытіемъ полученія электрическаго тока отъ гальваническихъ элементовъ. За первыми открытіями Никольсона и Карлейля, а также Риттера (§ 316 до 318) скоро послѣдовали новыя важныя наблюденія, которая легли въ основаніе новой науки, электрохиміи.

348. Въ первые годы XIX столѣтія многими физиками было доказано, что растворы солей разлагаются электрическимъ токомъ такъ, что металлъ (такъ же, какъ водородъ при разложеніи воды) выдѣляется на отрицательномъ полюсѣ. (Металлъ идетъ съ токомъ, ср. рис. 268). При этихъ изслѣдованіяхъ возникали различные вопросы относительно происходящаго отъ дѣйствія электрическаго тока разложенія химическихъ соединений. Почему, напримѣръ, при разложеніи воды водородъ и кислородъ выдѣляются только на полюсахъ? И получаютъ ли водородъ, выдѣляющійся на одномъ полюсѣ, и кислородъ, одновременно выдѣляющійся на другомъ полюсѣ, отъ

разложения однихъ и тѣхъ же молекулъ воды или же различныхъ? Первый опытъ для теоретическаго выясненія явленій разложения воды былъ произведенъ Гроттгусомъ. Гроттгусъ родился въ Лейпцигѣ въ 1785 году и былъ сынъ курляндскаго дворянина; онъ занимался съ 1803 года сначала въ Лейпцигѣ, затѣмъ въ Парижѣ, гдѣ учителями его были Бертолле и Фуркруа, и наконецъ въ Неаполѣ, гдѣ и разработалъ свою теорію гальваническаго разложения воды. Съ 1807 года до своей смерти — онъ умеръ въ возрастѣ всего 37 лѣтъ — Гроттгусъ жилъ, усердно занимаясь физическими науками, въ своемъ наслѣдственномъ имѣннн Геддуцъ.

Гроттгусъ наглядно представлялъ свой взглядъ на разложение воды при помощи воспроизведеннаго ниже рисунка (рис. 278). Концы проволоки гальванической батареи погружены въ изогнутую стеклянную трубку, наполненную подкисленной водой. Гроттгусъ сравнивалъ гальваническій элементъ съ магнитомъ, который имѣетъ положительный (+) и отрицательный (—) полюсы, и допускалъ, что молекула воды обладаетъ подобной же полярностью, такъ что водородъ является электрически положительнымъ, а кислородъ электрически отрицательнымъ. Если же пропускать чрезъ воду электрическій токъ, то полярность молекулъ воды обнаруживается и молекулы располагаются обозначеннымъ на рисункѣ образомъ. Атомы кислорода обращены къ положительному полюсу, атомы водорода къ отрицательному. Молекула воды на положительномъ полюсѣ расщепляется, кислородъ *o* становится свободнымъ, но водородъ *h* тотчасъ же соединяется съ кислородомъ *o'* ближайшей молекулы воды. Водородъ *h'* этой последней молекулы соединяется съ кислородомъ *r* слѣдующей молекулы воды и т. д. Водородъ *Q* той молекулы, которая находится на отрицательномъ полюсѣ, выдѣляется на этомъ полюсѣ. Такимъ образомъ Гроттгусъ допускалъ, что распадѣніе молекулъ воды имѣетъ мѣсто во всей жидкости и что атомы водорода и кислорода соединяются въ новыя молекулы. Одна изъ крайнихъ молекулъ отдаетъ свой кислородъ, другая свой водородъ. Какъ только это произошло, молекулы воды поворачиваются, такъ что снова обращаются кислородомъ къ положительному полюсу, водородомъ къ отрицательному. Объясненіе разложения воды Гроттгусомъ долгое время было наилучшимъ изъ всѣхъ имѣвшихся. Оно имѣло за собою большое преимущество удобопонятности. Однако, въ связи съ извѣстными явленіями, противорѣчившими этой теоріи, позже ее замѣнили другой (§ 355).



Объясненіе разложения воды по Гроттгусу.

349. Нахожденіе правильнаго объясненія химическаго дѣйствія электрическаго тока представляло особенный интересъ еще и потому, что самъ гальваническій элементъ дѣйствуетъ только до тѣхъ поръ, пока въ немъ имѣетъ мѣсто химическая реакція. Не подлежало сомнѣнію, что электрическія и химическія явленія находятся въ очень тѣсной связи, и было трудно, если не невозможно, рѣшить, какое изъ двухъ явленій должно разсматривать, какъ причину, какое, какъ слѣдствіе, и не должны ли, быть можетъ, оба явленія разсматриваться, какъ слѣдствія одной и той же причины?

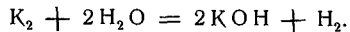
По мнѣнію Вольты источникъ электричества гальваническаго элемента лежитъ въ соприкосновеніи различныхъ тѣлъ, изъ которыхъ состоятъ элементы. Онъ зналъ, что вода въ элементахъ должна содержать соль или кислоту. Элементъ, содержащій одну чистую воду, тока не даетъ. Онъ объяснялъ это такъ же, какъ раньше Кэвендишъ, просто тѣмъ обстоятельствомъ, что чистая вода не проводитъ электричества. Невозможно разложить чистую воду электрическимъ токомъ, ибо токъ гальванической батареи не можетъ проникнуть чрезъ воду. Для обоснованія своего мнѣнія Вольта могъ указать на тотъ фактъ, что во многихъ случаяхъ между металлами и содержащими кислоту жидкостями имѣетъ мѣсто сильное химическое дѣйствіе, но при этомъ происходитъ только очень незначительное развитіе электричества. Взглядъ Вольты о мѣстѣ источника электричества долгое время оставался господствующимъ. Позже, однако, въ сильной степени упрочивается вліяніе электрохимическихъ изслѣдователей съ Г. Дэви и Берцелиусомъ во главѣ.

350. Дэви замѣтилъ, что соотношенія при разложеніи растворовъ, содержащихъ соль или кислоту, часто очень запутаны. Было найдено, что при разложеніи воды у положительнаго полюса всегда появляется кислота, у отрицательнаго полюса основаніе, и потому допускали, что какъ кислота, такъ и основаніе состоятъ отчасти изъ „электричества“. Рядомъ превосходно выполненныхъ опытовъ Дэви показалъ, что въ томъ случаѣ, когда при разложеніи воды появились кислота и основаніе, вода всегда содержала соль, частью потому, что вода была недостаточно очищена дестилляціей, частью потому, что растворялось водою вещество сосуда, чрезъ который проходилъ токъ. Когда же присутствуетъ соль, то она токомъ разлагается и одна часть ея направляется къ положительному полюсу, другая къ отрицательному. Дэви показалъ, напримѣръ, что, если пропускать токъ чрезъ растворъ сульфата калия, то у отрицательнаго полюса появляется гидратъ окиси калия, а у положительнаго сѣрная кислота. Эти химическія реакціи нашли свое объясненіе благодаря открытію щелочныхъ металловъ калия и натрія. Было сдѣлано предположеніе, что вещества, извѣстныя подъ названіями ѣдкаго кали и ѣдкаго натра, представляютъ сложныя тѣла. Дэви прежде всего и старался разложить ихъ дѣйствіемъ электрическаго тока на водные растворы. Это ему, однако, не удавалось. Тогда онъ нагрѣлъ сухое ѣдкое кали на платиновой пластинкѣ, соединилъ послѣднюю съ отрицательнымъ полюсомъ сильной гальванической батареи и погрузилъ платиновую проволоку, соединенную съ положительнымъ полюсомъ, въ расплавленное ѣдкое кали. На отрицательномъ полюсѣ появился блестящій свѣтъ, шедшій отъ выдѣливаемаго горячаго вещества. Чтобы предупредить горѣніе послѣдняго, Дэви перемѣнилъ полюсы и употребилъ такой сильный токъ, что ѣдкое кали расплавилось. Тогда на платиновой пластинкѣ (покрытой расплавленнымъ ѣдкимъ кали) появились маленькіе, похожіе на ртуть, металлическіе шарики, которые на воздухѣ быстро тускнѣли и снова превращались въ ѣдкое кали.

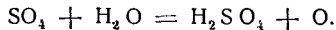
Эти металлическіе шарики состояли изъ калия. Калий нельзя получить мокрымъ путемъ, т. е. дѣйствіемъ тока на водный растворъ гидрата окиси, ибо онъ имѣетъ такое большое сродство съ кислородомъ, что разлагаетъ воду, причемъ соединяется съ ея кислородомъ, а водородъ освобождаетъ. Если бросить кусочекъ калия въ воду, то водородъ воспламеняется благодаря выдѣлившейся, вслѣдствіе химической реакціи, теплотѣ.

Что при разложеніи сульфата калия на отрицательномъ полюсѣ появляется кромѣ водорода также гидратъ окиси калия, а на положительномъ полюсѣ кромѣ кислорода также сѣрная кислота, теперь можетъ быть легко объяснено.

Составъ сульфата калия выражается формулой K_2SO_4 . Появляющійся на отрицательномъ полюсѣ калий дѣйствуетъ на воду такъ, что получаются гидратъ окиси калия и свободный водородъ:



Кислотный остатокъ SO_4 , который выдѣлился на положительномъ полюсѣ, также производитъ разложеніе воды, и именно такъ, что получаются сѣрная кислота и свободный кислородъ:



Получающіеся при разложеніи сульфата калия водородъ и кислородъ выдѣляются не вслѣдствіе распадения воды на ея составныя части, а благодаря „вторичнымъ“ процессамъ. Для того, чтобы понять явленіе электрическаго разложенія, нужно внимательно разобраться въ этихъ процессахъ. Чистая вода не проводитъ электрическаго тока и потому токомъ не разлагается. Напротивъ, если къ водѣ прибавлено нѣкоторое количество сѣрной кислоты, то вода проводитъ токъ и послѣднимъ разлагается на свои двѣ составныя части или, лучше сказать, ея двѣ составныя части, водородъ и кислородъ, собираются на полюсахъ въ такихъ количествахъ, какъ будто имѣло мѣсто прямое разложеніе воды. Но то, что разлагается при образованіи водорода и кислорода и постоянно образуется вновь, есть не вода, а сѣрная кислота, H_2SO_4 . Эта послѣдняя разлагается электрическимъ токомъ на H_2 и SO_4 . Водородъ выдѣляется на отрицательномъ полюсѣ. На положительномъ полюсѣ вслѣдствіе дѣйствія SO_4 на H_2O получаются сѣрная кислота и свободный кислородъ.

Дэви открылъ также металлъ натрій, свойства котораго имѣютъ большое сходство со свойствами калия. Онъ получилъ его дѣйствіемъ электрическаго тока на расплавленный ѣдкій натръ (гидратъ окиси натрія). Позже ему удалось получить тѣмъ же способомъ такъ называемые щелочноземельные металлы изъ ихъ кислородныхъ соединений.

351. Открытія Дэви обратили на себя всеобщее вниманіе и французская Академія почтила изслѣдователя уже при появленіи его первой статьи, присудивъ ему премію, которую Наполеонъ назначилъ за лучшую работу по гальванизму. Отъ введенія электрическаго тока въ число средствъ экспериментальной химіи ожидали большихъ результатовъ.

Однако, прошелъ цѣлый рядъ лѣтъ, прежде чѣмъ блестящія открытія Дэви нашли продолженіе. Электрохимическія теоріи Дэви и Берцелиуса (или Швейггера и Гмелина) были недостаточны, чтобы побудить къ новымъ плодотворнымъ изслѣдованіямъ.

Электрохимическая теорія Дэви вкратцѣ заключалась въ слѣдующемъ. Химическія соединения получаютъ и разлагаются вслѣдствіе электрическихъ притяженій и отталкиваній. То, что Вольта наблюдалъ на металлахъ, а именно, возникновеніе разности напряженій, когда два металла соприкасаются, относится ко всѣмъ тѣламъ, которыя оказываютъ другъ на друга химическое притяженіе. Разложеніе при помощи электрическаго тока онъ объяснялъ допусшемъ, что вещества пріобрѣтаютъ такой избытокъ электричества, что приходятъ въ „свободное“ состояніе, т. е. что они

становятся или положительно или отрицательно электрическими и поэтому двигаются къ отрицательному или положительному полюсу. Калий, напримѣръ, сильно электроположителенъ, кислородъ сильно электроотрицателенъ и всѣ вещества могутъ быть расположены въ рядъ по своему электричеству. Теорія Дэви есть не что иное, какъ расширеніе теоріи соприкосновенія Вольты. Что касается реакціи химическаго разложенія, то здѣсь Дэви примыкалъ къ взглядамъ Гроттгуса.

Въ бôльшей степени, чѣмъ Дэви, въ построеніи первыхъ электрохимическихъ теорій принималъ участіе шведскій химикъ Якобъ Берцеліусъ (1779—1848). Причина этого лежитъ въ томъ, что Берцеліусъ создалъ большую, чѣмъ кто-либо другой изъ химиковъ, школу, отчасти благодаря своимъ многочисленнымъ превосходнымъ работамъ, отчасти благодаря своимъ знаменитымъ ученикамъ, какъ, напримѣръ, Мичерлихъ. Во второмъ десятилѣтіи предыдущаго столѣтія Стокгольмъ былъ центромъ химическихъ изслѣдованій.

Берцеліусу и его ученикамъ принадлежитъ большая заслуга въ томъ отношеніи, что они занялись подтвержденіемъ предложенной Дальтономъ гипотезы при помощи тщательныхъ опытовъ. Берцеліусъ пошелъ по стопамъ Лавуазье, предоставивъ вѣсамъ то мѣсто въ химіи, которое имъ принадлежитъ по праву, и проложилъ путь примѣненію аналитической химіи къ органическимъ веществамъ, указавъ новые методы работъ, благодаря которымъ можно было опредѣлять съ помощью вѣсовъ составъ этихъ веществъ.

Свои электрохимическія изслѣдованія Берцеліусъ началъ уже въ 1802 году, но въ этой области онъ много уступалъ Дэви. Вліяніе Берцеліуса въ области электрохиміи основывается не на экспериментальныхъ его изслѣдованіяхъ, а на электрохимической теоріи, которую онъ опубликовалъ во второмъ изданіи своего знаменитаго руководства химіи, появившемся въ 1818 году.

Въ противоположность Дэви Берцеліусъ полагалъ, что атомы простыхъ веществъ обладаютъ двумя различными электрическими полюсами, но не одинаковой силы, и что химическое притяженіе имѣетъ мѣсто между веществами, которыя содержатъ противоположныя электричества въ избыткѣ. Берцеліусъ, слѣдовательно, не находилъ необходимымъ разсматривать химическое притяженіе, какъ слѣдствіе электричества при соприкосновеніи, и въ этомъ отношеніи могъ чувствовать себя свободнѣе, чѣмъ Дэви. Но его теорія требуетъ, чтобы простыя вещества сами по себѣ были или электрически положительны или электрически отрицательны. Доказательства же этого допущенія не дали ни Берцеліусъ, ни болѣе поздніе изслѣдователи. Такъ же, какъ и Дэви, Берцеліусъ дѣлилъ вещества въ соотвѣтствіи съ тѣмъ, какъ они разлагались электричествомъ, на электроположительныя и электроотрицательныя.

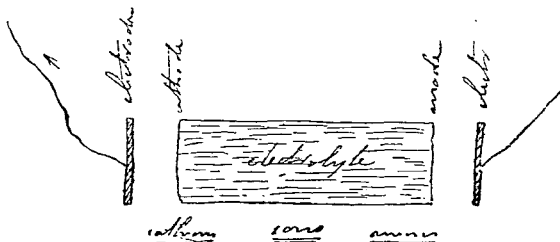
352. Открытія Дэви побудили многихъ изслѣдователей обратить вниманіе на область электрохиміи; однако, несмотря на это, въ ближайшія 20 лѣтъ не было сдѣлано ни одного открытія въ этой области, достойнаго упоминанія. Не сдѣлала успѣховъ въ этотъ промежутокъ времени и теорія. Въ двадцатыхъ годахъ, какъ мы скоро увидимъ, привлекла къ себѣ всеобщее вниманіе совершенно другая область ученія объ электричествѣ. Ближайшій крупный шагъ впередъ въ области электрохиміи связанъ съ именемъ ученика и послѣдователя Дэви, Майкеля Фарадэя.

Онъ представилъ свой знаменитый докладъ о химическомъ дѣйствии электрическаго тока въ Royal Society въ январѣ 1834 года.

Чтобы быть въ состояннн ясно излагать тракуемыя имъ физикохимичесюя соотношенія Фарадэй ввелъ рядъ новыхъ обозначеннй, вошедшихъ во всеобщее употребленне. Полюсы, т. е. тѣ мѣста, гдѣ электрическнй токъ при электрическомъ разложешн входитъ и выходитъ, онъ назвалъ электродами, и именно положительный полюсъ анодомъ, отрицательный катодомъ. Вещество, которое можетъ быть разложено электрическимъ токомъ, называется электролитомъ, а явленне разложешя электролизомъ. Вещества, которыя выдѣляются при электролизѣ на полюсахъ, Фарадэй также обозначилъ особыми именами. Раньше ихъ называли электроположительными и электроотрицательными составными частями соединеннй. Фарадэй назвалъ ту часть электролита, которая „переходитъ“ къ аноду, аниономъ, ту часть которая движется къ катоду, катиономъ (отъ греческаго слова *ἴων*—идушнй, странствующнй). Анионъ и катионъ называются общимъ именемъ ионовъ. При электролизѣ сульфата мѣди $CuSO_4$, напримѣръ, Cu есть катионъ, SO_4 анионъ.

353. Фарадэй изслѣдовалъ химическое дѣйствие электрическаго тока гораздо подробнѣе, чѣмъ это дѣлалось раньше. Онъ нашель, что электрическнй токъ опредѣленной силы въ извѣстное время разлагаетъ всегда одно и то же количество электролита. Одинъ токъ разлагаетъ, напримѣръ, всегда одно и то же количество воды,

Рис. 279



Рисунокъ Фарадея съ электролитическими наименованнями.

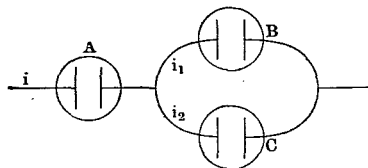
безразлично, большей или меньшей величины электроды, больше или меньше содержать вода кислоты (или растворенной соли). Онъ доказалъ это тѣмъ, что пропускалъ одинъ и тотъ же электрическнй токъ черезъ рядъ приборовъ для разложешя воды, у которыхъ электроды были различной величины и въ которыхъ къ водѣ были прибавлены неодинаковыя количества кислоты.

Другимъ вопросомъ былъ вопросъ о томъ, какая зависимость существуетъ между химической работой и силой электрическаго тока. Чтобы дать отвѣтъ на этотъ вопросъ, Фарадэй произвелъ слѣдующнй опытъ. *A*, *B* и *C* (рис. 280) представляютъ три прибора для разложешя воды. Токъ *i* гальванической батареи идетъ неразвѣтвленнымъ черезъ *A*, а затѣмъ развѣтвляется на двѣ части i_1 и i_2 , изъ которыхъ одна идетъ чрезъ *B*, другая черезъ *C*. Затѣмъ обѣ вѣтви тока соединяются снова и возвращаются въ батарею. Оба тока i_1 и i_2 вмѣстѣ, очевидно, совершенно такой же силы, какъ и токъ *i*; оказалось, что въ обоихъ приборахъ *B* и *C* вмѣстѣ выдѣляется то же количество водорода, что и въ приборѣ *A*. Отсюда Фарадэй

вывелъ важное заключеніе, что химическая работа электрическаго тока равна въ томъ же отношеніи, что и сила тока. Токъ вдвое сильнѣе производитъ и вдвое больше работы. Подъ силой тока слѣдуетъ понимать количество электричества, которое приводитъ съ собою токъ.

354. Фарадэй сдѣлалъ далѣе открытіе, что, если одинъ токъ разлагаетъ одновременно два тѣла, то выдѣляются эквивалентныя количества этихъ тѣлъ. Если, напримѣръ, разлагаются вода и нитратъ серебра, то выдѣляются эквивалентныя количества водорода и серебра. Такъ какъ водородъ и серебро оба одноатомны (срав.

Рис. 280



Электролитическій законъ Фарадэя.

служила серебряная палочка, а катодомъ платиновая чашка. Нитратъ серебра, AgNO_3 , разлагается на Ag и NO_3 . Серебро, какъ анионъ, выдѣляется на платинѣ, тогда какъ кислотный остатокъ NO_3 , какъ катионъ, выдѣляется на серебряной палочкѣ, гдѣ и производитъ образованіе нитрата серебра. Концентрація раствора нитрата серебра не мѣняется. Можно, слѣдовательно, сказать, что серебро переносится токомъ съ погруженной въ растворъ палочки на платиновую чашку.

При разложеніи сульфата мѣди выдѣляются эквивалентныя количества водорода и мѣди. Мѣдь двуатомна и атомный вѣсъ ея равенъ 63·6. Значитъ, 63·6 2 мѣди выдѣляются въ то время, когда водорода выдѣляется 2 г.

Съ помощью таблицы на стр. 315 и принимая во вниманіе атомность металловъ (§ 343), можно также указать количества другихъ металловъ, какіе выдѣляются подъ дѣйствіемъ электрическаго тока изъ растворовъ ихъ солей въ то время, какъ въ приборѣ для разложенія воды выдѣляется извѣстное количество водорода.

Своимъ электролитическимъ закономъ Фарадэй далъ ясное представленіе являющійся электролиза и точное основаніе для измѣренія силы тока. Если, напримѣръ, изслѣдуютъ два тока и находятъ, что одинъ токъ выдѣляетъ водорода въ три раза больше, чѣмъ другой въ то же самое время, то первый токъ будетъ сильнѣе второго въ три раза. Приборъ для разложенія воды, которымъ пользуются для измѣренія силы тока, называется вольтметромъ. Такіе приборы были въ употребленіи задолго до Фарадэя, но только Фарадэй далъ правильное объясненіе ихъ дѣйствія. Само собою понятно, приборъ, въ которомъ разлагается нитратъ серебра, можетъ служить также измѣрителемъ тока. Такой приборъ называется серебрянымъ вольтметромъ.

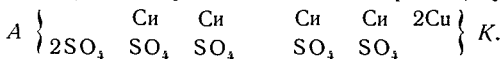
355. Мы не будемъ входить ближе въ теоретическія разсужденія Фарадэя о процессѣ электролиза. Но зато должно быть вкратцѣ разъяснено, какъ понимаютъ этотъ процессъ въ настоящее время. Теорія электролиза Гроттгуса не могла долго удерживаться. Она нуждалась въ допущеніи, что электролизъ насту-

§ 343), то выдѣленіе эквивалентныхъ количествъ равнозначно выдѣленію равнаго числа атомовъ. Такъ какъ, далѣе, атомный вѣсъ водорода равенъ 1, а атомный вѣсъ серебра 107·9, то 107·9 2 серебра выдѣляется въ то же время, въ какое выдѣлится и 1 2 водорода.—Разложеніе соли серебра лучше всего производить въ платиновой чашкѣ. Въ растворъ соли погружается серебряная палочка такъ, чтобы она не касалась чашки, а токъ замыкаютъ такъ, чтобы анодомъ

пасть только тогда, когда токъ достигнетъ извѣстной силы, ибо электролизъ по Гроттгусу начинался съ того, что по пути тока распались всѣ молекулы. Другое обстоятельство, которое нельзя объяснить помощью теоріи Гроттгуса, есть то, что электрическій токъ измѣняетъ растворъ электролита у анода и катода. Въ указанной ниже схемѣ пусть *A* изображаетъ анодъ, *K* катодъ. Электролитомъ пусть будетъ сульфатъ мѣди. Прежде чѣмъ начинается электролизъ, электролитъ находится въ состояніи, которое наглядно можетъ быть представлено въ слѣдующемъ видѣ:



Здѣсь связанные аніоны и катионы помѣщены (по способу изложенія, которымъ впервые пользовался Берцелиусъ) другъ надъ другомъ и другъ подъ другомъ. Въ серединѣ находится пористая перегородка, которая не мѣшаетъ электролизу. Если теперь электрическій токъ проходитъ черезъ жидкость въ направленіи отъ *A* къ *K*, то мѣдь, какъ катионъ, движется къ *K*, а кислотный остатокъ SO_4 , какъ аніонъ, къ *A*. Движеніе іоновъ можно представить себѣ, какъ параллельное (горизонтальное) сдвиганіе. Спустя короткое время состояніе, въ которомъ находится электролитъ, будетъ слѣдующее:



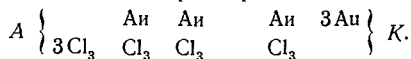
Такимъ образомъ, на каждой сторонѣ перегородки находится одной молекулой CuSO_4 меньше и черезъ перегородку прошли одинъ аніонъ Cu слѣва направо и одинъ катионъ SO_4 справа налѣво. Въ такомъ видѣ явленіе протекало бы по теоріи Гроттгуса, еслибы іоны двигались одинаково быстро.—Но опытъ учитъ, что во время электролиза нарушается равномѣрный составъ, который имѣла жидкость вначалѣ. Пулье нашель, на примѣръ, при электролизѣ раствора хлорнаго золота, что жидкость на катодѣ была почти совсѣмъ свободна отъ золота, несмотря на то, что въ растворѣ содержалось еще значительное количество золота.

Эти характерныя явленія нельзя объяснить съ помощью теоріи Гроттгуса. Чтобы приспособить теорію передвиженія іоновъ къ упомянутымъ опытамъ, необходимо было выставить очень смѣлую гипотезу. И по теоріи Гроттгуса іоны двинутся и вращаются, но объясненіе имѣло въ себѣ нѣчто наглядное въ томъ отношеніи, что сосѣднія молекулы дѣйствовали другъ на друга непосредственно, въ то время какъ аніонъ и катионъ двигались съ одинаковой скоростью въ противоположныхъ направленіяхъ. Но чтобы объяснить наблюденія Пулье и другихъ физиковъ при помощи теоріи передвиженія іоновъ, необходимо было допустить, что аніонъ и катионъ движутся съ различной скоростью. Это допущеніе и подтвержденіе его опытнымъ путемъ принадлежатъ Вильгельму Гитторфу.

Мы воспользуемся разсужденіемъ Гитторфа въ примѣненіи къ электролизу хлорнаго золота Пулье. До начала электролиза растворъ по обѣ стороны перегородки одинаковъ.



Если допустить теперь, на примѣръ, что во время электролиза аніоны движутся вдвое быстрѣе катионовъ, то состояніе раствора тотчасъ же станетъ слѣдующимъ:

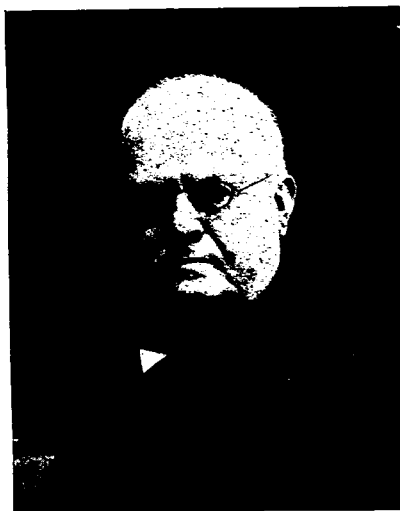


Въ то время какъ черезъ перегородку прошло два аніона, катионъ прошелъ только одинъ. Теперь растворъ на катодѣ бѣднѣе золотомъ (Au), чѣмъ растворъ на анодѣ. Именно, три атома золота 3Au выдѣлились на катодѣ и, слѣдовательно, не находятся больше въ растворѣ.

356. Гитторфъ (род. въ Боннѣ въ 1824 году, съ 1852 года профессоръ въ Мюнстерѣ) опубликовалъ свою первую работу по этому вопросу въ 1853 году, но его гипотеза, что іоны движутся не съ одинаковой скоростью, не встрѣтила сочувствія, несмотря на то, что онъ обосновалъ ее длиннымъ рядомъ опытовъ. Скорость іоновъ онъ опредѣлялъ помощью анализа растворовъ у электродовъ.

Нѣсколькими годами позже Клаузіусъ (§ 180) опубликовалъ свои новыя разсужденія относительно состоянія электролитическихъ жидкостей. Онъ допустилъ, что въ растворѣ солей молекулы соли находятся въ состояніи быстрого движенія (ср. ки-

Рис. 28i



Вильгельмъ Гитторфъ.

нетическую теорію газовъ, § 189) и, крѣпимъ, что онѣ равномерно движутся по всѣмъ направленіямъ. Часть молекулъ соли по этой теоріи распадается на іоны, даже, если токъ не проходитъ черезъ растворъ. Іоны эти также движутся по всѣмъ направленіямъ. Когда токъ не проходитъ чрезъ растворъ, состояніе раствора не мѣняется. Правда, при сталкиваніи молекулъ другъ съ другомъ безпрерывно получаютъ свободные іоны, но при встрѣчахъ они вновь соединяются въ молекулы. Но какъ скоро чрезъ жидкость идетъ токъ, къ скоростямъ іоновъ прибавляется новая слагающая, а именно у аніоновъ въ направленіи къ аноду, у катионовъ въ направленіи къ катоду. Вслѣдствіе этого іоны и собираются на погруженныхъ въ жидкость электродахъ.

Теорія Гитторфа и Клаузіуса сохранилась и въ послѣднія десятилѣтія развивалась дальше, особенно Сванте Арреніусомъ и Вильгельмомъ Оствальдомъ.

Но мы зашли бы слишком далеко, еслибы вздумали остановиться ближе на работах этих двух изслѣдователей.

357. Химическое дѣйствіе электрическаго тока находить очень многостороннее примѣненіе въ техникѣ.

Въ 1837 году М. Г. Якоби (род. въ Потсдамѣ въ 1801 году, ум. въ Петербургѣ въ 1874 году), который въ то время былъ профессоромъ строительнаго искусства въ Дерптѣ (Юрьевѣ), пришла въ голову мысль воспользоваться гальваническимъ выдѣленіемъ металловъ для техническихъ цѣлей. При осажденіи мѣди на мѣдномъ электродѣ онъ наблюдалъ, что отложившійся слой образовывалъ сплошную массу, которую можно было снять съ электродовъ, причемъ форма послѣднихъ воспроизводилась до мельчайшихъ подробностей. Якоби получалъ такимъ образомъ оттиски мѣдныхъ гравюрныхъ досокъ, монетъ, медалей, барельефовъ и т. д. Формы передавались превосходно, но естественно, „въ обратномъ видѣ“, т. е. тамъ, гдѣ предметъ имѣлъ возвышеніе, оттискъ имѣлъ углубленіе и наоборотъ. Поэтому Якоби сталъ дѣлать изъ воска или гипса оттиски той формы, которую нужно было скопировать. На такой обратной формѣ и осаждается мѣдь, послѣ того какъ поверхность формы дѣлается проводникомъ электрическаго тока при помощи натираній тонкимъ графитнымъ порошкомъ. Затѣмъ эту форму погружаютъ въ растворъ сульфата мѣди, обращая ее въ катодъ, анодомъ же служитъ мѣдная палочка. Если пропустить затѣмъ черезъ растворъ электрической токъ, то форма покрывается слоемъ мѣди, очень точно воспроизводящимъ предметъ, оттиснутый на формѣ. Сколько мѣди выдѣляется на катодѣ, столько же растворяется ея на анодѣ, такъ что крѣпость раствора соли не подвергается никакому измѣненію. Если желаютъ получить выдѣляющуюся мѣдь въ видѣ сплошной массы, то токъ долженъ быть слабымъ, т. е. металлъ долженъ выдѣляться медленно.

Этотъ процессъ, такъ называемая гальванопластика, былъ открытъ, кромѣ Якоби, также Спенсеромъ въ Англии. Обширное примѣненіе гальванопластики находить въ техникѣ иллюстрацій для полученія гальвано, т. е. мѣдныхъ копій рѣзбы на деревѣ, которую необходимо воспроизвести помощью типографскаго станка въ очень большомъ количествѣ.

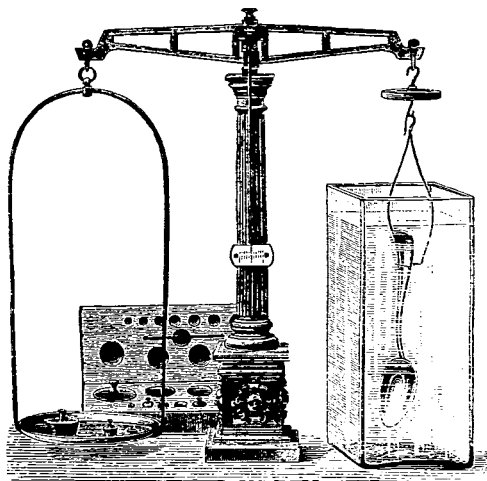
Тѣмъ же самымъ химическимъ процессомъ, на которомъ основана гальванопластика, можно пользоваться для полученія мѣдныхъ и стальныхъ гравюрныхъ досокъ. Доска, которая подлежить „рѣзбѣ“, покрывается лакомъ и на немъ вычерчиваютъ рисунокъ, „гравюру“ котораго желаютъ имѣть, удаляя лакъ металлическимъ остриемъ на темныхъ мѣстахъ рисунка. Приготовленную такимъ образомъ мѣдную пластинку помѣщаютъ въ растворъ сульфата мѣди и дѣйствуютъ слабымъ электрическимъ токомъ, причемъ пластинка служитъ анодомъ. На тѣхъ мѣстахъ, гдѣ лакъ былъ удаленъ, мѣдь растворяется и получается „гравюра“ соответствующаго рисунка.

Такъ называемая гальваностегія или, какъ обыкновенно говорятъ, гальванизированіе, состоитъ въ выдѣленіи на одномъ металлѣ тонкаго слоя другого металла; послѣдній нельзя снять, какъ при гальванопластикѣ, съ предмета подъ нимъ, такъ какъ онъ прочно держится на немъ. Такимъ образомъ, гальваностегія служитъ для золоченія, серебрянія, никкелированія и т. д. На рис. 282 представленъ процессъ серебрянія, при которомъ операція можетъ быть прервана, какъ скоро на соответствующихъ предметахъ осядетъ достаточно толстый слой серебра. Подобные вѣсы для

серебрения обыкновенно бывают снабжены приспособлением, при помощи котораго ток прерывается автоматически, когда выдѣлится слой серебра опредѣленнаго вѣса.

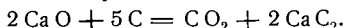
358. Электролизъ находить многообразное примѣненіе въ химической техникѣ и металлургіи. Электрометаллургическими процессами пользовался уже французскій физикъ А. Беккерель (1788—1878), а въ новѣйшія времена они находятъ примѣненіе особенно при добываніи и очисткѣ мѣди. Въ настоящее время находить важное примѣненіе также и электролизъ сухимъ путемъ, который впервые производилъ Дэви для

Рис. 282

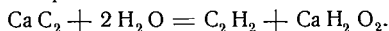


Вѣсы для серебрения.

полученія калия и натрія. Производится онъ въ электрической печи. На рис. 283 представлена печь Геру, которая служитъ для добыванія алюминія. Она состоитъ изъ желѣзнаго ящика, наполненнаго углемъ. Отрицательный полюсъ источника тока (динамоманины) находится въ соединеніи съ ящикомъ, а положительный съ пучкомъ угольныхъ палочекъ, которыя можно опустить въ ящикъ болѣе или менѣе глубоко. Чтобы пустить печь въ дѣйствіе, расплавляютъ въ ней сначала немного мѣди. Затѣмъ прибавляютъ криолитъ, легкоплавкій минералъ алюминія, а затѣмъ окись алюминія. Расплавленная окись разлагается электрическимъ токомъ такимъ образомъ, что металлъ собирается на днѣ печи, а кислородъ сжигаетъ угольныя палочки, образуя положительный полюсъ. Изъ химическихъ соединеній, получающихся въ электрической печи, слѣдуетъ назвать карбидъ кальція. Получаютъ его нагреваніемъ смѣси извести (окиси кальція) и угля. Уголь соединяется съ кислородомъ извести въ угольную кислоту и съ кальціемъ въ карбидъ кальція:

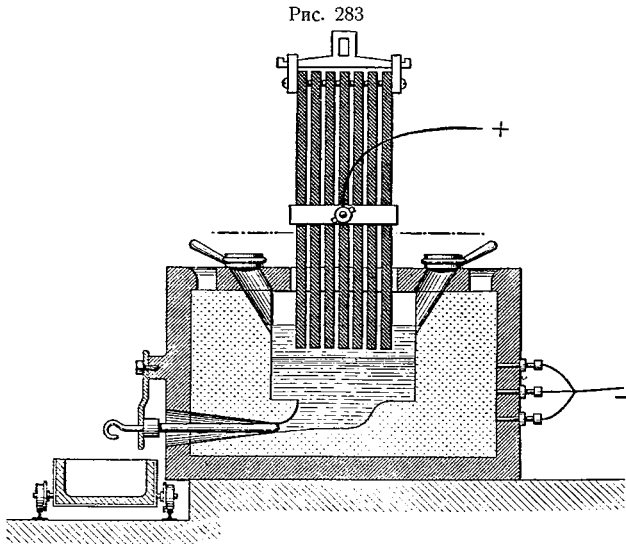


Когда карбидъ кальція приходитъ въ соприкосновеніе съ водою, то онъ разлагается съ образованіемъ гидрата окиси кальція и ацетилена:



359. Какъ раньше было упомянуто (§ 319), токъ элемента Вольты (мѣдь и цинкъ, погруженные въ разбавленную сѣрную кислоту) не остается постояннымъ, но очень быстро уменьшается вслѣдствіе поляризаціи пластинокъ. Теперь легко понять, какимъ образомъ можетъ быть устраненъ этотъ недостатокъ.

Если оба полюса элемента соединить проволокой, то токъ проходить не только черезъ эту проволоку, но также и сквозь жидкость элемента, а именно отъ цинка къ мѣди. Вслѣдствіе этого въ элементѣ имѣетъ мѣсто электролизъ. Въ элементѣ



Электрическая печь.

Вольты разлагается вода. Водородъ выдѣляется на мѣди. Поэтому, когда токъ элемента работает, пластинка мѣди покрывается слоемъ водорода. Мѣдная пластинка превращается нѣкоторымъ образомъ въ водородную пластинку. Но вслѣдствіе этого значительно уменьшается электродвижущая сила элемента. Кислородъ, который выдѣляется на цинковой пластинкѣ, не оказываетъ вреднаго вліянія, потому что онъ не выдѣляется въ свободномъ состояніи, а образуетъ соединеніе, окись цинка, которая растворяется въ прибавленной къ водѣ сѣрной кислотѣ.

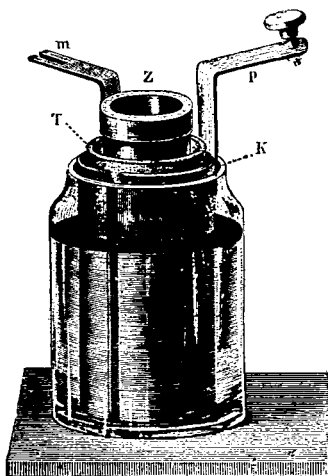
Самымъ раннимъ постояннымъ элементомъ является элементъ Даніэля (рис. 284). Онъ былъ составленъ Даніэлемъ (1790—1845), профессоромъ химіи въ King's College въ Лондонѣ, и состоитъ изъ мѣдной и цинковой пластинокъ, изъ которыхъ первая находится въ насыщенномъ растворѣ сульфата мѣди (мѣднаго купороса), вторая въ разбавленной сѣрной кислотѣ. На изображенномъ на рисункѣ элементѣ изогнутая цилиндрически мѣдная пластинка *K* помещается въ стеклянномъ сосудѣ, цинковая же пластинка *Z* въ пористомъ глиняномъ сосудѣ *T*. Чтобы вмѣстѣ съ тѣмъ на цинкъ не дѣйствовала разбавленная сѣрная кислота въ то время, когда черезъ элементъ не идетъ токъ, цинкъ покрывается ртутью (амальгамируется). Въ этомъ элементѣ происходитъ не разложеніе воды, какъ въ элементѣ Вольты, а разложеніе

мѣди Cu SO_4 . Мѣдь выдѣляется на мѣдной пластинкѣ, а остатокъ сѣрной кислоты на цинкѣ, гдѣ онъ производитъ образованіе сульфата цинка.

Элементъ Даніэля очень постояненъ. Амальгамированіе цинка производилось уже въ 1828 году В. Стурджуномъ. Даніэльъ для раздѣленія обѣихъ жидкостей элемента первоначально пользовался животной кожей, но купецъ Гассіотъ въ Лондонѣ обратилъ его вниманіе на то, что Беккерель вмѣсто животной кожи пользовался пористыми глиняными цилиндрами. Позже эти послѣдніе вошли въ употребленіе для всѣхъ постоянныхъ элементовъ.

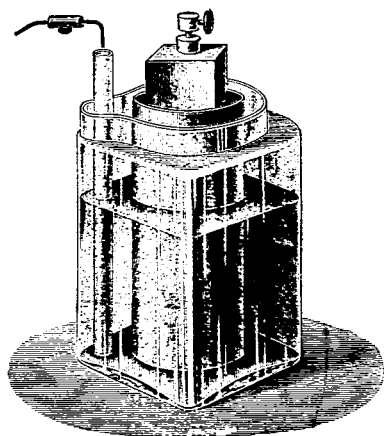
Второй постоянный элементъ былъ устроенъ въ 1839 году профессоромъ Гровомъ (1811—1896) въ Лондонѣ. Онъ замѣнилъ погруженную въ растворъ мѣднаго купороса мѣдь элемента Даніэля платиной, погруженной въ азотную кислоту. Элементъ этотъ сильнѣе, но съ другой стороны и значительно дороже элемента Даніэля.

Рис. 284



Элементъ Даніэля.

Рис. 285



Элементъ Лекланше.

Въ слѣдующемъ году Куперомъ и позже Бунзеномъ (I, § 442) было указано на то, что платина можетъ быть замѣнена ретортнымъ углемъ безъ замѣтнаго уменьшенія силы элемента. Этотъ, такъ называемый Бунзеновскій, элементъ состоитъ, слѣдовательно, изъ цинка въ разбавленной сѣрной кислотѣ и угля въ крѣпкой азотной кислотѣ. Когда элементъ въ дѣйстви, то на цинкѣ выдѣляется кислородъ, а на углѣ водородъ. Первый производитъ такъ же, какъ и въ другихъ элементахъ, образованіе сульфата цинка, второй же азотной кислотой окисляется въ воду. Изъ другихъ многочисленныхъ элементовъ, устроенныхъ съ теченіемъ времени, слѣдуетъ упомянуть только еще объ очень употребительномъ въ телеграфіи элементѣ Лекланше (рис. 285). Состоитъ онъ изъ цинковой палочки, погруженной въ насыщенный растворъ нашатыря ($\text{N H}_4 \text{Cl}$), и изъ угольной палочки, окруженной не жидкостью, а измельченнымъ пиролюзитомъ (Mn O_2). Когда элементъ въ дѣйстви, на цинкѣ выдѣляется хлоръ, что имѣетъ слѣдствіемъ образованіе хлористаго цинка. Группа

NH_4 распадается на NH_3 , аммиакъ, и H , водородъ. Первый выдѣляется въ воздухъ, второй пиролюзитомъ окисляется въ воду. Элементъ Лекланше не очень силенъ, но онъ имѣетъ то преимущество, что долго сохраняется неизмѣннымъ. Въ послѣднее время стали часто употреблять такъ называемые сухіе элементы, въ которыхъ жидкостью пропитываются надлежащія „массы“, напримѣръ, гипсъ, мѣлъ, глина и т. п., въ которыя уже вставляется цинкъ и уголь.

Читатель въ этой главѣ не найдетъ опредѣленія силы элемента. Объ этомъ будетъ изложено въ слѣдующей главѣ, въ которой также будутъ упомянуты и вторичные элементы или аккумуляторы.

Электромагнитизмъ

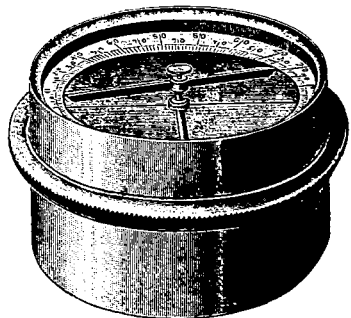
360. „Вся природа едина, несмотря на все многообразіе; однѣ и тѣ же силы дѣйствуютъ повсюду какъ въ живой, такъ и въ мертвой природѣ; различія суть не что иное, какъ разныя ступени развитія“. Вотъ въ немногихъ словахъ ядро натурфилософіи Шеллинга, имѣвшей въ началѣ XIX столѣтія огромное вліяніе на образованное общество въ Германіи и въ сѣверныхъ государствахъ.

Шеллингъ былъ исключительно философомъ и къ своему міровоззрѣнію онъ пришелъ чисто философскимъ путемъ. Въ началѣ XX столѣтія должно быть отмѣчено, какъ удачно были схвачены основныя мысли его натурфилософіи. Учение о единствѣ въ видимомъ многообразіи силъ природы, подкрѣпленное опытомъ и наблюденіемъ, является теперь путеводителемъ въ физическихъ изслѣдоваціяхъ; и въ изученіи живой природы теорія развитія также сдѣлалась плодотворной научной гипотезой.

Натурфилософія Шеллинга должна была вызвать у физиковъ стремленіе доказать путемъ опытовъ связь между силами природы. Тѣ, которые занимались натурфилософіей, въ области физики были лишь дилетантами. Поэтому ихъ утверждения во многихъ случаяхъ оказывались недопустимыми; и если часто встрѣчалось отрицательное отношеніе къ натурфилософіи, то нерѣдко это происходило вполне основательно. Тѣмъ не менѣе, натурфилософія подготовила въ природѣ.

Едвали что-либо другое оказало большее вліяніе на стремленія найти единство въ природѣ, чѣмъ открытіе зависимости между электричествомъ и магнитизмомъ. Натурфилософы давно предсказывали, что такая зависимость будетъ найдена. Тѣмъ не менѣе, когда открытіе было сдѣлано на самомъ дѣлѣ (въ 1820 году), оно произвело впечатлѣніе чего-то совершенно новаго, такъ какъ никто не ожидалъ, что зависимость будетъ такою именно, какою она оказалась въ самомъ дѣлѣ.—Гансъ Христіанъ Эрстедъ находилъ подъ вліяніемъ натурфилософіи, но ему съ юношескихъ лѣтъ

Рис. 286



Магнитная стрѣлка, помощьюъ которой Эрстедъ открылъ электромгнитизмъ.

почву, которая позволила наново единства и постепеннаго развитія

было ясно, что въ изслѣдованіи природы рѣшающее значеніе принадлежитъ опыту и наблюденію, а не умозрѣнію. Еще въ 1812 году онъ высказалъ убѣжденіе, что электричество и магнетизмъ родственны другъ другу, и къ этой мысли онъ постоянно возвращался и въ слѣдующіе годы, когда готовилъ свои лекціи по электричеству. Его догадки могли опираться на извѣстный фактъ, что молнія вліяетъ на магнитную стрѣлку. При ударѣ молніи магнитныя стрѣлки иногда становятся спокойными, а иногда даже перемагничиваются.

361. 21 июля 1820 года Эрстедъ разослалъ циркуляръ на латинскомъ языкѣ о своемъ открытіи. Въ виду того, что этотъ актъ представляетъ исходную точку новаго періода изслѣдованія природы — именно того періода, когда окончательно было завоевано доказательство единства силъ природы, — умѣстно будетъ привести здѣсь этотъ циркуляръ полностью, именно въ переводѣ (нѣмецкомъ) Гильберта, который былъ опубликованъ въ 66-мъ томѣ анналовъ Гильберта.

Опыты надъ дѣйствіемъ электрическаго конфликта на магнитную стрѣлку.

Г. Хр. Эрстеда, профессора физики въ Копенгагенѣ.

Первые опыты, касающіеся того, что я намѣренъ выяснитъ, были сдѣланы во время лекцій объ электриствѣ, гальванизмѣ и магнетизмѣ, читанныхъ мною минувшей зимой. Изъ этихъ опытовъ явствовало, повидимому, что подъ дѣйствіемъ гальваническаго прибора магнитная стрѣлка выводится изъ своего положенія и при томъ при замкнутой гальванической цѣпи, а не при незамкнутой; (послѣднее напрасно пытались произвести нѣсколько лѣтъ тому назадъ нѣкоторые извѣстные физики). Но такъ какъ эти опыты производились съ несильнымъ приборомъ, вслѣдствіе чего полученныя явленія были недостаточны для столь важнаго вопроса, то я взялъ себѣ въ помощники своего друга, юстицрата Эсмарха, чтобы еще разъ продѣлать опыты при помощи большого устроеннаго нами сообща гальваническаго прибора. При нашихъ опытахъ присутствовалъ также начальникъ мѣстнаго управленія Влейгель въ качествѣ участника и свидѣтеля. Сверхъ того свидѣтелями ихъ были давно пользующійся извѣстнымъ превосходнаго физика обергофмаршалъ Гаухъ, профессоръ естественной исторіи Рейнгардъ, профессоръ медицины Якобсонъ, прекрасный экспериментаторъ и знатокъ химіи, докторъ философіи Цейзе. Очень часто я экспериментировалъ и одинъ, но всякій разъ, когда я замѣчалъ новыя явленія, я ихъ снова воспроизводилъ въ присутствіи этихъ ученыхъ.

Въ разсказѣ о нашихъ опытахъ я опущу тѣ изъ нихъ, которые, хотя и привели къ открытію, однако, ничего не могутъ внести для бѣльшаго выясненія предмета послѣ того, какъ открытіе уже сдѣлано, и ограничусь лишь тѣми изъ нихъ, которые ярко обрисовываютъ сущность предмета.

Гальваническій приборъ, которымъ мы пользовались, состоитъ изъ 20 прямоугловыхъ мѣдныхъ сосудовъ, каждый длиною въ 12 дюймовъ, вышиною въ 12 дюймовъ и шириною въ 2½ дюйма. Каждый сосудъ снабженъ двумя мѣдными полосками, расположенными такимъ образомъ, что на нихъ поконяется мѣдная палочка, поддерживающая погруженную въ жидкость цинковую пластинку сѣдыяго сосуда. Вода, которой наполнялись сосуды, была на $\frac{1}{600}$ часть своего вѣса разбавлена сѣрной кислотой и такимъ же количествомъ азотной кислоты; погруженная въ каждый сосудъ часть цинковой пластинки представляла квадратъ со стороною въ 10 дюймовъ. Однако, можно пользоваться и меньшими приборами, лишь бы они были въ состояніи накалить проволоку.

Представимъ себѣ, что два противоположныхъ конца гальваническаго прибора соединены при помощи металлической проволоки. Послѣднюю я буду постоянно называть для краткости

соединительнымъ проводомъ или соединительной проволокой; процессъ же, который происходитъ въ этой проволоцѣ и вблизи нея, я буду называть электрическимъ конфликтомъ.

1. Прямолинейную часть этой соединительной проволоки располагаютъ горизонтально надъ обыкновенной свободно движущейся магнитной стрѣлкой; проволоку для этой цѣли можно какъ угодно гнуть безъ ущерба. Когда все это налажено, магнитная стрѣлка приходитъ въ движеніе и при томъ такъ, что подъ той частью соединительной проволоки, которая идетъ отъ отрицательнаго конца гальваническаго прибора, стрѣлка отклоняется къ западу. Если разстояніе проволоки отъ магнитной стрѣлки не превышаетъ $\frac{1}{4}$ дюйма, то это отклоненіе составляетъ около 45° . При большемъ разстояніи отклоненіе уменьшается въ такой же мѣрѣ, въ какой увеличивается разстояніе. Сверхъ того отклоненіе мѣняется съ измѣненіемъ силы прибора.

Соединительную проволоку можно повернуть къ востоку или къ западу, и если только она остается параллельною стрѣлкѣ, — то это не окажетъ никакого иного вліянія на результатъ, какъ только то, что отклоненіе уменьшится. Вышесказанное дѣйствіе, слѣдовательно, никоимъ образомъ не можетъ быть приписано силѣ притяженія, такъ какъ тотъ же самый полюсъ стрѣлки, который поворачивался къ соединительной проволоцѣ, когда послѣдняя находилась на востокъ отъ стрѣлки, поворачивается въ обратную сторону отъ нея, когда проволока находится къ западу отъ стрѣлки, что было бы невозможно, еслибъ эти отклоненія обуславливались притяженіемъ и отталкиваніемъ.

2. Соединительный проводъ можетъ состоять изъ нѣсколькихъ соединенныхъ проволокъ или металлическихъ полосъ. Природа металла не мѣняетъ результата, развѣ только, пожалуй, въ отношеніи величины. Съ одинаковымъ результатомъ мы пользовались проволоками изъ платины, золота, серебра, латуни и желѣза, а также оловянными и свинцовыми полосами и ртутью. Если прервать проводникъ водою, то дѣйствіе прекращается не совсѣмъ, если, конечно, вода занимаетъ длину лишь въ нѣсколько дюймовъ.

3. Соединительная проволока дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку сквозь стекло, металлы, дерево, воду, смолу, сквозь глиняные сосуды и сквозь камень, такъ какъ, когда мы помѣщали между ними стеклянную или металлическую пластинку или деревянную доску, то результатъ не псечался; даже въ томъ случаѣ, когда между ними помѣщалось все это одновременно, результатъ едва ослаблялся. Такъ же мало мѣнялся результатъ при помѣщеніи электрофора, доски изъ порфира и глиняной посуды, даже и наполненной водою. Наши опыты обнаружили, что указанное дѣйствіе не мѣняется и въ томъ случаѣ, если брать магнитную стрѣлку, помѣщенную въ латунную коробку, наполненную водою. Что при электричествѣ и магнитизмѣ до сихъ поръ не наблюдалось дѣйствіе черезъ всѣ указанные вещества, объ этомъ едва ли нужно говорить. Слѣдовательно, дѣйствія, которыя имѣютъ мѣсто при электрическомъ конфликтѣ, совершенно отличны отъ дѣйствій той или другой электрической силы.

4. Если соединительная проволока находится въ горизонтальной плоскости подъ магнитной стрѣлкой, то всѣ перечисленные дѣйствія происходятъ въ направленіи, противоположномъ тому направленію, какое имѣло мѣсто, когда она находилась въ горизонтальной плоскости надъ стрѣлкой; но въ остальномъ эти дѣйствія происходятъ совершенно одинаково. На востокъ отклоняется теперь тотъ полюсъ магнитной стрѣлки, подъ которымъ находится часть соединительной проволоки, куда прежде всего вступаетъ электричество отрицательнаго конца гальваническаго прибора.

Чтобы легче удержать это въ памяти, можно пользоваться слѣдующей формулой: полюсъ, надъ которымъ вступаетъ отрицательное электричество, поворачивается на западъ, полюсъ подъ которымъ оно вступаетъ, поворачивается на востокъ.

5. Если поворачивать соединительную проволоку въ горизонтальной плоскости такимъ образомъ, чтобы она составляла все большій и большій уголъ съ магнитнымъ меридіаномъ, то отклоненіе стрѣлки будетъ увеличиваться, если вращеніе проволоки будетъ происходить въ направленіи положенія отклоненной стрѣлки; оно, напротивъ, будетъ уменьшаться, если вращеніе будетъ происходить въ обратномъ направленіи.

6. Соединительная проволока, находящаяся въ горизонтальной плоскости, въ которой движется уравновѣшенная магнитная стрѣлка, и параллельная стрѣлкѣ, не отклоняетъ ея ни на востокъ, ни на западъ, а заставляетъ ее колебаться въ плоскости наклоненій такимъ образомъ

что полюсь, вблизи котораго въ проволоку вступает отрицательное электричество, опускается внизъ, если проволока находится съ западной стороны стрѣлки, и наоборотъ, поднимается вверхъ, если проволока находится съ восточной стороны стрѣлки.

7. Если помѣстить соединительную проволоку надъ стрѣлкой или подъ нею перпендикулярно къ плоскости магнитнаго меридіана, то стрѣлка остается въ покоѣ, за исключеніемъ того случая, когда проволока находится близко къ полюсу. Но въ этомъ случаѣ полюсь поднимается, если начало тока находится съ западной стороны проволоки, и опускается, если оно находится съ восточной стороны.

8. Если соединительная проволока помѣшена отвѣсно противъ одного изъ полюсовъ магнитной стрѣлки и близко къ нему и если верхній конецъ проволоки получаетъ электричество отъ отрицательнаго конца гальваническаго прибора, то этотъ полюсь поворачивается къ востоку; если же, напротивъ, проволока находится вблизи такой точки стрѣлки, которая лежитъ между полюсомъ и серединой стрѣлки, то эта точка отклоняется на западъ. Если верхній конецъ проволоки получаетъ электричество отъ положительнаго конца прибора, то явленія происходятъ въ обратномъ порядкѣ.

9. Если согнуть соединительную проволоку такимъ образомъ, чтобы она образовала у сгиба двѣ параллельныя части или двѣ параллельныя стороны, то магнитныя полюсы притягиваются или отталкиваются ею въ зависимости отъ обстоятельствъ. Проволоку помѣщаютъ противъ одного изъ полюсовъ стрѣлки такимъ образомъ, чтобы плоскость параллельныхъ сторонъ была перпендикулярна къ магнитному меридіану, и восточную сторону соединяютъ съ отрицательнымъ концомъ гальваническаго прибора, а западную съ положительнымъ концомъ. Въ этомъ положеніи ближайшій полюсь отталкивается либо на востокъ, либо на западъ, въ зависимости отъ положенія плоскости сторонъ. Если восточная сторона соединена съ положительнымъ концомъ прибора, а западная съ отрицательнымъ, то ближайшій полюсь притягивается. Если помѣстить плоскость вѣтвей перпендикулярно у точки между полюсомъ и серединой стрѣлки, то произойдутъ тѣ же явленія, но въ обратномъ порядкѣ.

10. Латунная стрѣлка, подвѣшенная подобно магнитной стрѣлкѣ, не приходитъ въ движеніе отъ дѣйствія соединительной проволоки. Равнымъ образомъ остается въ покоѣ при такихъ опытахъ и стрѣлка изъ стекла или каучука.

Все изложенное позволяетъ отмѣтить нѣкоторые важные пункты для объясненія этихъ явленій. Электрической конфликтъ обладаетъ способностью дѣйствовать только на магнитныя вещества. Всѣ немагнитныя тѣла, повидимому, пропускаютъ сквозь себя электрической конфликтъ; напротивъ, магнитныя тѣла или, вѣрнѣе, ихъ магнитныя частицы оказываютъ сопротивление прохожденію этого конфликта, въ силу чего они, отъ столкновенія борющихся силъ, могутъ приходить въ движеніе.

Что электрической конфликтъ не ограниченъ только проводящей проволокой, но, какъ сказано, распространяется еще въ окружающемъ пространствѣ довольно далеко, достаточно видно изъ вышеннеложенныхъ наблюденій.

Изъ сдѣланныхъ наблюденій можно также заключить, что этотъ конфликтъ распространяется по кругамъ; ибо безъ этого допущенія трудно понять, какимъ образомъ одна и та же часть соединительной проволоки, находясь подъ полюсомъ магнитной стрѣлки, заставляетъ стрѣлку поворачиваться къ востоку, находясь же надъ полюсомъ, отклоняетъ стрѣлку къ западу, круговое же движеніе происходитъ на противоположныхъ концахъ діаметра въ противоположныхъ направленіяхъ. Нужно сверхъ того думать, что круговое движеніе, въ связи съ поступательнымъ движеніемъ вдоль по проводнику, должно давать улиткообразную линію или спираль; это, однако, если я не ошибаюсь, ничего не прибавляетъ къ объясненію до сихъ поръ наблюденныхъ явленій.

Всѣ изложенныя здѣсь дѣйствія на сѣверный полюсь стрѣлки могутъ быть легко понятны, если допустить, что отрицательная электрическая сила или вещество пробѣгаетъ спираль, завитую вправо, и отталкиваетъ сѣверный полюсь, но не дѣйствуетъ на южный; такимъ же образомъ можно объяснить всѣ дѣйствія на южный полюсь, если приписать положительной электрической силѣ или матеріи движеніе въ обратномъ направленіи и способность оказывать дѣйствіе на южный, но не на сѣверный полюсь стрѣлки. Въ совпаденіи этого закона съ природой можно лучше убѣдиться путемъ воспроизведенія опытовъ, чѣмъ при помощи длинныхъ объ-

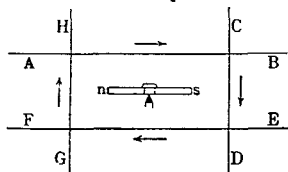
ясненій. Однако, разобратъся въ опытахъ легче всего при помощи фигуръ, указывающихъ путь, по которому идутъ электрическія силы въ соединительной проволоцѣ.

Къ сказанному я добавлю еще, что въ одномъ сочиненіи, вышедшемъ много лѣтъ тому назадъ, я показалъ, что теплота и свѣтъ суть электрическіе конфликты. Изъ вновь полученныхъ наблюдений можно заключить, что и въ этихъ явленіяхъ имѣетъ мѣсто движеніе по кругамъ; такое заключеніе, по моему мнѣнію, дастъ возможность объяснить тѣ факты, которые называютъ поляризацией свѣта.

Писано въ Копенгагенѣ 21 іюля 1820 года.

Этимъ Эрстедъ выяснилъ вліяніе электрическаго конфликта или, какъ говоримъ мы, электрическаго тока на магнитную стрѣлку. Пользуясь рисункомъ 287, легко обобщить результаты опытовъ Эрстеда. Магнитная стрѣлка ns можетъ вращаться въ горизонтальной плоскости. Когда токъ имѣетъ направленіе, указанное стрѣлками, то отдѣльныя части проводника обуславливаютъ вращеніе стрѣлки въ одномъ и томъ же направленіи. Гольтенъ, ученикъ Эрстеда, и его преемникъ въ качествѣ профессора физики въ Копенгагенскомъ университетѣ, далъ слѣдующее правило для отклоненій стрѣлки: если держать правую руку по направленію тока и при томъ такимъ образомъ, чтобы ладонь была обращена къ сѣверному полюсу стрѣлки, то послѣдняя отклоняется въ сторону большого пальца. Согласно правилу Ампера слѣдуетъ вообразить себѣ человѣческую фигуру, плывущую по направленію тока и смотрящую на стрѣлку. Для „пловца“ въ этомъ положеніи стрѣлка будетъ отклоняться влѣво.

Рис. 287



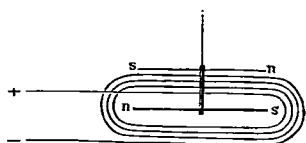
Опыты Эрстеда.

Теперь всюду стали пробовать воспроизвести опыты Эрстеда. При этомъ затрудненіе состояло въ томъ, что, по Эрстеду, токъ долженъ быть настолько силенъ, чтобы накаливать проволоку. Профессоръ Мунке въ Гейдельбергѣ полагалъ, что для полученія этихъ явленій необходимъ Вольтовъ столбъ въ 106 паръ; на дѣлѣ онъ, однако, нашель, что для этого достаточно и одной пары. Профессоръ Деларивъ въ Женевѣ произвелъ этотъ опытъ въ присутствіи болѣе значительнаго числа естествоиспытателей и съ этихъ поръ производство наблюдений надъ электромагнитизмомъ пошло успѣшнѣе.

Въ сентябрѣ того же года Швейггеръ (1779—1857) представилъ Обществу естествоиспытателей въ Галле приборъ, помощью котораго можно было обнаруживать очень слабыя токи. Издатель знаменитыхъ „Annalen der Physik und Chemie“, Поггендорффъ (1796—1877), самостоятельно построилъ такой же самый приборъ и въ главныхъ чертахъ придалъ ему ту форму, которая находится во всеобщемъ употребленіи и въ настоящее время. Существенное улучшеніе въ приборъ внесъ въ 1825 году Нобили, который замѣнилъ простую стрѣлку такъ называемой астатической двойной стрѣлкой. Двѣ магнитныя стрѣлки ns и sn (рис. 288) укрѣплены на общей оси (изъ латуни) такимъ образомъ, что параллельны, но направлены одинаковыми полюсами въ разныя стороны. Еслибы обѣ стрѣлки были совершенно одинаковой силы, то земной магнитизмъ не производилъ бы на двойную стрѣлку никакого вращательнаго дѣйствія. Но если, напротивъ, одна стрѣлка сильнѣе другой, то двойная стрѣлка устанавливается въ магнитномъ меридіанѣ. Двойная стрѣлка подвѣшивается на шелковинкѣ такъ, что одна изъ стрѣлокъ находится внѣ проволоочной

обмотки, а другая внутри ея. Когда по проволоки проходит токъ, то онъ отклоняетъ обѣ стрѣлки одинаковымъ образомъ. Правда, верхняя часть обмотки дѣйствуютъ на верхнюю стрѣлку въ направленіи противоположномъ въ сравненіи съ нижними частями обмотки. Эти два дѣйствія, однако, не уничтожаютъ другъ друга, такъ какъ первое (вслѣдствіе незначительности разстоянія стрѣлки отъ проволоки) гораздо сильнѣе, чѣмъ второе. Отклоняющее дѣйствіе тока въ приборѣ Швейггера и Поггендорффа значительно усиливается тѣмъ, что проволока окружаетъ стрѣлку

Рис. 288.



Астатическая стрѣлка.

не одинъ, а много разъ. Проволока, намотанная на деревянную катушку, обвита (изолирована) шелкомъ такъ, что электрическій токъ не можетъ непосредственно перейти изъ одного оборота обмотки въ другой, но долженъ пробѣжать всѣ обороты слоя по порядку. Такимъ образомъ, токъ дѣйствуетъ на стрѣлку отклоняющимъ образомъ въ каждомъ отдѣльномъ оборотѣ проволоки. Благодаря этому многократному повторенію дѣйствія, приборъ былъ названъ мультипликаторомъ. Изображеніе его можно найти на рис. 127 (стр. 123). Приборъ, помощью котораго можно обнаружить весьма слабыя токи, оказалъ очень значительныя услуги при многихъ важныхъ открытіяхъ (термоэлектрическіе токи, индуцированные токи).

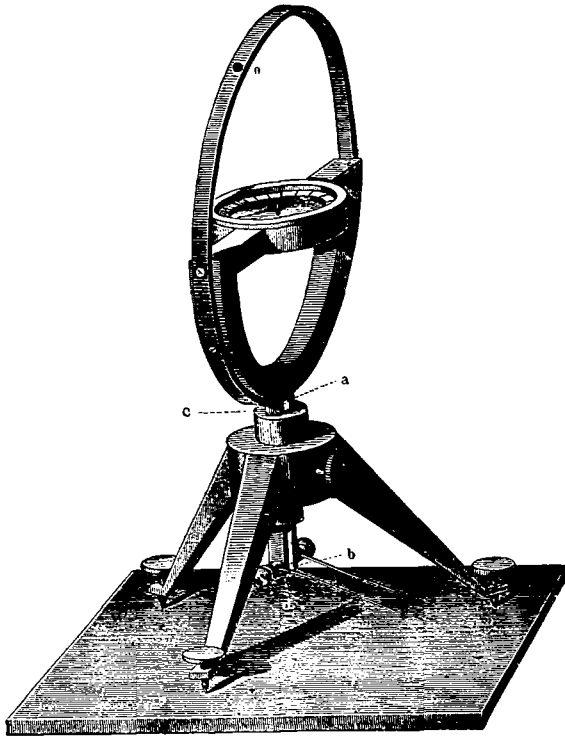
362. Изобрѣтатели мультипликатора не умѣли пользоваться этимъ приборомъ для измѣреній, такъ какъ имъ былъ неизвѣстенъ законъ, по которому токъ дѣйствуетъ на магнитный полюсъ. Французскіе физики Біо и Саваръ осенью 1820 года изслѣдовали это дѣйствіе и нашли, что въ каждой части проводящей проволоки токъ дѣйствуетъ на магнитный полюсъ съ силой, обратно пропорціональной квадрату разстоянія отъ магнитнаго полюса. Силѣ же тока магнитное дѣйствіе прямо пропорціонально.

Для измѣренія силы тока служить изобрѣтенный Пулье и усовершенствованный Веберомъ тангенсъ-гальванометръ. Въ существенномъ онъ состоитъ изъ мѣднаго кольца, которое можно включать въ цѣпь, по коей проходитъ измѣряемый токъ, и изъ стрѣлки склоненія, находящейся въ серединѣ мѣднаго кольца (рис. 289). Круговыя дѣленія на гальванометрѣ нанесены такимъ образомъ, что нуль приходится въ плоскости дѣленія кольца. Когда желаютъ пользоваться приборомъ, его устанавливаютъ такъ, чтобы стрѣлка указывала на нулевое дѣленіе, т. е. чтобы кольцо находилось въ магнитномъ меридіанѣ. Чѣмъ сильнѣе токъ, тѣмъ сильнѣе отклоняется стрѣлка, причемъ сила тока пропорціональна тангенсу угла отклоненія. Читатель, знакомый съ основами тригонометріи, легко убѣдится въ этомъ, если вспомнить, что стрѣлка принимаетъ направленіе равнодѣйствующей двухъ силъ, изъ которыхъ одна (сила земнаго магнетизма) дѣйствуетъ въ направленіи магнитнаго меридіана, а другая (отклоняющая сила тока) въ направленіи, перпендикулярномъ къ первому.

363. Въ ноябрѣ 1820 года Араго (I, § 286) сообщилъ объ очень важномъ наблюденіи. Онъ обмоталъ мѣдной проволокой стеклянную трубку, въ которую вставилъ стальной стержень. Когда онъ затѣмъ пропускалъ по мѣдной проволоки электрическій токъ, стальной стержень намагничивался. Проволоку, по которой проходитъ токъ, онъ поэтому разсматривалъ, какъ магнитъ, показавъ, что такая

провода, изъ какого бы металла она ни была сдѣлана, притягиваетъ желѣзныя опилки. Что вблизи электрическаго тока возникаетъ магнитное поле, можетъ быть обнаружено тѣмъ, что проволоку, по которой проходитъ токъ, пропускаютъ въ вертикальномъ направленіи сквозь листъ бумаги, посыпанной желѣзными опилками (рис. 290 и 291). Подъ вліяніемъ электрическаго тока опилки располагаются по окружностямъ вокругъ проволоки. Всѣ частички желѣза становятся маленькими магнитами, которые располагаются такимъ образомъ, что сѣверные полюсы обра-

Рис. 289



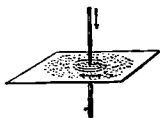
Тангенсъ-гальванометръ.

щены въ сторону, указываемую стрѣлками. Окружности, возникшія такимъ иутемъ указываютъ направленіе силовыхъ линій магнитнаго поля.

364. Дальнѣйшее объясненіе зависимости между магнетизмомъ и электричествомъ принадлежитъ Андре Маріи Амперу (род. въ 1775 году въ Лионѣ, еъ 1824 года профессоръ физики въ Collège de France, ум. въ 1836 году въ Марсели). Когда стало извѣстно объ открытіи Эрстеда, Амперъ тотчасъ предпринялъ обстоятельное изслѣдованіе новыхъ явленій и сейчасъ же сдѣлалъ важное открытіе, что

электрическіе токи производять другъ на друга механическое дѣйствіе. На рис. 292 изображенъ такъ называемый станокъ Ампера, служащій для наблюденія этихъ дѣйствій. Токъ входитъ въ мѣстѣ, указанномъ знакомъ \dagger , и выходитъ въ мѣстѣ, указанномъ знакомъ $-$. Въ y онъ переходитъ изъ неподвижнаго проводника v въ подвижный прямоугольникъ $abcd$, а въ x онъ переходитъ изъ прямоугольника въ неподвижный проводникъ t . Концы согнутой въ прямоугольникъ проволоки снабжены острѣями, которыя погружаются въ чашечки со ртутью. Благодаря этому, подвижный четырехугольникъ соединенъ съ неподвижными проводниками v и t , не встрѣчая въ то же время препятствій для своего движенія. Направленіе, по которому проходитъ токъ въ прямоугольникѣ, показано на рисункѣ стрѣлками.

Рис. 290

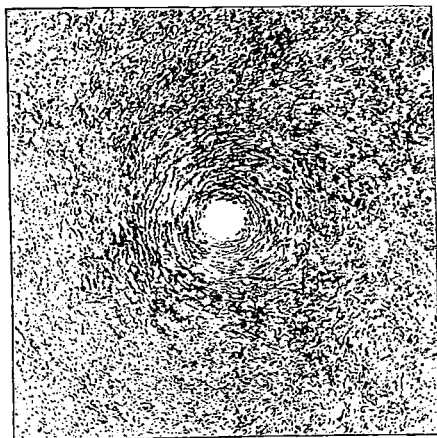


Магнитное поле вокруг проводника.

Амперъ приближалъ проволоку, по которой также проходилъ токъ, и замѣчалъ, что токи дѣйствуютъ другъ на друга, притомъ согласно слѣдующимъ правиламъ, которыя являются основами электродинамики:

- Два параллельныхъ проводника, по которымъ проходитъ токъ въ одномъ и томъ же направленіи, притягиваютъ другъ друга.
- Два параллельныхъ проводника, въ которыхъ токъ идетъ по противоположнымъ направленіямъ, отталкиваютъ другъ друга.
- Два непараллельныхъ проводника притягиваются, если токи въ нихъ идутъ или отъ этого мѣста. Эти проводники, наоборотъ, отталкиваютъ другъ друга, если въ одномъ токъ направленъ къ мѣсту пересѣченія, а въ другомъ отъ этого мѣста.

Рис. 291



Силковыя линіи магнитнаго поля.

Изъ этихъ явленій Амперъ вывелъ законъ о взаимодействіи двухъ электрическихъ токовъ. Этотъ законъ позволяетъ вычислить дѣйствіе, которое оказываютъ другъ на друга два любыхъ тока. Разработка этого важнаго предмета Амперомъ была такой основательной и исчерпывающей, что съ тѣхъ поръ въ ней не пришлось прибавить ничего существеннаго. Его превосходная работа была по справедливости поставлена наряду съ работой Ньютона о всеобщемъ притяженіи.

На подвижный проводникъ оказываетъ, конечно, вліяніе и магнитъ. Если ввести магнитъ въ подвижный проводникъ,

то начнетъ вращаться либо магнитъ, либо проводникъ, смотря по тому, что изъ нихъ подвижно и что удерживается неподвижно; вращеніе будетъ происходить до тѣхъ поръ, пока плоскость проводника не станетъ перпендикулярной къ оси

магнита и притомъ такъ, что „пловецъ“ Ампера будетъ имѣть сѣверный полюсъ магнита съ лѣвой стороны.

Далѣе Амперъ пропускать токъ по спиральной проволоки, по такъ называемому соленоиду (рис. 293). Послѣдній становился какъ бы магнитомъ съ сѣвернымъ и южнымъ полюсами и устанавливался въ направленіи магнитнаго меридіана. Дѣйствительно, если земля есть большой магнитъ, ось котораго имѣетъ то же направленіе, что и магнитный меридіанъ, то обороты соленоида, по которымъ проходитъ токъ, должны установиться перпендикулярно къ этому направленію.

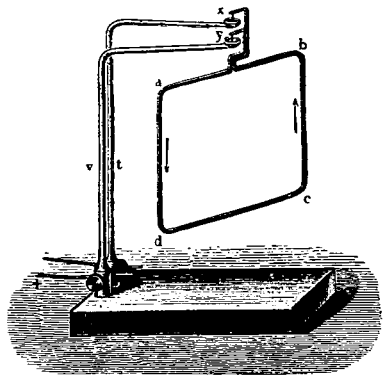
Два соленоида дѣйствуютъ другъ на друга точно такъ же, какъ два магнита. Это является простымъ слѣдствіемъ того закона, что два проводника, по которымъ проходитъ токъ, оказываютъ дѣйствіе другъ на друга.

Въ самомъ дѣлѣ, если помѣстить два соленоида другъ противъ друга (рис. 294), то будемъ имѣть два поставленныхъ другъ противъ друга круговыхъ тока, которые имѣютъ либо одно и то же направленіе, либо противоположныя. Въ первомъ случаѣ проводники притягиваются, во второмъ отталкиваются. На рис. 294 легко видѣть, что притяженіе имѣетъ мѣсто между „противоположными“ полюсами соленоидовъ, а отталкиваніе между „одинаковыми“ полюсами (*A* и *D* противоположные полюсы, *A* и *C* одинаковые).

Если одинъ изъ двухъ соленоидовъ замѣнить магнитомъ, то онъ произведетъ то же дѣйствіе, что и соленоидъ. Сѣверный полюсъ магнита притягиваетъ одинъ изъ полюсовъ соленоида и отталкиваетъ другой; соотвѣствующимъ образомъ дѣйствуетъ на соленоидъ и южный полюсъ. Для опредѣленія сѣвернаго полюса соленоида Амперъ даетъ слѣдующее правило: сѣверный полюсъ будетъ указываться большимъ пальцемъ, если держать правую руку по направленію тока, повернувъ ладонь къ оси соленоида. *A* и *C* представляютъ сѣверные полюсы (рис. 294), *B* и *D* южные.

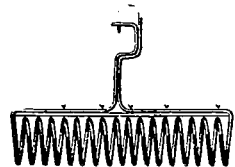
365. Амперъ предложилъ не считать магнетизмъ особой силой природы, такъ какъ каждый магнитъ можно считать носителемъ круговыхъ электрическихъ токовъ. Для удержанія представленія о молекулярныхъ магнитахъ нужно вообразить, что въ каждой молекулѣ магнита проходитъ круговой электрической токъ. Но при этомъ возникаетъ вопросъ о томъ, суще-

Рис. 292



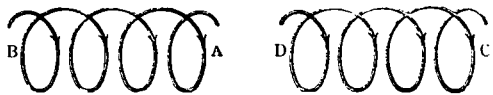
Станокъ Ампера.

Рис. 293



Соленоидъ.

Рис. 294



Притяженіе и отталкиваніе соленоидовъ.

ствуютъ ли уже молекулярные токи въ немагнитномъ желѣзѣ или они появляются

лишь тогда, когда желѣзо намагничиваютъ. Самъ Амперъ не высказывается по этому вопросу; безъ отвѣта онъ остается и въ дальнѣйшемъ. Дѣйствительно, эти непрерывно кружащіяся токи представляютъ большія затрудненія, такъ какъ электрической токъ постоянно выдѣляетъ тепло и не могъ бы существовать безъ потребления энергii. Амперъ полагаетъ, что молекулярные токи не встрѣчаютъ никакого сопротивленія и вслѣдствіе этого не выдѣляютъ тепла и не потребляютъ энергii. Если не считается съ этимъ затрудненіемъ, то всѣ магнитныя явленія могутъ быть объяснены дѣйствіемъ круговыхъ токовъ. Для объясненія земного магнетизма пришлось бы допустить существованіе токовъ, обѣгающихъ землю съ востока на западъ.

366. Замѣтивъ, что стальной стержень намагничивается, если онъ окруженъ электрическимъ токомъ, Араго въ дѣйствительности уже изобрѣлъ электромагнитъ.

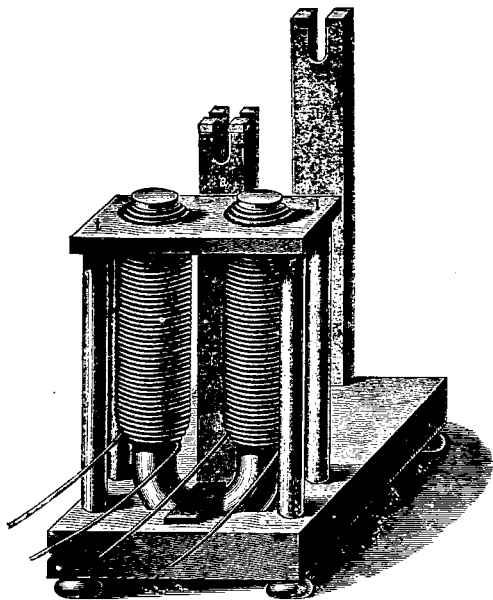
Рис. 295



Полюсы электромагнита.

Первые болѣе значительные электромагниты были устроены Стѣрджомомъ въ 1825 году. Они состояли изъ стержня мягкаго желѣза, обмотаннаго изолированной мѣдной проволокой. Когда по проволоку проходитъ токъ, желѣзный стержень намагничивается. На какомъ концѣ стержня получится сѣверный полюсъ и на какомъ южный, — это можно указать либъ на основаніи правила, приведеннаго въ § 364, либъ на основаніи слѣдующаго правила, даннаго также Амперомъ: тотъ конецъ, который, будучи обращенъ къ наблюдателю, обѣгается токомъ въ на-

Рис. 296



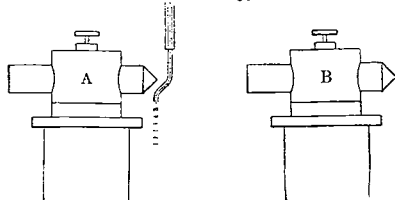
Электромагнитъ.

правленіи часовой стрѣлки, будетъ южнымъ полюсомъ (рис. 295). По прекращеніи тока желѣзный стержень сейчасъ же размагничивается. На рис. 296 изображенъ электромагнитъ, — именно, подковообразный. Въ физическомъ кабинетѣ политехшкума въ Копенгагенѣ сохраняется большой электромагнитъ, построенный Эрстедомъ въ 1847 году. Когда по его проволоочной обмоткѣ проходитъ токъ въ 8 амперовъ, то онъ намагничивается такъ сильно, что для отрыванія якоря, имѣющаго 32 фунта вѣса, необходимъ грузъ въ 3000 фунтовъ.

Пользуясь электромагнитомъ, можно получить сильное магнитное поле, — превосходное средство для изслѣдованія того, какъ относятся различныя вещества къ магнетизму. Такого рода изслѣдованія были впервые произведены Фарадѣемъ, который нашелъ, что въ большей или меньшей степени магнетизмъ

дѣйствуетъ на всѣ тѣла. Если подвѣсить желѣзную палочку на нити между полюсами электромагнита, то палочка располагается по линіи, соединяющей полюсы. Въ концѣ, обращенномъ къ сѣверному полюсу, получается, какъ извѣстно, южный полюсъ, а въ другомъ концѣ сѣверный. Съ никкелемъ, кобальтомъ, хромомъ, марганцемъ и платиной дѣло происходитъ такъ же, какъ и съ желѣзомъ. Поэтому перечисленные металлы относятся къ магнитнымъ. Но съ большинствомъ тѣлъ дѣло происходитъ совершенно иначе. Если, напримѣръ, подвѣсить между полюсами сильнаго подковообразнаго магнита висмутовую палочку, то она устанавливается перпендикулярно къ линіи, соединяющей полюсы. Такимъ образомъ, висмутъ отталкивается обоими полюсами. Подобныя тѣла Фарадэй назвалъ діаманитными. Само явленіе наблюдалось уже и раньше. Кромѣ висмута, діаманитными металлами являются, между прочимъ, цинкъ, олово, натрій, ртуть, свинецъ, серебро, мѣдь и золото. Діаманитны также и металлоиды, особенно сѣра, фосфоръ и уголь. Растворы солей магнитныхъ металловъ также

Рис. 297

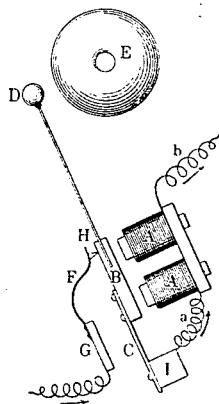


Магнитизмъ растворовъ.

магнитны, другія жидкости вообще діаманитны. На рис. 297 показано притягивающее дѣйствіе магнитнаго полюса на растворъ хлористаго желѣза. Фарадэй изслѣдовалъ также магнитныя свойства газовъ и нашелъ, что газы, вообще говоря, діаманитны. Изъ изслѣдованныхъ имъ газовъ только кислородъ является магнитнымъ.

367. Электромагнитъ обладаетъ весьма цѣннымъ свойствомъ—тѣмъ именно, что онъ можетъ быть сдѣланъ весьма сильнымъ. Сверхъ того, онъ обладаетъ еще тѣмъ цѣннымъ свойствомъ, что съ перерывомъ тока онъ мгновенно становится немагнитнымъ. Замыканіе и размыканіе тока можетъ очень быстро производиться автоматически при помощи пружины. Одно изъ приспособленій, служащихъ для этой цѣли, названо по имени изобрѣтателя, Вагнера во Франкфуртѣ (1799—1879), молоточкомъ Вагнера. Молоточекъ Вагнера составляетъ существенную часть электрическаго звонка. *АА* (рис. 298) представляетъ электромагнитъ. Токъ гальваническаго элемента проходитъ по прибору въ направлений, указанномъ стрѣлками. Но какъ только токъ замкнутъ, желѣзные сердечники электромагнита *АА* намагничиваются и притягиваютъ якорь *В*. Вслѣдствіе этого уничтожается прикосновеніе металлическаго острія и *В* и токъ прерывается. А такъ какъ электромагнитъ тогда уже не дѣйствуетъ, то пружиной *С* якорь оттягивается назадъ. Но при этомъ токъ снова замыкается въ *Н*, магнитъ снова притягиваетъ якорь и т. д. Такимъ образомъ, шарикъ *Д*, соединенный съ якоремъ, качается впередъ и назадъ и постоянно ударяетъ въ колокольчикъ *Е*. Молоточекъ Вагнера, какъ мы увидимъ, играетъ важную роль въ индукціонныхъ приборахъ.

Рис. 298

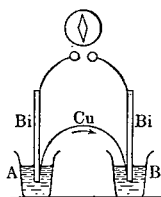


Электрическій звонокъ.

Термоэлектричество

368. Уже нѣсколько разъ упомянутый нѣмецкой физикъ Зеебекъ (род. въ 1770 году въ Ревель, ум. въ 1831 году въ Берлинѣ), другъ Эрстеда, съ помощью мультипликатора сдѣлалъ въ 1821 году замѣчательное открытіе. Онъ положилъ мѣдную пластинку на пластинку сурьмы и соединилъ пластинки съ обмоткой мультипликатора посредствомъ мѣдной проволоки. Когда онъ сжималъ рукой металлическія пластинки, возникалъ электрической токъ. Если же, напротивъ, онъ сжималъ пластинки какимъ-нибудь инымъ способомъ, т. е. не касаясь ихъ рукою, то тока не получалось. Зеебекъ тотчасъ понялъ, что причиной возникновенія тока является теплота руки. Онъ нашелъ, что токъ возникаетъ въ томъ случаѣ, когда мѣста прикосновенія различныхъ металловъ имѣютъ неодинаковую температуру. Для наблюденія этого явленія онъ построилъ приборъ, изображенный на рис. 299.

Рис. 299

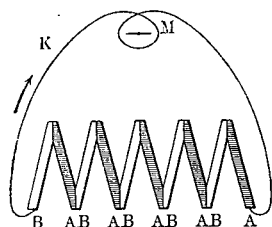


Электричество отъ теплоты.

Изъ двухъ сосудовъ *A* и *B* одинъ содержитъ холодную воду, другой теплую. Двѣ висмутовые палочки *Bi* соединены припаянной мѣдной проволокой *Cu*. Два спая имѣютъ различную температуру, вслѣдствіе чего возникаетъ токъ, имѣющій указанное стрѣлкой направление. Въ болѣе теплыхъ спаяхъ токъ идетъ отъ мѣди къ висмуту. Токъ указывается мультипликаторомъ, обмотка котораго соединена съ висмутовыми палочками. Если поддерживать температуры въ *A* и *B* неизмѣнными, то и сила тока не мѣняется.

Пока разность температуръ въ *A* и *B* незначительна, сила тока пропорціональна разности температуръ. Для большихъ разностей температуръ, когда, напримѣръ, спай нагревается пламенемъ, эта пропорціональность, однако, уже не имѣетъ мѣста. Для нѣкоторыхъ металловъ, напримѣръ, для желѣза и мѣди, токъ, начиная съ нѣкоторой определенной температуры, уменьшается и въ концѣ концовъ совершенно прекращается. Если продолжать нагреваніе дальше, то возникаетъ токъ обратнаго направленія. Если спаять желѣзную и мѣдную проволоки и въ одномъ спай поддержать температуру 0° , а другой спай нагревать, то окажется, что при 275°C токъ имѣетъ наибольшую силу, а при 550° онъ прекращается. При температурахъ выше 550° онъ идетъ въ обратномъ направленіи.

Рис. 300



Термоэлектрическая батарея.

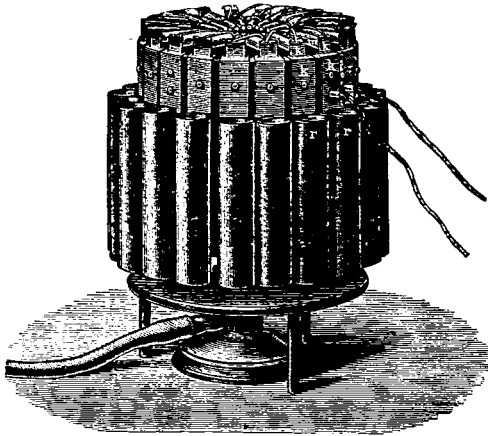
Термоэлектрическое дѣйствіе различно для различныхъ металловъ. Сильнѣе всего оно проявляется въ висмутѣ и сурьмѣ. Если спаять рядъ сурьмяныхъ (*A*) и висмутовыхъ (*B*) палочекъ, то онѣ образуютъ термоэлектрическую батарею или такъ называемый термоэлектрической столбикъ. Если будутъ нагрѣты, напримѣръ, обозначенные на рис. 300 черезъ *AB* спая, то въ этихъ спаяхъ токъ будетъ идти отъ висмута къ сурьмѣ. Электродвижущая сила гальваническаго элемента обуславливается химическимъ процессомъ, электродвижущая сила термоэлектрическаго элемента теплотой.

Примѣненія термоэлектрическаго столбика были уже указаны въ §§ 136, 137 и 149.

Впрочемъ, электродвижущая сила термоэлектрическаго элемента незначительна. Требуется большое число элементовъ (напримѣръ, 40 элементовъ изъ нейзильбера и сѣрнистой мѣди), чтобы получить токъ, достаточный для разложенія воды.

Термоэлектрическіе столбики для полученія болѣе сильныхъ токовъ были построены въ послѣднее время Кламономъ, Ноэ и Гюльхеромъ. Элементы столбика Ноэ (рис. 301) состоятъ изъ нейзильбера и сплава сурьмы съ цинкомъ. Столбъ

Рис. 301



Термоэлектрическій столбикъ Ноэ.

изъ 20 такихъ элементовъ обладаетъ, приблизительно, такой же электродвижущей силой, какъ 1 элементъ Бунзена.

Во всѣхъ термоэлектрическихъ элементахъ въ электричество превращается лишь незначительная часть сообщенной теплоты. До настоящаго времени еще не удалось въ большомъ масштабѣ дешево превращать въ электричество теплоту, полученную отъ сжиганія угля или газа.

Законъ Ома

369. Какъ измѣряется сила электрическаго тока, указывалось выше. Но токъ не характеризуется вполнѣ одной только силой. Именно, на силу тока въ сильной степени вліяетъ проводникъ, по которому идетъ токъ. Этотъ проводникъ всегда представляетъ извѣстное сопротивленіе току. Изслѣдоваше этихъ соотношеній предпринималось уже давно различными изслѣдователями, напримѣръ, Дэви; но окончательно они были выяснены впервые Георгомъ Симономъ Омомъ.

Омъ, сынъ слесаря, родился въ 1787 году въ Эрлангенѣ. Онъ посѣщалъ университетъ родного города, гдѣ сдѣлался приватъ-доцентомъ. Вскорѣ онъ, однако, оставилъ академическое поприще, чтобы принять должность преподавателя реального училища въ Бамбергѣ. Съ 1817 года онъ былъ старшимъ учителемъ въ гимназіи въ Кельнѣ, а съ 1826 года учителемъ въ военной школѣ въ Берлинѣ. Съ 1833 до

1841 года онъ былъ профессоромъ въ политехнической школѣ въ Нюрнбергѣ, а съ 1841 до своей смерти (1854) онъ былъ профессоромъ физики въ мюнхенскомъ университетѣ.

Первая работа Ома о сопротивленіи, оказываемомъ току металлами, появилась въ 1826 году. Въ своихъ первыхъ опытахъ онъ поступалъ слѣдующимъ образомъ.

Рис. 302



Георгъ Симонъ Омъ.

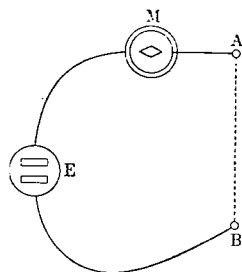
Отъ гальваническаго элемента E (рис. 303) мѣдныя проволоки идутъ къ чашечкамъ съ ртутью A и B . Въ одну изъ проволокъ введенъ мультипликаторъ M . Затѣмъ между A и B вводились различные проводники и на мультипликаторѣ наблюдалась сила тока.

Этимъ путемъ онъ могъ сравнить проводимость различныхъ проволокъ. Если проволока представляла дурной проводникъ, то получался слабый токъ, если же, напротивъ, она представляла хоропій проводникъ, то возникалъ сильный токъ. Неудобствомъ въ этихъ опытахъ являлось то обстоятельство, что элементъ, вслѣдствіе поляризаціи (§ 320), дѣйствовалъ непостоянно. По совѣту Поггендорфа Омъ поэтому замѣнилъ гальванической элементъ термоэлектрическимъ изъ висмута и мѣди. Разность температуръ обоихъ спаевъ поддержи-

валась постоянной тѣмъ, что одинъ спай погружался въ тающій ледъ, а другой въ кипящую воду.

370. Въ качествѣ единицы мѣры для измѣренія сопротивленій Омъ пользовался довольно толстой мѣдной проволокой длиною въ 4 дюйма. Когда онъ вводилъ эту проволоку между A и B , онъ получалъ токъ, который указывался опредѣленнымъ отклоненіемъ стрѣлки мультипликатора. Вводя другія проволоки, по отклоненію стрѣлки можно было судить, насколько токъ сталъ сильнѣе или слабѣе, или, другими словами, по отклоненію стрѣлки можно было видѣть, насколько введенная проволока проводитъ токъ лучше или хуже „нормальной мѣдной проволоки“.

Рис. 303



Опытъ Ома.

Все равно — приписать ли различнымъ металламъ различную способность проводить токъ или различное сопротивленіе, которое они оказываютъ току. Если проволоку, введенную въ цѣпь, замѣнить другой проволокой и если токъ вслѣдствіе этого упадетъ на половину первоначальной силы, то первая проволока обладаетъ вдвое большей проводимостью или же вторая проволока обладаетъ вдвое большимъ сопротивленіемъ.

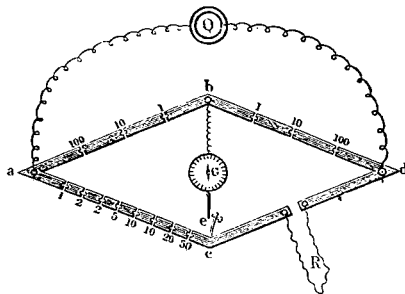
Такимъ образомъ, Омъ, измѣряя проводимость, вмѣстѣ съ тѣмъ измѣрялъ сопротивление. Изъ этихъ измѣреній были выведены слѣдующіе общіе законы: 1. Сопротивленіе прямо пропорціонально длинѣ проволоки. Изъ двухъ проволокъ изъ одного и того же металла и одинаковаго поперечнаго сѣченія, изъ коихъ одна въ пять разъ длиннѣе другой, болѣе длинная проволока представляетъ въ пять разъ большее сопротивление, чѣмъ болѣе короткая. 2. Сопротивленіе обратно пропорціонально поперечному сѣченію. Если поэтому поперечное сѣченіе проволоки увеличивается въ такомъ же отношеніи, какъ и длина, то сопротивление остается одинаковымъ при всякой длинѣ. Двѣ проволоки изъ одного и того же металла длиною одна въ 20 м, другая въ 100 м, обладаютъ одинаковымъ сопротивленіемъ, если поперечное сѣченіе первой равно 4 кв.мм, а поперечное сѣченіе другой 20 кв.мм.

Въ качествѣ единицы мѣры сопротивленія току Якоби (§ 357) пользовался сопротивленіемъ мѣдной проволоки длиною въ 1 м и съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 кв.мм. Позднѣе въ употребленіе вошла единица Сименса. Она представляетъ сопротивление столбика ртути въ 1 м длиною и съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 кв.мм. Въ настоящее время единицей сопротивленія служитъ „Омъ“—сопротивленіе столба ртути въ 106·3 см длиною и въ 1 кв.мм поперечнаго сѣченія (при 0°).

371. Чтобы измѣрить сопротивление проводника, вводятъ въ цѣпь постоянного элемента этотъ проводникъ и тангенсъ-гальванометръ и наблюдаютъ отклоненіе стрѣлки. Затѣмъ удаляютъ проводникъ и на его мѣсто вводятъ постепенно столько „омовъ“, чтобы стрѣлка отклонилась на такой же уголъ.

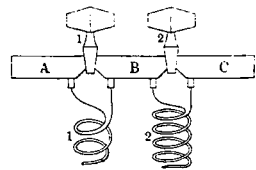
Приборъ, которымъ болѣею частью пользуются для измѣренія сопротивленій, есть Витстоновъ мостикъ. Рис. 304 (схематическій) показываетъ устройство моста,

Рис. 304



Витстоновъ мостикъ.

Рис. 305



Спирали сопротивленій.

соединеннаго съ реостатомъ Сименса. Токъ элемента Q въ точкѣ a развѣтвляется и идетъ къ d частью черезъ b, частью черезъ c. Въ мѣстахъ, указанныхъ на рисункѣ числами, можно вводить въ латунный проводникъ сопротивленія въ 1, 2, 5, 10, 20, 50 и 100 омовъ. Пусть R будетъ проводникъ, сопротивление коего нужно опредѣлить. Какимъ образомъ производится включеніе и выключеніе сопротивленій, видно на рис. 305. Сопротивленіями служатъ спиральныя проволоки, по которымъ токъ долженъ проходить, когда отдѣльныя части A, B, C цѣпи соединены только посредствомъ этихъ спиралей, т. е. когда отсутствуетъ второе хоронно проводящее (безъ сопротивленія) соединеніе, достигаемое всаживаніемъ нител-

селей 1, 2 между отдѣльными частями провода. Включеніе сопротивленій достигается, такимъ образомъ, выниманіемъ интеселей.

Соединеніе bc , въ которое включенъ гальванометръ, и есть самый мостикъ. Въ точкѣ e мостикъ прерванъ и здѣсь онъ можетъ замыкаться помощью клавиши. Если включенныя въ ab и bd сопротивленія относятся другъ къ другу, какъ сопротивленія, введенныя въ ac и cd , то токъ не пойдетъ по мостику. Когда слѣдовательно, первыя два сопротивленія равны, равны и послѣднія, если въ мостикъ и въ гальванометръ, введенномъ въ мостикъ, тока нѣтъ. Для измѣренія сопротивленія проводника R приходится, такимъ образомъ, только ввести въ ab и bd два одинаковыхъ сопротивленія и затѣмъ выниманіемъ штепселей включить въ ac столько „омовъ“, чтобы въ мостикъ не было тока. Тогда сопротивленіе R будетъ такъ же велико, какъ и сопротивленіе, которое было включено въ ac выниманіемъ штепселей.

Сопротивленіе проволоки длиною въ 1 м и съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 квмм, выраженное въ омахъ, есть такъ называемый коэффициентъ сопротивленія соответствующаго металла. Онъ равенъ для

серебра	0·016	жельза	0·1 ¹
чистой мѣди	0·016	платины	0·1
обыкновенной мѣди	0·025	свинца	0·2
кремнистой бронзы	0·02	нейзильбера	0·2
алюминія	0·03	ртути	0·95.
цинка	0·056		

372. При изелѣдованіяхъ сопротивленія проводниковъ возникаетъ вопросъ о томъ, въ какой зависимости другъ отъ друга находятся электродвижущая сила источника электричества, сила полученнаго тока и преодолеваемое токомъ сопротивленіе. Источникъ электричества, которымъ пользовался Омъ, состоялъ изъ термоэлектрическаго элемента, дѣйствующаго съ постоянной электродвижущей силой, если спаи поддерживаются при неизмѣнной температурѣ, напримѣръ, одинъ при 0°, а другой при 100°. Сила тока указывается отклоненіемъ магнитной стрѣлки, а сопротивленіе опредѣляется сравненіемъ его съ „нормальнымъ сопротивленіемъ“ (ср. § 370).

Изъ множества опытовъ, произведенныхъ Омомъ, получилось, что зависимость между тремя поименованными величинами чрезвычайно проста. При постоянной электродвижущей силѣ сила тока обратно пропорціональна сопротивленію. Когда сопротивленіе удваивается, сила тока падаетъ наполовину и т. д. Когда измѣняется электродвижущая сила, то въ томъ же отношеніи измѣняется и сила тока. Законъ Ома, въ полной формѣ, такимъ образомъ, гласитъ: Сила тока прямо пропорціональна электродвижущей силѣ и обратно пропорціональна сопротивленію или иначе: мѣра электродвижущей силы есть произведеніе силы тока на сопротивленіе.

373. Опредѣливъ раньше единицу сопротивленій (омъ), мы теперь установимъ единицу силы тока и единицу электродвижущей силы.

Единица силы тока называется амперомъ. Токъ силою въ 1 единицу выдѣляетъ въ одну минуту 7 (точнѣе 6·96) *кбсм* водорода или 10·440 *кбсм* гремучаго газа. Такимъ образомъ, токъ въ 10 амперъ есть такой токъ, который выдѣляетъ въ минуту 70 *кбсм* водорода.

Единица электродвижущей силы получается изъ единицъ сопротивленій и силы

тока при посредствѣ закона Ома. Это есть электродвижущая сила такого источника электричества, который въ цѣпи съ сопротивленіемъ въ 1 омъ даетъ токъ силою въ 1 амперъ. Такая единица называется вольтъ. Съ этими названіями единицъ силы тока, сопротивленія и электродвижущей силы можно выразить законъ Ома слѣдующимъ образомъ:

$$\text{амперы} = \frac{\text{вольтамъ}}{\text{омы}}$$

или

$$\text{амперы} \times \text{омы} = \text{вольтамъ.}$$

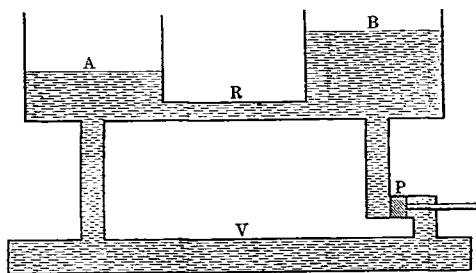
Названія амперъ, омъ и вольтъ были установлены въ 1881 году на международномъ конгрессѣ въ Парижѣ, въ честь Ампера, Ома и Вольты. Амперъ особенно занимался изслѣдованіемъ силы электрическаго тока, Омъ работалъ преимущественно надъ измѣреніемъ сопротивленій, а Вольтъ въ свое время ввелъ названіе „электродвижущей силы“.

374. Для замкнутого цикла, въ которомъ токъ идетъ по проводу отъ одного полюса элемента къ другому полюсу и по самому элементу опять возвращается къ первому полюсу, законъ Ома легко объяснить. Токъ вездѣ одинаковъ, а сопротивление частью внутреннее (въ элементѣ), частью внѣшнее (въ проводѣ). Электричество приводится въ движеніе электродвижущей силой элемента. Вольтъ говорилъ, что электродвижущая сила обуславливаетъ разность напряженій на полюсахъ элемента, и эта разность напряженій гонитъ электричество отъ положительнаго полюса къ отрицательному.

Электрическій токъ можно сравнить съ теченіемъ воды, происходящимъ отъ того, что вода падаетъ изъ мѣста съ большимъ давленіемъ въ мѣсто съ меньшимъ давленіемъ. Въ сосудѣ, имѣющемъ форму, изображенную на рис. 306, вода течетъ изъ *B* по трубкѣ *R* въ *A* до тѣхъ поръ, пока въ *B* давленіе остается большимъ, чѣмъ въ *A*. Эта разность давленій соотвѣтствуетъ разности напряженій электрическаго тока. Нагнетательный насосъ *P* можетъ служить для того, чтобы поддерживать разность давленій постоянной. Когда насосъ накачиваетъ въ *B* столько же воды, сколько ея вытекаетъ изъ *B* въ *A*, то высота воды въ *B* остается неизмѣнной, и если изъ *A* вытекаетъ въ *V* столько же воды, сколько протекаетъ черезъ *R*, то возникаетъ постоянное теченіе воды, которое можно сравнить съ постояннымъ электрическимъ токомъ. Нагнетательный насосъ соотвѣтствуетъ электродвижущей силѣ, которая въ постоянномъ элементѣ дѣйствуетъ равномерно.

375. Законъ Ома дѣйствителенъ и для части цѣпи. Пока въ проволоку *AB* (рис. 307) идетъ токъ, между *A* и *B* должна существовать разность напряженій, и если напряженіе въ *A* больше, чѣмъ въ *B*, то токъ идетъ въ направленіи отъ *A* къ *B*. Если и теперь сравнить электрическій токъ съ теченіемъ воды, которая идетъ по

Рис. 306



Круговой токъ воды.

трубокъ, то легко видѣть, что вода лишь тогда течетъ изъ *A* въ *B*, когда давленіе въ *A* больше, чѣмъ въ *B*. Давленіе, слѣдовательно, вдоль по пути тока уменьшается. Это легко видѣть на рис. 308. Вода течетъ изъ *F* по трубкѣ *AB*. Давленія, которыя гонять воду, указаны выотою столбовъ воды въ трубкахъ *C*, *D* и *E*. Давленіе равномерно уменьшается. Точно такъ же происходитъ и съ электрическимъ напряженіемъ въ однородной металлической проволокѣ, по которой проходитъ электрический токъ. Электродвижущая сила источника электричества вызываетъ

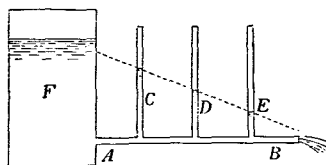
Рис. 307



Токъ изъ *A* въ *B*.

разность напряженій, которая дѣйствуетъ вдоль всего провода и притомъ такъ, что въ равноудаленныхъ точкахъ разности напряженій одинаковы. Если же, напротивъ, проволока, по которой идетъ токъ, неоднородна, то напряженіе убываетъ не пропорціонально длинѣ. Если, напримѣръ, часть проволоки имѣетъ вдвое меньшее поперечное сѣченіе, то напряженіе въ этомъ мѣстѣ падаетъ вдвое скорѣе. Въ этомъ мѣстѣ сопротивление вдвое больше, чѣмъ тамъ, гдѣ поперечное сѣченіе больше, и такъ какъ токъ по всему проводу обладаетъ одной и той же силой, то необходима вдвое большая разность напряженій, чтобы токъ могъ преодолѣть двойное сопротивление.

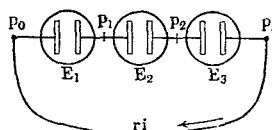
Рис. 308



Уменьшеніе давленія на пути тока.

Примѣръ 1. E_1 , E_2 и E_3 (рис. 309) представляютъ три элемента Бунзена, изъ коихъ каждый даетъ разность напряженій въ 1·8 вольта, когда проводъ прерванъ, т. е. когда токъ отсутствуетъ. Общая электродвижущая сила этихъ трехъ элементовъ равна 5·4 вольта. Сопротивленіе каждаго элемента въ отдѣльности составляетъ 0·1 ома; слѣдовательно, общее сопротивленіе этихъ трехъ элементовъ равно 0·3 ома. Допустимъ, что сопротивленіе во внѣшнемъ проводѣ отъ p_0 до p_3 равно 1·5 ома. Тогда, по закону Ома, сила тока будетъ $\frac{5\cdot4}{1\cdot8} = 3$ амперамъ. Если теперь же-

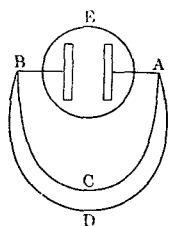
Рис. 309



Потеря напряженія.

лаютъ знать, какъ велика разность напряженій между p_0 и p_3 , когда токъ замкнутъ, то нужно примѣнить законъ Ома къ этой части цѣпи. Сила тока равна 3 амперамъ, сопротивленіе 1·5 ома; слѣдовательно, разность напряженій будетъ $3 \times 1\cdot5 = 4\cdot5$ вольта.

Рис. 310



Развѣтвленіе тока.

Электродвижущая сила этой батареи, какъ сказано, равна 5·4 вольта. А такъ какъ мы теперь нашли, что разность напряженій отъ p_0 до p_3 равна 4·5 вольта, то по самой батарее будетъ проходить токъ, обладающій отъ p_3 до p_0 разностью напряженій въ 0·9 вольта. Это совпадаетъ съ произведеніемъ изъ силы тока (3 ампера) на сопротивленіе (0·3 ома), которое равно 0·9 вольта.

Примѣръ 2. E (рис. 310) есть гальваническій элементъ. Токъ идетъ отъ одного полюса къ другому по раздвоенному проводу. Пусть сопротивленіе въ проводѣ *ACB* будетъ m_1 ,

а сопротивление въ проводѣ ADB будетъ m_2 . Сравнивается, какъ дѣйствуетъ двойной проводъ и какимъ сопротивленіемъ долженъ обладать одинъ проводъ между A и B , чтобы дѣйствовать такъ же, какъ двойной.

Чтобы отвѣтить на эти вопросы, мы должны вспомнить, что сила тока въ элементѣ равна суммѣ силъ тока въ обоихъ проводахъ. Это является простымъ слѣдствіемъ того, что на пути тока электричество не можетъ скопляться. Если мы обозначимъ разность напряженій между A и B черезъ e , то согласно закону Ома силы тока въ обоихъ проводахъ будутъ

$$s_1 = \frac{e}{m_1} \text{ и } s_2 = \frac{e}{m_2}.$$

Общая сила тока, идущаго по обоимъ проводамъ, будетъ, слѣдовательно,

$$s = s_1 + s_2 = \frac{e}{m_1} + \frac{e}{m_2}.$$

Если соединить A и B одной проволокой, сопротивление которой n такъ же велико, какъ оба сопротивления m_1 и m_2 вмѣстѣ, то сила тока будетъ

$$s = \frac{e}{n}.$$

Слѣдовательно,

$$\frac{e}{n} = \frac{e}{m_1} + \frac{e}{m_2}$$

или

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}.$$

Но величина, обратная сопротивленію, есть проводимость. Такимъ образомъ, общая проводимость нѣсколькихъ проволокъ получится сложеніемъ проводимостей отдѣльныхъ проволокъ.

Индукція

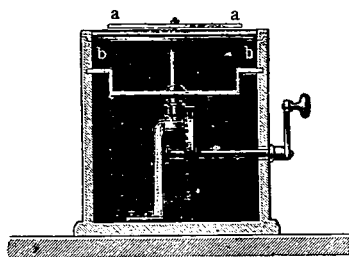
376. Съ 1822 года въ записной книжкѣ Фарадея существовалъ отдѣлъ съ заголовкомъ: „Chemical Notes, Hints, Suggestions and Objects of Pursuit“ (Химическія замѣтки, намеки, предположенія и предметы, подлежащіе дальнѣйшей разработкѣ).

Въ этихъ наброскахъ можно найти начало многихъ его открытій. Здѣсь Фарадѣй упоминаетъ о задачахъ, которыми онъ занимался отъ времени до времени. Въ одномъ мѣстѣ находится замѣтка: „Превращеніе магнетизма въ электричество“. Что магнетизмъ можетъ быть вызванъ электричествомъ, было извѣстно, конечно; но какъ обратить этотъ процессъ? Разсказываютъ, что Фарадѣй всегда носилъ при себѣ маленькій электромагнитъ, который долженъ былъ ему напоминать, въ свободное отъ другихъ задачъ время, объ обдумываніи этого вопроса. Несмотря на то, что многочисленные опыты остались безплодны, Фарадѣй не хотѣлъ отказаться отъ своей вѣры въ возможность получить электричество чрезъ посредство магнетизма.—Но въ 1824 году Араго сдѣлалъ наблюденіе, которое послужило для Фарадея сильнымъ толчкомъ къ возобновенію изслѣдованія. Араго замѣтилъ, что магнитная стрѣлка, приведенная въ колебаніе надъ мѣднымъ листомъ, успокаивается необыкновенно быстро. Сначала Араго подумалъ, что въ этой мѣди содержалось желѣзо, но химическій

анализъ, произведенный Дюма, показалъ, что эта мѣдь была совершенно свободна отъ желѣза. Чтобы подробнѣе изслѣдовать явленіе, Араго построилъ приборъ, изображенный на рис. 311. Магнитная стрѣлка *aa* покоится на тонкомъ остріѣ, а мѣдный кругъ *bb* можетъ быть приведенъ въ быстрое вращеніе при помощи рукоятки. При этомъ мѣдный кругъ дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку даже въ томъ случаѣ, если между ними находится стеклянная пластинка. Когда мѣдный кругъ вращается достаточно быстро, то въ томъ же направленіи вращается и стрѣлка, но не такъ быстро, какъ мѣдный кругъ. Опытъ можетъ быть произведенъ также и въ обратномъ порядкѣ. Если мѣдный кругъ достаточно легкоподвиженъ, то онъ также приходитъ во вращательное движеніе, когда вращается стрѣлка. Араго, какъ и нѣкоторые другіе, былъ того мнѣнія, что при вращательномъ движеніи въ мѣди возникаетъ магнетизмъ; это явленіе назвали магнетизмомъ вращенія. Фарадэй, напротивъ, предполагалъ, что стрѣлка приводится въ движеніе электрическими токами, возникающими въ мѣдной пластинкѣ. Въ пользу этого допущенія говорило то обстоятельство, что дѣйствіе вращающагося круга замѣтно ослабляется, если въ немъ сдѣлать прорѣзъ по радіусу.

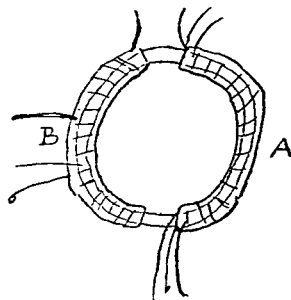
377. Наконецъ, лѣтомъ 1831 года Фарадэю удалось получить электрическій токъ посредствомъ магнетизма. Въ его записной книжкѣ находится прилагаемый рисунокъ (рис. 312) съ слѣдующимъ описаніемъ. „У меня было желѣзное кольцо (изъ

Рис. 311



Приборъ Араго.

Рис. 312



Чертежъ Фарадэя.

мягкаго желѣза), толщиною въ $\frac{7}{8}$ дюйма и съ внѣшнимъ діаметромъ въ 6 дюймовъ. Я обмоталъ мѣдную проволоку много разъ (вокругъ желѣзнаго кольца), причемъ одна половина обмотки была изолирована отъ другой посредствомъ нитокъ и кусочковъ ситца; въ моемъ распоряженіи было три проволоки, каждая длиною въ 24 фута; ихъ можно было связать въ одно или пользоваться каждой въ отдѣльности... Назову одну сторону кольца черезъ *A*. Другая сторона, *B*, была обмотана двумя проволоками, общая длина коихъ равнялась 60 футамъ. Обороты *A* и *B* шли въ одномъ и томъ же направленіи. Я соединилъ проволоки въ одну проволоку и привязалъ ея концы къ мѣдной проволоцѣ, проходившей очень близко надъ магнитной стрѣлкой... Затѣмъ я замкнулъ электрическій токъ батареи посредствомъ одной изъ проволокъ *A*. Магнитная стрѣлка мгновенно вышла изъ своего положенія, стала качаться впередъ и назадъ; вскорѣ,

однако, она пришла въ спокойное состояніе, занявъ первоначальное положеніе. Когда я затѣмъ прерывалъ токъ, стрѣлка снова выходила изъ своего положенія“.

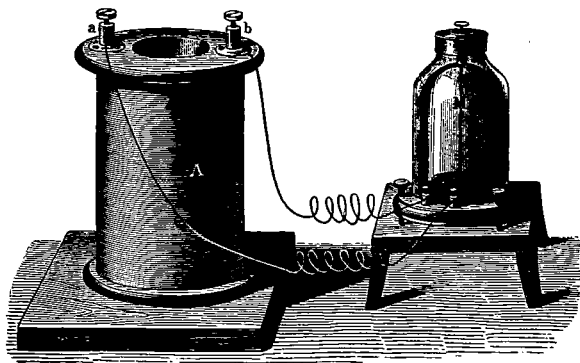
Такимъ образомъ Фарадѣю удалось вызвать („индуктировать“) электрической токъ въ проволоку при помощи магнетизма. Именно, когда токъ замыкается посредствомъ одной изъ проволокъ *A*, то желѣзное кольцо намагничивается. Полюсы получаютъся въ тѣхъ мѣстахъ между *A* и *B*, гдѣ кольцо не обмотано. Возникаетъ магнитное поле, въ которомъ находятся проволоки *B*. Фарадѣй наблюдалъ, что всякое измѣненіе въ магнитномъ полѣ всегда вызываетъ электрической токъ въ проволоку *B*, представляющей замкнутый проводъ въ этомъ магнитномъ полѣ. Когда возникало магнитное поле, то въ *B* проходилъ электрической токъ; но если сила поля оставалась неизмѣнной, то тока не было. Только въ томъ случаѣ,

Рис. 313



когда токъ прерывался, когда, слѣдовательно, магнитное поле вокругъ *B* испытывало измѣненіе, токъ снова появлялся въ *B*. Но этотъ токъ длился, подобно первому, лишь до тѣхъ поръ, пока длилось измѣненіе магнитнаго поля. Эти токи (мгновенные) въ *B* имѣли противоположное направленіе, смотря по тому, увеличивалась ли или уменьшалась сила магнитнаго поля вокругъ *B*.

Токъ появлялся, когда возникало магнитное поле или когда оно исчезало, а также



Магнитная индукція.

и тогда, когда его сила увеличивалась или уменьшалась. Этотъ токъ называется индуктивнымъ токомъ, а весь процессъ магнитной индукціей.

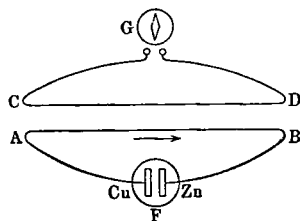
Чтобы обнаружить магнитоэлектрическую индукцію, обыкновенно пользуются приборомъ, изображеннымъ на рис. 313. *A* представляетъ деревянную катушку, на которую намотана изолированная мѣдная проволока; концы послѣдней соединены съ мультипликаторомъ *M*. Въ проволоочной обмоткѣ индуцируется токъ, когда магнитный стержень *NS* быстро опускается въ катушку. Если, какъ это показано на рисункѣ, магнитъ вдвигается въ катушку южнымъ полюсомъ, то индуцированный токъ

идеть по оборотамъ справа налѣво. При вытягиваніи магнита изъ катушки токъ идетъ по оборотамъ въ противоположномъ направленіи. Если южный полюсъ магнита замѣнить сѣвернымъ, то индуктивные токи идутъ въ противоположномъ направленіи какъ при приближеніи, такъ и при удаленіи южнаго полюса.

378. Фарадэй описалъ эти опыты во второй части своего труда, представленнаго Royal Society. Въ первой части этого труда онъ сообщаетъ о своемъ открытіи, что электрическій токъ можетъ вліять индуктирующимъ образомъ на соедѣнный проводникъ.

Токъ элемента F (рис. 314) идетъ по проводу AB . Въ проводъ CD , параллельный AB , включенъ гальванометръ G . При замыканіи цѣпи ABF по AB проходитъ токъ въ направленіи, указанномъ стрѣлкой. Возникаетъ магнитное поле и, такъ какъ въ немъ находится CD , то и въ проводѣ CD появляется токъ. Токъ въ CD имѣетъ, какъ показываетъ гальванометръ, не то же самое направленіе, какъ въ AB , а противоположное. Но токъ, возникающій въ CD , очень непродолжителенъ; это мгновенный токъ. Какъ только токъ въ AB , а слѣдовательно, и магнитное поле вокругъ AB , достигаетъ своей полной силы, что продолжается опредѣленное, хотя и весьма короткое время, то токъ въ CD прекращается. Когда же цѣпь ABF прерывается такъ, что

Рис. 314

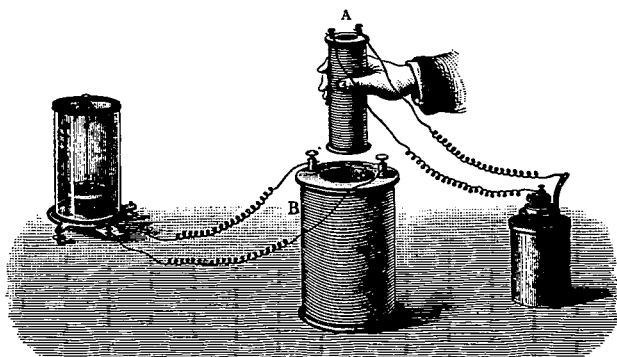


Вольтаическая индукція.

токъ въ AB исчезаетъ, то тогда исчезаетъ и магнитное поле вблизи AB , а въ CD снова индуктируется короткій токъ. Этотъ индуктированный токъ имѣетъ то же самое направленіе, какое имѣлъ исчезающій токъ батареи.

Болѣе сильно проявляется эта индукція, названная Фарадеемъ вольтаической, при примѣненіи прибора, изображеннаго на рис. 315. Токъ элемента, такъ называемый первичный токъ, проходитъ по катушкѣ, которую можно вдвинуть въ отверстіе другой катушки, индукціонной.

Рис. 315



Вольтаическая индукція.

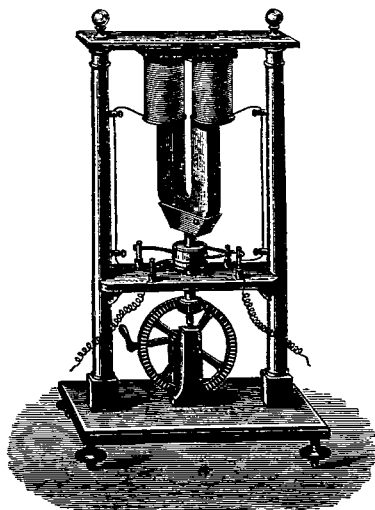
никаетъ каждый разъ, когда къ индукціонной спирали приближаютъ или когда отъ нея удаляютъ спираль съ главнымъ токомъ, а также и въ томъ случаѣ, если, не мѣняя положенія главной спирали, замыкаютъ и размыкаютъ проводъ съ главнымъ токомъ.

379. Ленць въ Петербургѣ (1804—1865) далъ въ 1834 году правило, пользуясь которымъ, можно легко и вѣрно указывать направленіе индуктированного тока независимо отъ того, будетъ ли это магнитоэлектрическая индукція или voltaическая. Законъ Ленца гласитъ, что индуктированный токъ всегда противодѣйствуетъ тому движенію, которое было причиной индукціи. При приближеніи къ катушкѣ, напримѣръ, южнаго полюса магнита (рис. 313), индуктированный токъ долженъ быть такъ направленъ, что въ верхнемъ концѣ катушки образуется южный полюсъ (два южныхъ полюса отталкиваются). Такъ какъ при voltaической индукціи замыканіе тока оказываетъ такое же дѣйствіе, какъ и приближеніе уже имѣющагося тока, то токъ индуктированный, возникающій при замыканіи главного тока, долженъ имѣть противоположное первому направленіе, такъ какъ противоположно направленные токи взаимно отталкиваются. Изъ закона Ленца вытекаетъ также, что для полученія индуктированного тока должна быть затрачена работа, потому что во время движенія необходимо преодолѣть сопротивленіе.

380. Своимъ открытіемъ индуктированныхъ токовъ Фарадэй открылъ новые источники электричества. При электромагнитной индукціи электричество получается посредствомъ механическаго движенія. Въ самомъ дѣлѣ, если приближать магнитъ къ проволочной катушкѣ (рис. 313) или удалять его отъ нея, то возникаютъ индуктированные токи. Правда, они весьма непродолжительны и имѣютъ попеременно противоположныя направлешія, но ихъ можно объединить въ одинъ прямой токъ при помощи цѣлесообразнаго механическаго приспособленія. Развитие этихъ машинъ не можетъ быть здѣсь изложено подробно. Мы отмѣтимъ лишь важнѣйшіе моменты этого развитія.

Уже въ 1832 году, слѣдовательно, незадолго до открытія Фарадэя, Пикси въ Парижѣ построилъ магнитоэлектрическую машину (рис. 316). Надъ полюсами подковообразнаго магнита вѣсомъ въ 34 фунта, который могъ вращаться вокругъ оси, находится электромагнитъ съ обмоткой изъ изолированной латунной проволоки. Если привести магнитъ во вращательное движеніе, то мягкое желѣзо подковообразнаго электромагнита становится попеременно то сѣвромагнитнымъ, то южномагнитнымъ; вслѣдствіе этого въ обмоткѣ возникаютъ индуктированные токи, которые послѣ каждаго полуоборота подковообразнаго магнита мѣняютъ свое направлешіе. Именно, при приближеніи сѣвернаго полюса магнита къ одной изъ катушекъ въ желѣзномъ

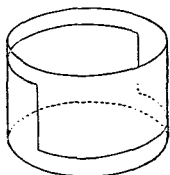
Рис. 316



Машина Пикси.

сердечникъ послѣдней получается южный полюсъ. Если же затѣмъ къ этой самой катушкѣ приблизится южный полюсъ, то въ нижней части ея сердечника получится сѣверный полюсъ. Такимъ образомъ, токъ получаетъ противоположное направлѣніе. То же самое происходитъ одновременно и въ другой катушкѣ, съ тою лишь разницей, что здѣсь дѣйствуетъ южный полюсъ подковообразнаго магнита въ то время, когда на первую катушку дѣйствуетъ сѣверный полюсъ. Если поэтому проволока намотана на одинъ сердечникъ въ противоположномъ направленіи сравнительно съ другимъ, то токи, одновременно возбужденные дѣйствіемъ обоихъ полюсовъ, имѣютъ одно и то же направлѣніе, но весь токъ мѣняетъ направлѣніе послѣ каждаго полуоборота. Превращеніе переменнаго тока въ токъ постояннаго направленія происходитъ при помощи такъ называемаго коммутатора. Коммутаторъ состоитъ изъ изолированнаго металлическаго кольца, насаженнаго на ось; это кольцо разрѣзано на двѣ части такъ, какъ указано на рис. 317; эти части другъ отъ друга изолированы. По металлическому кольцу скользятъ четыре пружины. Изъ нихъ двѣ соединены съ концами проволоки, въ которой возбуждаются индуктированные токи; другія двѣ

Рис. 317



Коммутаторъ.

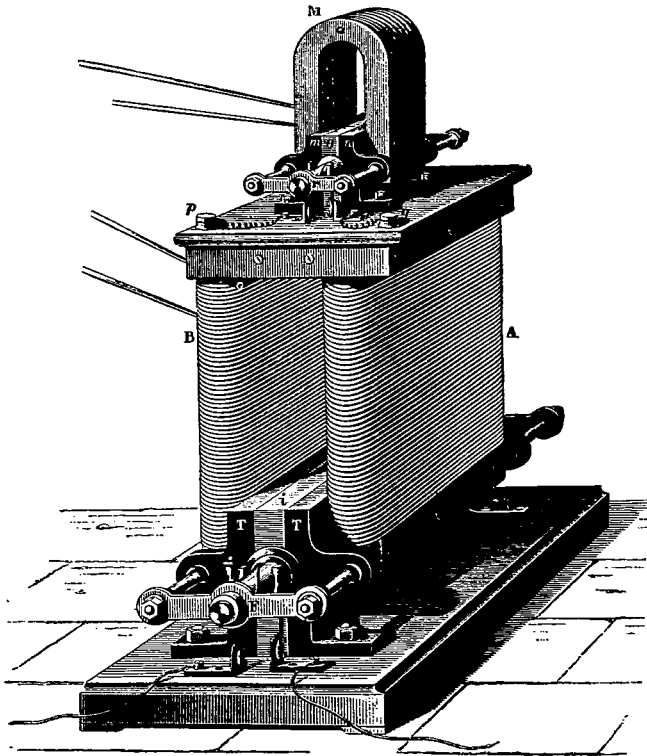
образуютъ концы провода, въ который всѣ токи должны входить въ прямомъ направленіи. Изъ первыхъ двухъ пружинъ одна постоянно скользитъ по верхней половинѣ металлическаго кольца, а другая по нижней, между тѣмъ какъ другія двѣ пружины (среднія) послѣ каждаго полуоборота переходятъ съ одной половины металлическаго кольца на другую. Коммутаторъ такъ укрѣпленъ на оси, что это чередованіе всегда происходитъ одновременно съ переменною направленія тока въ проволочной обмоткѣ. Вслѣдствіе этого токи имѣютъ во внѣшнемъ проводѣ одно и то же направлѣніе, но сила общаго

тока непрерывно измѣняется. Этотъ недостатокъ присущъ и машинѣ Кларка, въ которой вращается не подковообразный магнитъ, а проволочныя катушки. Общество „Alliance“ въ Парижѣ строило большія магнитоэлектрическія машины, въ которыхъ большое количество катушекъ (до 100), укрѣпленныхъ на вращающемся дискѣ, пробѣгаетъ вблизи значительнаго числа магнитныхъ полюсовъ.

381. Слѣдующій шагъ впередъ состоялъ въ томъ, что постоянные магниты были замѣнены электромагнитами, при помощи которыхъ можно было получать гораздо больше магнитизма. Машина Вильде (рис. 318) имѣетъ такой электромагнитъ (*A* и *B*). Токъ, который возбуждаетъ магнитизмъ въ этомъ электромагнитѣ, получается отъ маленькой магнитоэлектрической машины *M*. Катушка, въ которой долженъ быть индуктированъ токъ, вращается въ этой машинѣ не передъ полюсами электромагнита, а между ними. Обмотка идетъ вдоль желѣзнаго стержня, представляющаго ось вращенія; поперечное сѣченіе его видно (*g*, *f*) изъ рисунка 319 (цилиндрической индукторъ Сименса). Устройство выпрямителя тока у этихъ машинъ можно видѣть на рис. 320. Два конца проволоки соединены съ обѣими половинами металлическаго кольца, изолированно насаженнаго на ось. При помощи двухъ пружинъ, скользящихъ по кольцу, токъ, несмотря на переменное направлѣніе, можетъ отводиться съ оси въ одномъ направленіи; именно, во время одного полуоборота токъ идетъ по одной половинѣ кольца, которая во время этого полуоборота касается пружины *l*,

въ теченіе же ближайшаго полуоборота токъ идетъ въ другую половину кольца, которая теперь соприкасается съ *l'*.

Рис. 318



Магнитоэлектрическая машина Вильде.

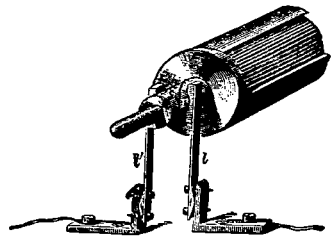
Рис. 319

Рис. 320



Цилиндрической индукторъ Сименса.

Вернеръ фонъ-Сименсъ (1816—1892) подвинулъ дѣло значительно дальше установивъ въ 1866 году такъ называемаго электродинамическаго принципа. Желѣзо, которое однажды было намагничено, постоянно сохраняетъ слѣды магнетизма и этого остаточнаго магнетизма достаточно



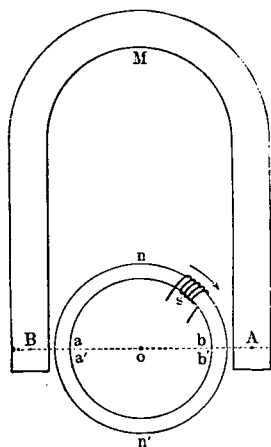
Выпрямитель тока.

для получения настолько сильнаго магнитнаго поля, чтобы возбудить токъ въ проволокѣ, движущейся въ этомъ полѣ. Такимъ образомъ, если электромагнитъ *AB* (рис. 318) былъ однажды намагниченъ, то онъ можетъ возбудить въ обмоткѣ индуктора токъ и, если этотъ токъ проведенъ въ обмотку электромагнита, то магнетизмъ, а, значитъ, и токъ, вызванный магнетизмомъ, усиливается. Вслѣдствіе этого вспомогательная машина *M* становится излишней и машина начинаетъ дѣйствовать сама по себѣ, когда индукторъ приводится во вращательное движеніе.

Такого рода машина носить названіе динамоэлектрической машины или динамомашинны.

Витстонъ нашелъ этотъ самый принципъ нѣсколько позже Сименса, а другой англичанинъ, Ладдъ, утверждалъ, что онъ его открылъ уже въ 1864 году. Этотъ споръ изъ-за первенства имѣетъ мало значенія. Значеніе открытаго принципа было такъ велико, что честь открытія его можетъ быть раздѣлена между нѣсколькими лицами. Зѣренъ Гьортъ (1801—1870), директоръ технической части перваго датскаго общества желѣзныхъ дорогъ, уже въ 1854 году получилъ патентъ на магнитоэлектрическую машину, въ которой онъ примѣнилъ динамоэлектрической принципъ, заставляя собственный токъ машины возбуждать электромагниты, которые затѣмъ снова дѣйствовали усиливающимъ образомъ на вращающіеся магниты машины. Однако, практическое примѣненіе этотъ принципъ нашелъ впервые въ машинѣ Сименса, вслѣдствіе чего онъ по справедливости былъ названъ принципомъ Сименса.

Рис. 321



Кольцо Пачинотти.

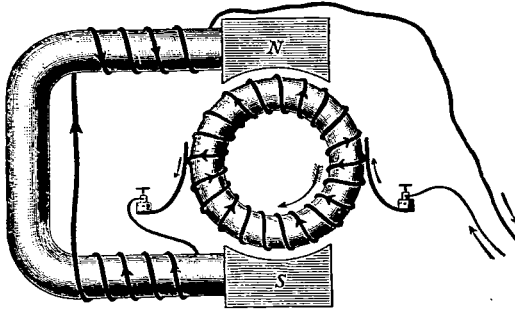
382. Дальнѣйшее существенное улучшеніе динамомашинна получила благодаря тому, что цилиндричесію индукторъ Сименса былъ замѣненъ арматурой (якоремъ), въ которой непрерывно возбуждался токъ постоянной силы. Первое указаніе относительно этой части машины было дано въ 1860 году Луиджи Пачинотти (1807—1889), профессоромъ въ Пизѣ. Нововведеніемъ въ этомъ приспособленіи, кольцо Пачинотти, было то, что токъ индуктировался въ проволокѣ, обмотанной вокругъ желѣзнаго кольца, вращающагося между полюсами магнита.

Представимъ себѣ прежде всего, что кольцо находится въ покоѣ между полюсами магнита *A* и *B* (рис. 321). Въ такомъ случаѣ въ кольцо получаютъ магнитные полюсы при точкахъ *a* и *b*. Если теперь свободно обмотать вокругъ кольца мѣдную проволоку *s* и подвинуть ее отъ *n* до *b*, то въ провололкѣ индуктируется токъ. Если обмотать проволокой все кольцо, соединивъ ея концы, то при сдвиганіи ея возбудится

токъ во всѣхъ оборотахъ. Если *A* есть сѣверный полюсъ, а *B* южный, то въ *b* будетъ южный полюсъ, а въ *a* сѣверный. Въ такомъ случаѣ во всѣхъ оборотахъ, которые подвинутся отъ *n* черезъ *b* къ *n'*, индуктируется токъ того же самаго направленія. Этотъ токъ будетъ идти по оборотамъ отъ *n* до *n'*. Наоборотъ, въ тѣхъ оборотахъ, которые будутъ сдвинуты отъ *n'* черезъ *a* къ *n*, токъ будетъ идти въ противоположномъ направленіи, т. е. отъ *n* къ *n'*. Слѣдовательно, въ точкѣ *n'*

будет постоянно положительное напряжение, а в n отрицательное. Таким образом, если n' и n будут соединены проводником вне машины, то в проводник будет идти постоянный ток, так как, если обмотка будет сдвигаться с равномерной скоростью, то и сила тока будет всегда одна и та же; но равномерное сдвигание проволоки практически неосуществимо. Однако, то же самое действие может быть достигнуто, если проволоку плотно обмотать вокруг кольца из мягкого железа и

Рис. 322

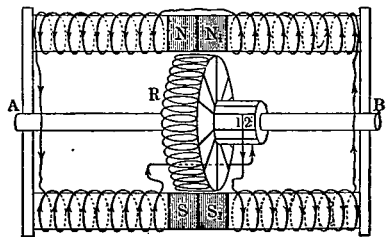


Устройство (схематическое) машины Грамма.

вращать это кольцо вместе с обмоткой между полюсами магнита. В таком случае неподвижные полюсы A и B вызывают постоянно в тех местах железного кольца, которая проходят мимо полюсов, противоположные магнитные полюсы, вследствие чего обороты непрерывно проходят через оба магнитных поля.

383. Кольцо Пачинотти было приспособлено к динамомашинам бельгийцем Зенобомъ Граммомъ (1826 — 1901). Граммъ был сначала столяромъ-модельщикомъ у Общества Alliance в Парижѣ. Онъ былъ занятъ конструціей новой динамомашины и, не зная о работѣ Пачинотти, самостоятельно изобрѣлъ это кольцо. Рис. 322 схематически показываетъ устройство машины Грамма, въ которой примѣненъ динамо-электрической принципъ. Кольцо можно также вращать не только между двумя полюсами, но и между большимъ числомъ ихъ, но въ этомъ случаѣ „отведение тока“ становится болѣе сложнымъ. При этомъ требуется больше двухъ пружинъ.

Рис. 323

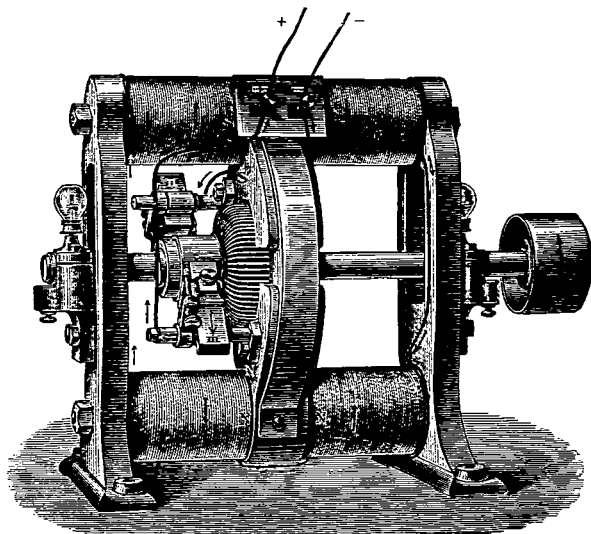


Обмотка динамомашины.

На рисунокѣ 323 видно, какъ осуществляется отведение тока. Два стержня изъ мягкаго желѣза обмотаны изолированной мѣдной проволокой, такъ что въ серединѣ стержней получаютъ магнитные полюсы, когда по проволокамъ проходитъ токъ. Обмотка кольца также состоитъ изъ изолированной мѣдной проволоки. Черезъ опредѣленные промежутки отъ проволоки кольца отведены мѣдныя пластинки къ оси, изогнутыя по направлецію оси, но изолированныя отъ нея. Вокругъ оси лежитъ

кольцо изъ изолирующей массы (эбонита) и въ ней помѣщаются мѣдныя пластинки съ обнаженными поверхностями, не касающіяся другъ друга. Пружины или, какъ ихъ обыкновенно называютъ, щетки, имѣющія своимъ назначеніемъ отводить токъ съ кольца, установлены такъ, что скользятъ по мѣднымъ пластинкамъ (рис. 323, 1 и 2). Рисунокъ 324 представляетъ изображеніе той же машины въ перспективѣ.

Рис. 324



Машина Грамма.

Динамомашинныя строятся какъ для постояннаго, такъ и для переменнаго тока и какъ для низкаго, такъ и для высокаго напряженія. Переменный токъ высокаго напряженія употребляется въ томъ случаѣ, когда приходится проводить токъ на большія разстоянія. Мы не можемъ подробнѣе останавливаться на деталяхъ устройства динамомашинъ, равно какъ и на высоко развитой теоріи ихъ.

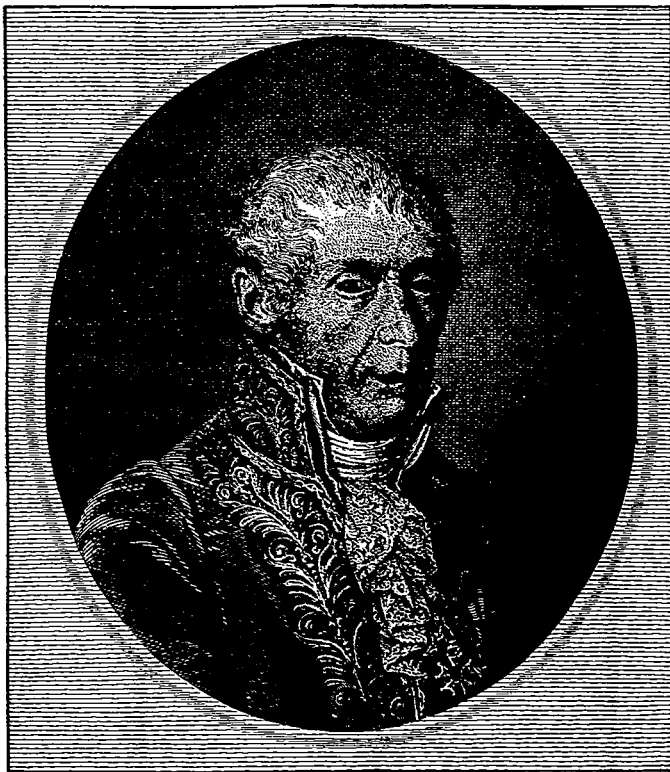
Вольта. Эрстедъ. Фарадэй

384. Развитие ученія объ электричествѣ въ теченіе XIX столѣтія тѣсно связано больше всего съ тремя именами: Вольты, Эрстеда и Фарадэя.

Вольтово электричество при соприкосновеніи, электромагнитизмъ Эрстеда и индуктивное электричество Фарадэя—вотъ краеугольные камни, на которыхъ покоится гордое зданіе ученія объ электричествѣ. Большое количество деталей и болѣе значительныя части этого зданія свидѣтельствуютъ о томъ, что въ его сооруженіи участвовало множество гениальныхъ мастеровъ, но всѣ они строили на фундаментѣ, который образованъ упомянутыми тремя краеугольными камнями. Четвертымъ краеугольнымъ камнемъ можно считать химическое дѣйствіе тока, но оно органически примыкаетъ къ гальваническому элементу Вольты.

Вольта (§ 298) переселился въ 1779 году изъ Комо въ Павію, гдѣ закончилъ свои фундаментальныя работы, доставившія ему всемірную извѣстность. Въ противоположность Гальвани, Вольта выдвинулся впередъ благодаря Наполеону. Первый былъ лишень своего званія, второй же, не отказавиися принести должностную присягу, былъ приглашенъ въ Парижъ для чтенія лекцій въ Академіи Наукъ о своихъ открытіяхъ. Наполеонъ возвелъ его въ графское достоинство. Въ 1804 году

Рис. 325



Алессандро Вольта.

онъ оставилъ свою профессуру, но былъ приглашенъ австрійскимъ императоромъ занять постъ директора философскаго факультета въ Падуѣ. Свои послѣдшіе годы онъ провелъ въ родномъ городѣ Комо, гдѣ и умеръ въ 1827 году, 82 лѣтъ отъ роду.

385. Гансъ Христіанъ Эрстедъ родился въ 1777 году въ Рудкѣбингѣ на Лангеландѣ, гдѣ его отецъ былъ аптекаремъ. Вмѣстѣ со своимъ младшимъ братомъ, Андерсомъ Сандѣ, онъ дома подготовлялся въ университетъ, въ который они оба поступили въ 1794 году. Гансъ Христіанъ изучалъ физику, химію и математику, братъ его юриспруденцію и философію. Они сообща изучали Канта и

Фихте, а впоследствии Шеллинга. Благодаря тому, что они обыкновенно дѣлились главными впечатлѣніями, выносимыми ими изъ своихъ специальныхъ занятій, они оба получили обширное и многостороннее образованіе.

Относительно Ганса Христиана Эрстеда слѣдуетъ отмѣтить, что онъ въ томъ же году (1797), въ которомъ сдалъ кандидатскій экзаменъ, какъ фармацевтъ, отвѣтилъ на предложенный университетомъ вопросъ изъ области эстетики. Вопросъ заключался въ слѣдующемъ: „Въ какой мѣрѣ портится прозаическій языкъ отъ сближенія съ поэтическимъ и гдѣ границы между поэтическимъ и прозаическимъ способомъ выраженія?“ Несмотря на усиленные занятія естественными науками, онъ на-

Рис. 326



Г. Х. Эрстедъ.

шелъ время разработать отвѣтъ на этотъ вопросъ. Даже въ годы наиболѣе напряженной научной дѣятельности для него было обычнымъ дѣломъ принимать живое участіе въ умственной жизни даже въ областяхъ, лежавшихъ внѣ предѣловъ его специальности. Въ 1798 году онъ представилъ работу на тему, предложенную медицинскимъ факультетомъ на премію, и въ 1799 году получилъ степень доктора.

Лѣтомъ 1801 года Эрстедъ отправился въ заграничное путешествіе на три года. Онъ проѣхалъ черезъ Германію въ Парижъ и вернулся домой черезъ Бельгію и Голландію. Во время этого путешествія онъ завязалъ личное знакомство съ самыми выдающимися учеными указанныхъ странъ; въ это же время у него назрѣло рѣшеніе найти путь, который подвинулъ бы впередъ изученіе естественныхъ наукъ, въ особенности физики, въ то время сильно нуждавшейся въ этомъ.

По возвращеніи на родину онъ читалъ въ Копенгагенѣ публичныя лекціи, которыя сильно, по тогдашнему времени, посѣщались. Въ 1806 году, когда Эрстедъ сдѣлался профессоромъ физики въ университетѣ, онъ писалъ своему другу Эленшлэгеру: „Мои лекціи зимою усиленно посѣщались. Въ началѣ у меня было свыше 60 слушателей, а четыре мѣсяца спустя ихъ было все еще свыше 40. Платили бы они только лучше. Эти лекціи посѣщались мужчинами и дамами, но послѣднихъ было только пять“.

Благодаря своимъ занятіямъ и путешествіямъ Эрстедъ приходилъ въ соприкосновеніе съ романтиками и натурфилософами, къ воззрѣніямъ которыхъ онъ примкнулъ; но онъ былъ самостоятельнымъ ученикомъ Канта и, какъ естествоиспытатель, былъ болѣе трезвымъ, чѣмъ большинство учениковъ Шеллинга. Характернымъ для него является выраженіе, что Ньютонъ и Кантъ — это два полюса, вокругъ которыхъ вращается новѣйшее изслѣдованіе природы. Въ 1812 и 1813 годахъ онъ предпринялъ второе путешествіе за границу. Во время этого путешествія онъ написалъ въ Берлинѣ упомянутую въ § 360 небольшую статью о взаимной связи силъ природы.

Впослѣдствіи онъ выработалъ свое міровоззрѣніе болѣе точно и при этомъ всецѣло примкнулъ къ Канту, принимавшему, что вещественная природа есть лишь проявленіе силъ, наполняющихъ пространство, которыя въ свою очередь могутъ быть сведены къ двумъ основнымъ силамъ. По мнѣнію Эрстеда, эти силы проявляются наиболѣе чисто и наиболѣе свободно въ положительномъ и отрицательномъ электричествѣ. Каждая изъ этихъ двухъ силъ является сама по себѣ расширительной или отталкивательной, обѣ же вмѣстѣ, находясь одна вблизи другой, дѣйствуютъ напротивъ, притягательнымъ образомъ. Въ соотвѣтствіи съ этимъ Эрстедъ называлъ ученіе объ электричествѣ динамикой (ученіе о силахъ) въ болѣе высокомъ смыслѣ. Въ этой области у него была иная основная точка зрѣнія, чѣмъ у Шеллинга. Послѣдній также говорилъ о двухъ основныхъ силахъ, но онъ принималъ, что одна основная сила имѣетъ характеръ расширительный, а другая притягательныя.

Свою теорію о двухъ противоположныхъ основныхъ силахъ Эрстедъ примѣнилъ къ химіи. Основные вещества, являющіяся представителями противоположныхъ силъ, взаимно притягиваются и стремятся къ химическому соединенію. Основанія суть носители положительной силы, а кислоты отрицательной. При соединеніи основныхъ веществъ противоположной природы, т. е. основанія съ кислотами, возникаетъ явленіе огня или теплоты, какъ выраженіе для дѣйствія, имѣющаго мѣсто при соединеніи.

Отсюда вытекаетъ, что Эрстедъ, подобно Дэви и Берцелиусу (ср. § 351), самостоятельно искалъ и нашелъ обобщающее представленіе о явленіяхъ природы.

О его открытіи электромагнетизма было подробно изложено раньше. Эрстедъ былъ, конечно, членомъ самыхъ выдающихся ученыхъ обществъ всего міра. Его послѣднее путешествіе за границу, предпринятое имъ въ 1846 году, было, какъ пишетъ сопровождавшій его Форхгаммеръ, настоящимъ триумфальнымъ шествіемъ. Повсюду къ нему являлись ученые и государственные люди. На съѣздѣ естествоиспытателей въ Сѣтгамптонѣ, гдѣ онъ присутствовалъ, Джонъ Гершель между прочимъ сказалъ: „Я знаю въ наукѣ лишь одно направленіе, которое могла бы принять магнитная

стрѣлка, еслибы она обратилась къ материку Европы, именно въ сторону моего друга, профессора Эрстеда“.

Независимо отъ своихъ научныхъ трудовъ Эрстедъ очень много работалъ надъ тѣмъ, чтобы подвинуть впередъ въ университетѣ изученіе физики и вообще изученіе естественныхъ наукъ. Онъ былъ убѣжденъ въ томъ, что наука о природѣ „болѣе доступна занимающемуся ремесломъ, чѣмъ другія науки; своей матеріальной стороной она для него осязаема, своимъ же духовнымъ содержаніемъ она его поднимаетъ и даетъ ему болѣе высокое образованіе“.

Въ 1823 году Эрстедъ основалъ общество для распространенія естествознанія, существующее еще и понынѣ и имѣющее цѣлью „Распространеніе среди гражданъ всѣхъ состоящій свѣдѣнія изъ области опытнаго естествознанія“. По его настоянію былъ учрежденъ въ Копенгагенѣ въ 1829 году Политехнической институтъ. — Самъ Эрстедъ началъ читать въ Копенгагенѣ популярныя лекціи по естествовѣдѣнію и его примѣръ вскорѣ нашель подражаніе въ болѣе мелкихъ городахъ страны. Здѣсь мы видимъ впервые зародыши промышленныхъ союзовъ въ Копенгагенѣ, а также техническихъ обществъ и школъ, существующихъ въ настоящее время во всѣхъ городахъ страны и оказавшихъ большое вліяніе на развитіе ремеслъ и промышленности.

Съ обширнымъ общимъ образованіемъ, интересующійся разными сторонами духовной жизни, науки, поэзіи, искусства и народнаго просвѣщенія, Эрстедъ занялъ выдающееся положеніе въ обществѣ. Онъ сумѣлъ убѣдить его, что каждый можетъ извлечь пользу изъ изученія природы для выработки своего міросозерцанія. Его представленіе о связи между различными областями духовной жизни, равно какъ и о связи во всей природѣ, представляющей полную гармонию, передалось его слушателямъ, чѣмъ онъ и прямо и косвенно содѣйствовалъ тому, что духовная жизнь въ Дашіи получила отпечатокъ самобытности и національности. Вмѣстѣ со своимъ братомъ, который сталъ однимъ изъ выдающихся правовѣдovъ Даніи и который оказалъ большое вліяніе на внутреннее политическое устройство своей родины, Эрстедъ служилъ однимъ изъ центровъ, откуда духовная жизнь Даніи получала рѣшительныя и направляющіе импульсы. Когда онъ умеръ въ 1851 году, вся страна почувствовала, что не стало поистинѣ великаго человѣка.

386. Майкель Фарадэй, третій изъ великихъ электриковъ, получилъ свое образованіе инымъ путемъ, чѣмъ Эрстедъ и Вольта, которые принадлежали къ состоятельнымъ семьямъ и получили систематическое университетское образованіе въ кругу сверстниковъ-друзей. Отецъ Фарадэя былъ простымъ бѣднымъ кузнецомъ, который переселился изъ деревни въ одно изъ предмѣстій Лондона. Мать его, дочь крестьянина, была доброй матерью и толковой хозяйкой, но не получила высшаго образованія. Получивъ довольно скудное образованіе въ школѣ, сынъ въ 1804 году, 13-ти лѣтъ отъ роду, поступилъ разсыльнымъ къ книгопродавцу и переплетчику Рибо, а черезъ годъ сталъ его ученикомъ. Здѣсь онъ получилъ возможность читать, и вскорѣ сталъ углубляться въ чтеніе книгъ по естественнымъ наукамъ. Зимой 1810—1811 года онъ прослушалъ двѣнадцать лекцій по естествовѣдѣнію нѣкогого Татума, а весною 1812 года получилъ возможность посѣщать лекціи Дэви въ Royal Institution. Онъ записалъ эти лекціи и снабдилъ ихъ прекрасными рисунками. Вскорѣ онъ почувствовалъ желаніе оставить свое тогдашнее занятіе, мало его

удовлетворявшее, и попытаться поступить въ Royal Institution въ качествѣ препаратора. Осенью 1812 года онъ написалъ Дэви. Послѣдній отвѣтилъ ему подружески, но совѣтовалъ пока не бросать переплетнаго дѣла. Молодой человекъ однако произвелъ на Дэви благоприятное впечатлѣніе и весной 1813 года Дэви назначилъ его своимъ ассистентомъ. Въ качествѣ ассистента онъ долженъ былъ приготовить опыты для лекцій и убирать приборы поелѣ нихъ; вскорѣ, однако, его главной обязанностью стала помощь Дэви въ его научныхъ изслѣдованіяхъ.

Осенью 1813 года Фарадэй сопровождалъ Дэви въ его путешествіи во Францію и Италію и несмотря на свою скромность онъ не остался незамѣченнымъ вблизи своего знаменитаго учителя. Позднѣ Дюма писалъ: „Дэви насъ удивлялъ, Фарадэя же мы любили“. Во время этого путешествія онъ быстро подвинулся впередъ въ своемъ развитіи; онъ увидѣлъ большой свѣтъ и познакомился съ великими учеными, на примѣръ, съ Вольтой въ Миланѣ. Это путешествіе расширило его кругозоръ и предохранило его отъ опасности стать одностороннимъ узкимъ специалистомъ. Завязавъ во время этого путешествія связи съ выдающимися учеными, Фарадэй познакомился съ настоящими изслѣдователями и съ истинной ученостью, которая никогда не замыкается въ остывшія неподвижныя формы. Во время этого путешествія Фарадэй безъ сомнѣнія изощрилъ свой умъ въ умѣньи находить ясную и изящную форму въ своей рѣчи и въ письмѣ. вмѣстѣ съ тѣмъ въ немъ развилось при этомъ умѣньи поддерживать общеніе съ образованными людьми.

По возвращеніи Фарадэй продолжалъ свои работы въ Royal Institution и вскорѣ сдѣлался великолѣпнымъ экспериментаторомъ и превосходнымъ лекторомъ. Онъ читалъ лекціи въ кругу сверстниковъ, объединившихся въ „философское общество“. Въ 1824 году онъ сталъ членомъ Royal Society, а въ 1825 году директоромъ Royal Institution. Эту должность онъ занималъ до 1865 года.

Сила Фарадэя, какъ изслѣдователя, заключалась въ его стремленіи къ ясности. Онъ постоянно стремился дойти до самаго корня вопроса и всегда заботился о приисканіи подходящихъ терминовъ для новыхъ понятій, причемъ нерѣдко обращался за совѣтами къ знакомымъ лингвистамъ. Такъ были ему, на примѣръ, предложены Въюэллемъ вышеупомянутыя обозначенія анода, катода и т. д. (§ 352).

Фарадэй совершилъ колоссальную работу. Тайна его изумительной продук-

Рис. 327



Michael Faraday

Майкель Фарадэй.

тивности заключалась, выражаясь его собственными словами, въ томъ, что онъ работалъ, заканчивалъ и печаталъ. Причина того, что нѣкоторые дѣятельные ученые успѣли сдѣлать такъ мало, заключается именно въ томъ, что они не умѣли заканчивать.

Ислѣдованія Фарадэя относились главнымъ образомъ къ магнитнымъ, электрическимъ и химическимъ явленіямъ. Большое значеніе имѣлъ его взглядъ на дѣйствіе силъ на разстояніи. Онъ показалъ (§ 295), что электрическая сила, распространяясь въ дурномъ проводникѣ, производитъ въ немъ молекулярное измѣненіе,—другими словами, что дѣйствіе на разстояніи есть только кажущееся. Въ дѣйствительности дѣйствіе на разстояніи передается отъ молекулы къ молекулѣ. Въ своихъ работахъ Фарадэй никогда не пользовался математикой, вѣроятно, потому, что онъ не владелъ ею въ достаточной степени. Но послѣдствіи его землякъ, Джемсъ Кларкъ Максвелль (1831—1879), профессоръ математической физики въ Кэмбриджскомъ университетѣ, перевелъ воззрѣнія Фарадэя на математическій языкъ. Путемъ математическихъ изслѣдованій онъ показалъ, что силы, дѣйствующія на разстояніи и обратно пропорціональныя квадрату разстоянія, могутъ быть объяснены при помощи напряженій въ „средѣ“, которая отдѣляетъ тѣла, дѣйствующія другъ на друга.

Что касается электричества, то опытомъ Дютера было, между прочимъ, доказано (§ 295), что изоляторы приходятъ въ своеобразное молекулярное состояніе, когда въ нихъ распространяется электрическая сила. Для силы же тяжести до настоящаго времени ничего подобнаго не доказано. Такимъ образомъ, взглядъ Фарадэя на силы, дѣйствующія на разстояніи, еще не нашелъ опытнаго подтвержденія, но онъ составляетъ исходную точку для всѣхъ изслѣдованій этого важнаго вопроса.

Выше (I, § 420) было сказано, какъ Фарадэй при помощи красиваго опыта показалъ, что свѣтловыя колебанія находятъ въ зависимости отъ молекулярныхъ измѣненій, которыя совершаются въ кристаллической пластинкѣ, когда ее помѣщаютъ въ сильномъ магнитномъ полѣ.

Фарадэй сталъ еще знаменитѣе, чѣмъ его учитель Дэви, но въ противоположность послѣднему онъ велъ простой образъ жизни и жилъ со своей женой тихо и уединенно въ своемъ домѣ. Онъ принадлежалъ къ маленькой религіозной общинѣ, въ которой часто произносилъ рѣчи, такъ какъ испытывалъ потребность дѣлиться своимъ христіанскимъ міровоззрѣніемъ. Съ одной стороны это былъ тоній и глубокій изслѣдователь, а съ другой—человѣкъ съ дѣтскимъ характеромъ и съ душою, впечатлительной ко всему тому, что воспринимается сердцемъ, а не умомъ. Умеръ онъ въ 1867 году.

Аккумуляторы

387. Прежде чѣмъ мы перейдемъ къ разсмотрѣнію еще нѣкоторыхъ примѣненій электрическаго тока, о которыхъ до сихъ поръ еще не было рѣчи, намъ необходимо познакомиться съ аккумуляторами. Это такъ называемые вторичные элементы, т. е. элементы, которые обязаны своей силой дѣйствию электрическаго тока.

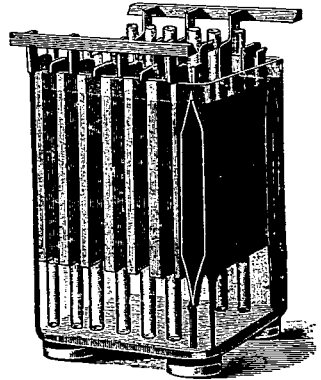
Зарядный столбъ Риттера (§ 318) представляетъ вторичный элементъ; но первый практически приложимый приборъ этого рода былъ устроенъ лишь въ 1860 году Гастономъ Планте, профессоромъ физики въ Парижѣ. Онъ свернулъ въ спираль двѣ свинцовыя пластинки въ 1 ммъ толщиной, 60 смъ длиной и 15 смъ шириной, отдѣливъ ихъ другъ отъ друга резиновыми прокладками, толщиной въ 5 ммъ.

Планте помѣстилъ эти спирали въ подкисленную воду и пропустилъ электрическій токъ (заряжающій токъ) отъ одной пластинки черезъ воду къ другой пластинкѣ. Вода разложилась и одна изъ пластинокъ сильно окислилась. Когда затѣмъ токъ былъ прерванъ, то пластинки сами дали токъ при соединеніи ихъ проводомъ, причемъ этотъ токъ имѣлъ направленіе, противоположное направленію заряжающаго тока (ср. § 318). Теперь на пластинкѣ, покрытой окисью, выдѣлялся водородъ и окисъ свинца возстановлялся. Полученный такимъ образомъ свинецъ имѣетъ пористое строеніе, вслѣдствіе чего онъ принимаетъ въ себя при новой зарядкѣ большее количество кислорода.—Камилль Форъ измѣнилъ въ 1881 году форму прибора, получившаго теперь названіе аккумулятора, помѣстивъ свинцовыя пластинки не свернутыми въ четырехугольный стеклянный сосудъ (рис. 328). Здѣсь заряжается одновременно большее число пластинокъ, которыя соединены между собою черезъ одну (рис. 329). Чтобы со-

общить свинцовымъ пластинкамъ возможно большую ёмкость по отношенію къ кислороду, аккумуляторъ подвергаютъ обработкѣ (формовкѣ), состоящей въ томъ, что его нѣсколько разъ заряжаютъ и снова разряжаютъ. Благодаря этому пластинки получающаго губчатое строеніе,—особенно анодъ заряжающаго тока. Формовка облегчается тѣмъ, что свинцовыя пластинки покрываютъ слоемъ сурика. Отрицательныя пластинки обыкновенно покрываются бороздами или квадратными углубленіями, которыя наполнены окисью свинца. При зарядкѣ такого аккумулятора пластинки одной группы сильно окисляются, пластинки другой группы возстановляются. По окончаніи заряда получаютъ двѣ группы пластинокъ, окисленные въ весьма различной степени. Различіе пластинокъ въ химическомъ отношеніи вызываетъ электродвижущую силу, доходящую при полномъ зарядѣ до 2·5 вольта и опускающуюся во время разряда до 2 вольтъ. Если пластинки велики, а разстояніе между ними мало, то сопротивление, оказываемое аккумуляторомъ заряжающему току, не велико. Конечно, оно ослабляется вслѣдствіе поляризаціи пластинокъ, получившейся отъ заряжающаго тока. Энергія тока превращается въ химическую энергію, которая скопляется въ свинцовыхъ пластинкахъ. Когда аккумуляторъ разряжается, эта химическая энергія снова превращается въ энергію тока.—Такъ какъ въ заряженномъ аккумуляторѣ не происходитъ химическаго измѣненія, если пластинки не соединены проводникомъ, то энергія можетъ сохраняться въ аккумуляторахъ продолжительное время.

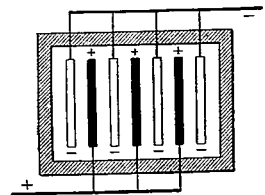
При разрядѣ электродвижущая сила аккумулятора быстро падаетъ до 2 вольтъ, а при дальнѣйшемъ разрядѣ и до 1·8 вольтъ. Аккумуляторъ не выноситъ сильнаго тока ни при зарядѣ, ни при разрядѣ. Вообще токъ не долженъ переходить

Рис. 328



Аккумуляторъ.

Рис. 329



Соединеніе пластинокъ въ аккумуляторѣ.

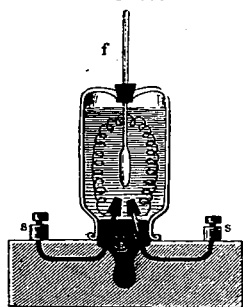
0·6 ампера на каждый квадратный дециметръ поверхности аккумулятора какъ при зарядѣ, такъ и при разрядѣ. Въ хорошемъ аккумуляторѣ каждый квадратный дециметръ поверхности пластинокъ обладаетъ ёмкостью приблизительно въ 2 амперъ-часа.

Полученіе тепла и свѣта при помощи электрическаго тока

388. На своемъ пути электрической токъ постоянно выдѣляетъ тепло. Болѣе раннія наблюденія надъ теплотой, выдѣляемой электрическими искрами, были упомянуты выше (§ 301). Впослѣдствіи нашли, что электрической токъ развиваетъ тѣмъ больше теплоты, чѣмъ больше сопротивленіе, которое ему нужно преодолѣть. Дэви пытался сравнить проводимость различныхъ металловъ измѣрешемъ тепла, развиваемаго электрическимъ токомъ въ проволокахъ изъ этихъ металловъ. Полное объясненіе тепловаго дѣйствія электрическаго тока было, однако, впервые дано Джаулемъ. Это было сдѣлано при помощи тѣхъ же опытовъ, которыми онъ началъ свои изслѣдованія надъ опредѣленіемъ тепловаго эквивалента.

На рис. 330 изображенъ приборъ, посредствомъ котораго Ленцъ подтвердилъ результаты, полученные Джаулемъ. Проволоки, идущія отъ полюсовъ, закрѣплены въ *s* и *s*, такъ что токъ, какъ видно изъ рисунка, долженъ пройти черезъ двѣ толстыхъ

Рис. 330



Выдѣленіе тепла электрическимъ токомъ.

проволоки и спираль изъ тонкой проволоки. Спираль помѣщена въ спиртѣ, температура котораго отсчитывается по термометру *f*. Теплота, развитая токомъ въ опредѣленный промежутокъ времени, напримѣръ, въ одну секунду, можетъ быть легко вычислена, если извѣстны повышение температуры спирта и его удѣльная теплота. Последняя равна 0·6.

Джауль нашелъ, что количество теплоты, выдѣляемое токомъ, при неизмѣнной силѣ тока пропорціонально сопротивленію, при неизмѣнномъ же сопротивленіи оно пропорціонально квадрату силы тока (такъ называемый законъ Джауля).

Токъ въ 1 амперъ даетъ при сопротивленіи въ 1 омъ 0·24 граммкалоріи въ секунду.

Зная это, при помощи закона Джауля можно легко вычислить количество теплоты, которое выдѣляется въ проводникѣ, когда извѣстны сила тока и сопротивленіе. Напримѣръ, въ проводникѣ съ сопротивленіемъ въ 20 омовъ токъ въ 5 амперъ выдѣляетъ въ 5 минутъ $0\cdot24 \times 20 \times 5^2 \times 300 = 36000$ граммкалорій.

Нужно замѣтить, что тепловое дѣйствіе тока растетъ гораздо быстрее, чѣмъ сила тока. Если, напримѣръ, два провода съ большой разностью напряженій приходятъ въ соприкосновеніе другъ съ другомъ (короткое замыканіе), то при незначительномъ сопротивленіи проводовъ можетъ получиться сильный токъ. Въ этомъ случаѣ возникаетъ опасность, что проводъ можетъ быть разрушенъ (расплавленъ) получающимся тепломъ. Чтобы помѣшать этому, въ проводъ включаютъ короткую свинцовую проволоку, такъ называемый свинцовый предохранитель. Тогда, если сила тока становится угрожающей, свинцовый предохранитель расплавляется и токъ прерывается, прежде чѣмъ онъ начнетъ разрушать настоящий проводъ.

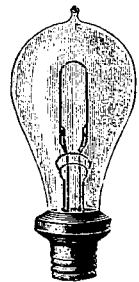
389. Накаливание посредством электрического тока находить инородное применение в электрических лампах накаливания. Уже в 1841 году Молейнсъ в Англии построил электрическую лампу накаливания. Она состояла из стеклянного шара, в который входила платиновая проволока, впаянная в его стѣнки и накаливаемая электрическим токомъ. Проволока была посыпана угольной пылью, а воздухъ былъ тщательно выкачанъ изъ шара. Уголь, накаливаясь, давалъ сильный бѣлый свѣтъ. Эта лампа имѣла, однако, тотъ недостатокъ, что скоро портилась вслѣдствіе того, что платиновая проволока расплавлялась, когда сила тока переходила извѣстную норму.

Новая лампа накаливания была устроена в 1845 году американцемъ Старромъ. Платиновая проволока была замѣнена в ней тонкимъ угольнымъ стерженькомъ (изъ ретортнаго угля). Однако, даже и в томъ случаѣ, когда воздухъ изъ шара былъ хорошо выкачанъ, лампа скоро становилась негодной отъ того, что в порахъ угля заключался воздухъ и стерженекъ перегоралъ. Поэтому снова вернулись къ металлическимъ проволокамъ. Былъ также изобрѣтенъ (1858) регуляторъ, не позволявшій току подыматься выше извѣстной нормы и разрушать лампу вслѣдствіе плавления проволоки. Тѣмъ не менѣе, лампа накаливания не находила пока практическаго примѣненія, такъ какъ свѣтъ, излучавшійся накаленной платиновой проволокой, не былъ достаточно интенсивенъ. Лишь послѣ того, какъ извѣстный американскій изобрѣтатель Эдисонъ (род. 1847) замѣнилъ в 1879 году платиновую проволоку угольной нитью (обугленное бамбуковое волокно), лампа накаливания нашла практическое примѣненіе. Угольная нить заключается в стеклянную грушу (рис. 331). Концы нити прикрѣплены къ двумъ платиновымъ проволокамъ, впаяннымъ в стекло, изъ коихъ одна проволока соединена съ металлической пластинкой в нижней части груши, а другая съ металлической винтовой нарезкой на шейкѣ груши. Лампа ввинчивается в гильзу, которая устроена такъ, что проволока, доставляющая токъ, касается винтовой нарезки, а проволока, отводящая токъ, — металлической пластинки.

Очень важно, чтобы накаливающаяся нить имѣла одну и ту же толщину по всей длинѣ. Въ противномъ случаѣ она накалялась бы не одинаково сильно в мѣстахъ различной толщины, и в томъ мѣстѣ, гдѣ она тоньше всего, она тотчасъ же перегорѣла бы. Чтобы дать нити равномерную толщину, ее погружаютъ в углеводородъ съ высокимъ содержаниемъ углерода (напримѣръ, в пары газоліна) и накаляютъ посредствомъ электрическаго тока. Тогда углеродъ выдѣляется, отлагаясь на поверхности нити в видѣ блестящаго, какъ сталь, покрова и именно больше всего в тѣхъ мѣстахъ, которыя сильнѣе всего накалены, т. е. в которыхъ нить наиболѣе тонка.

Напряжение, необходимое для накаливания нити, опредѣляется ея длиной и толщиной, равно какъ и силой свѣта, которую желаютъ получить. Размѣры лампочекъ накаливания выбираютъ обыкновенно такимъ образомъ, что для нихъ требуется напряжение в 65, в 100 или в 110 вольтъ. Сила свѣта обыкновенно составляетъ 16, 25 или 32 нормальныхъ свѣчи. Однако, изготовляются какъ болѣе слабыя, такъ и болѣе сильныя лампочки. Продолжительность горѣнія лампы различна в зависи-

Рис. 331



Лампа накаливания.

мости отъ того, горитъ ли она болѣе или менѣе экономно въ отношеніи потребленія электричества. Чѣмъ выше температура, до которой накалена нить, тѣмъ большая часть энергіи тока превращается въ свѣтъ. Но при высокой температурѣ проволока разрушается скорѣе, чѣмъ при низкой.

390. Затрата электричества лампой накаливанія можетъ быть рассчитана съ помощью закона о тепловомъ дѣйствіи электрическаго тока, если при этомъ помнить, что механическій эквивалентъ тепла равенъ 424 килограмметрамъ.

Если сила тока будетъ i , а сопротивление, которое нужно преодолѣть току, равно w , то согласно закону Джауля токъ развиваетъ въ проводѣ $0.24 \times i^2 \times w$ граммкалорій въ секунду. Вся работа, совершаемая токомъ, состоитъ въ выдѣленіи тепла.

Теплота, выдѣлившаяся въ одну секунду, равна, слѣдовательно, $0.24 \times i^2 \times w$ граммкалорій. Но произведеніе $i \times w$ согласно закону Ома равно напряженію тока, выраженному въ вольтахъ (амперы \times омы = вольтамъ). Обозначимъ напряженіе черезъ e ; выраженіе для выдѣлившейся теплоты получить видъ $0.24 \times i \times e$ граммкалорій или $\frac{0.24 \times i \times e}{1000}$ килограммкалорій. Чтобы преобразовать это количество теплоты въ килограмметры, нужно полученное число умножить на 424. Такимъ образомъ, величина работы тока въ секунду будетъ

$$\frac{0.24 \times i \times e}{1000} \times 424 = 0.10176 \times i \times e \text{ килограмметровъ.}$$

Слѣдовательно, работоспособность тока пропорціональна произведенію силы тока (амперы) и напряженія (вольты).

Чтобы опредѣлить, сколько „вольтъ-амперовъ“ долженъ имѣть токъ для того, чтобы его работоспособность равнялась лошадиной силѣ, нужно вспомнить, что лошадиная сила есть сила, которая совершаетъ въ секунду работу въ 75 килограмметровъ. Изъ равенства

$$0.10176 \times i \times e = 75$$

получается

$$i \times e = 736 \text{ вольтъ-амперамъ.}$$

Слѣдовательно, лошадиная сила соответствуетъ энергіи тока въ 736 вольтъ-амперъ или въ 736 ваттъ. Динамомашинна, дающая при напряженіи въ 150 вольтъ токъ въ 10 амперъ, совершаетъ въ секунду работу въ 1500 ваттъ или $1500 : 736 = 2.04$ лошадиной силы.

391. Теперь мы можемъ рассчитать количество энергіи, потребленное лампой накаливанія. Въ общемъ можно считать, что каждая единица силы свѣта въ одну нормальную свѣчу расходуетъ 3 ватта. Слѣдовательно, лампа въ 16 свѣчей расходуетъ 48 ваттъ. Если не считаться съ продолжительностью существованія лампы, то силу свѣта въ одну нормальную свѣчу можно получить при затратѣ только 1.5 ватта. Въ этомъ случаѣ сопротивление угольной нити должно быть больше, т. е. нить должна быть тоньше. Чѣмъ тоньше угольная нить, тѣмъ скорѣе она разрушается. Продолжительность горѣнія лампы, въ которой затрачивается 3 ватта на одну нормальную свѣчу, равна приблизительно 1000 часамъ, а продолжительность горѣнія лампы, въ которой та же сила свѣта получается затратой 1.5 ватта, равна, напротивъ, только 250 часамъ. Если положить 3 ватта на одну нормальную свѣчу, то

одна (электрическая) лошадиная сила дает силу свѣта въ $736:3 = 245:3$ нормальныхъ свѣчей.

392. Первая электрическая лампа была, однако, не лампа накаливанія, а дуговая лампа. На сѣздѣ естествоиспытателей въ Женевѣ въ 1820 году Деларивъ пропускалъ между угольными остріями искры, полученныя отъ батареи въ 380 мѣдноцинковыхъ элементовъ. При надлежащемъ разстояніи между послѣдними искры образовали равномерную ослѣпительно-бѣлую свѣтовую дугу. Что сгораше угля при этомъ не играетъ роли, Деларивъ показалъ, получая свѣтовую дугу въ безвоздушномъ пространствѣ. Свѣтовая дуга представляетъ собою мостикъ изъ оторванныхъ частичекъ угля, переносимыхъ съ положительнаго полюса на отрицательный и очень хорошо проводящихъ электричество.

Въ слѣдующемъ году Дэви произвелъ съ дуговымъ свѣтомъ опытъ въ большомъ масштабѣ. Для полученія тока служила батарея въ 2000 элементовъ, квадратныя мѣдныя и цинковыя пластинки которыхъ имѣли стороны въ 2 *дцм* длиною. Сначала токъ замкнули, когда угольныя острія касались другъ друга; затѣмъ ихъ раздвинули и между ними появилась свѣтовая дуга. Этимъ путемъ Дэви получилъ дугу въ 8 *см* длиною; но угли сгорали очень быстро. Чтобы устранить это, онъ помѣстилъ угли въ стеклянный шаръ и выкачалъ изъ него воздухъ до давленія въ 6 *мм*, ртутнаго столба. Теперь угли не сгорали и свѣтовая дуга достигала въ разрѣженномъ пространствѣ длины въ 18 *см*.

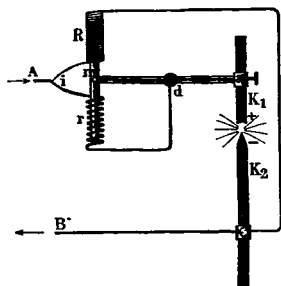
Полученіе дугового свѣта было значительно усовершенствовано тѣмъ, что въ 1844 году Фуко замѣнилъ деревянный уголь, которымъ пользовались Деларивъ и Дэви, ретортнымъ углемъ. Этотъ ретортный или газовый уголь осаждается на внутреннихъ стѣнкахъ реторты, въ которыхъ происходитъ перегонка каменнаго угля для добыванія свѣтильнаго газа. Онъ очень твердъ, хорошо проводитъ электричество и сгораетъ при гораздо болѣе высокой температурѣ, чѣмъ деревянный уголь.

Практическое примѣненіе для цѣлей освѣщенія дуговая лампа могла получить лишь послѣ изобрѣтенія динамомашинны. Но и тогда еще она должна была быть существенно улучшена въ одномъ отношеніи, именно ее нужно было снабдить приспособленіемъ, при помощи котораго автоматически регулировалось бы разстояніе между угольными палочками. Это было достигнуто лишь въ 70-хъ годахъ прошлаго столѣтія. Свѣтъ наиболѣе силенъ, когда разстояніе между углями незначительно. Но такъ какъ угли сгораютъ, то палочки приходится постоянно сближать одну съ другой. Положительный уголь сгораетъ болѣе, чѣмъ вдвое, быстрѣе отрицательнаго; вслѣдствіе этого ему даютъ вообще болѣе діаметръ.

393. Въ настоящее время существуетъ нѣсколько видовъ дуговыхъ лампъ. На рис. 332 изображена такъ называемая дифференціальная лампа. Отрицательный уголь K_2 неподвиженъ, положительный же K_1 , укрѣпленный на одномъ плечѣ рычага, вращающагося около точки d , наоборотъ, подвиженъ. На другомъ плечѣ рычага укрѣпленъ желѣзный стержень m , окруженный сверху и снизу проволочными обмотками. Токъ вступаетъ при A и раздѣляется въ обѣ обмотки, изъ коихъ верхняя обладаетъ значительно большимъ сопротивленіемъ, чѣмъ нижняя. Изъ рисунка легко можно видѣть, какой путь проходятъ въ лампѣ обѣ части тока до точки выхода B . Допустимъ, что токъ замыкается, когда угли касаются другъ друга. Въ этомъ мѣстѣ токъ не встрѣчаетъ замѣтнаго сопротивленія и поэтому по верхней обмоткѣ токъ, такъ сказать,

вовсе не идетъ. Результатомъ этого будетъ то, что желѣзный стержень *m* будетъ притягиваться внизъ, такъ какъ въ нижней обмоткѣ (главный проводъ) токъ сильно дѣйствуетъ притягательнымъ образомъ на *m*. Вслѣдствіе перемѣщенія *m* угли раздвигаются и между ними появляется свѣтовая дуга. Когда разстояніе между углями увеличивается, токъ въ нижней обмоткѣ ослабѣваетъ, а въ верхней, наоборотъ, усиливается. Поэтому *m* притягивается вверхъ и угли сближаются. Такимъ образомъ, токъ въ лампѣ удерживаетъ угли на надлежащемъ разстояніи. Если замкнуть токъ, когда угли не касаются другъ друга, то лампа всетаки начинаетъ дѣйствовать. Именно, въ

Рис. 332



Дифференциальная лампа.

Рис. 333



Угли дуговой лампы.

этомъ случаѣ весь токъ въ первое мгновеніе идетъ по верхней обмоткѣ. Поэтому *m* поднимается, угли приходятъ въ соприкосновеніе, и токъ идетъ по главному проводу, т. е. черезъ угли.

Концы углей горячей дуговой лампы принимаютъ своеобразную форму (рис. 333). Положительный уголь принимаетъ форму кратера и испускаетъ сильный свѣтъ. Отрицательный уголь заостряется и свѣтитъ меньше, чѣмъ положительный. Длина свѣтовой дуги, т. е. разстояніе между углями, различна у лампъ различной величины. Въ маленькихъ лампахъ длина свѣтовой дуги равна 1 мм., въ большихъ она доходитъ до 4 мм.

394. Свѣтъ дуговой лампы дешевле, чѣмъ свѣтъ лампы накаливанія. На нормальную свѣчу въ дуговой лампѣ расходуется 0,4 ватта энергіи, т. е. приблизительно седьмая часть той энергіи, которая требуется для лампы накаливанія.

Но дуговая лампа можетъ примѣняться лишь тамъ, гдѣ есть надобность въ большихъ количествахъ свѣта. Разность напряженій на угляхъ во время горѣнія лампы равна въ среднемъ 45 вольтамъ. Для обслуживанія дуговыхъ лампъ пользуются токами отъ 3 до 20 амперъ. Силы свѣта, соответствующія различной силѣ тока, можно видѣть изъ слѣдующей таблицы.

Сила тока въ амперахъ.	3	4	5	6	7	8	9	10	12	20
Сила свѣта въ нормальныхъ свѣчахъ	250	360	470	580	700	830	980	1130	1450	3000

Изъ этой таблицы видно, что свѣтъ тѣмъ дешевле, чѣмъ сильнѣе токъ.

Такъ какъ большая часть свѣта получается отъ кратера положительнаго угля, то дуговая лампа можетъ освѣщать большую поверхность лишь съ значительной высоты.

Электрическіе разряды въ разрѣженномъ воздухѣ

395. Длина, которой можетъ достигать электрическая искра, зависитъ отъ разности напряженій электричества въ тѣхъ двухъ тѣлахъ, между которыми она проскакиваетъ. Для полученія большихъ разностей напряженія служитъ индукціонный приборъ, который по имени изобрѣтателя называютъ катушкой или спиралью Румкорфа, а также искровымъ индукторомъ. Въ существенномъ онъ состоитъ изъ тѣхъ же частей, какъ и приборъ, описанный раньше (§ 379). Вокругъ пучка желѣзныхъ проволокъ *gg* обматывается толстая изолированная мѣдная проволока, первичная обмотка *AA* (съ концами *a* и *a'*, рис. 334). Вокругъ обмотки *AA* намотана очень тонкая и очень хорошио изолированная мѣдная проволока, индукціонная обмотка *BB* (съ концами *b* и *b'*). Въ большихъ приборахъ она можетъ достигать 300 км длины.

По обмоткѣ *AA* пропускаютъ токъ въ 5—10 амперовъ. При этомъ желѣзный сердечникъ сильно намагничивается и въ обмоткахъ индуцируется токъ. Между *b* и *b'* возникаетъ разность напряженій и проскакиваетъ искра.—Разумѣется, индукція продолжается до тѣхъ поръ, пока въ *gg* происходитъ измѣненіе магнитизма. Когда токъ въ *AA* прерывается, желѣзный сердечникъ размагничивается, въ *BB* снова происходитъ индукція и между *b* и *b'* возникаетъ разность напряженій. Если разстояніе между *b* и *b'* не очень велико, то искра проскакиваетъ какъ при замыканіи, такъ и при размыканіи тока.

Тѣ двѣ искры, которая получаютъ при замыканіи тока и при его размыканіи, очень различны по своей силѣ, — послѣдняя значительно сильнѣе первой. При прерываніи тока въ *AA* между *b* и *b'* получается гораздо болѣе значительная разница напряженій, чѣмъ при замыканіи тока. Причина этого лежитъ не въ томъ, что при размыканіи тока получается больше электричества, чѣмъ при его замыканіи, а въ томъ, что главный токъ достигаетъ своей

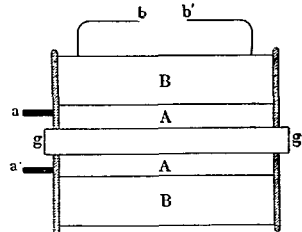
полной силы не мгновенно послѣ замыканія. Вслѣдствіе этого индуцирующее дѣйствіе при замыканіи главного тока продолжается дольше, чѣмъ при его прерываніи. Именно, если замкнуть и прервать главный токъ, то индуцированный токъ возникаетъ не только въ индукціонной обмоткѣ, но и въ главной обмоткѣ (самоиндукція). Этотъ индуцированный токъ, такъ называемый экстратокъ, при замыканіи дѣйствуетъ противоположно главному току, а при размыканіи въ одномъ направленіи съ нимъ. Поэтому въ первомъ случаѣ онъ ослабляетъ главный токъ, въ послѣднемъ же усиливаетъ его.

Если помѣстить *b* и *b'* на извѣстномъ разстояніи, то между ними будутъ проскакивать искры только при размыканіи тока, при замыканіи же его искръ не будетъ.

Если при этомъ первичный токъ будетъ замыкаться и размыкаться Вагнеровскимъ молоточкомъ, то между *b* и *b'* будутъ проскакивать искры въ одномъ и томъ же направленіи.

Искровой индукторъ современной конструкции представленъ на рис. 335. Токъ батареи вступаетъ въ главную спираль въ *a* и выходитъ изъ нея въ *b*. Концы индукціонной спирали соединяются съ зажимами *F* и *G*. *N* представляетъ коммутаторъ, при помощи котораго можно удобно прерывать и замыкать токъ, а также

Рис. 334



Приборъ Румкорфа.

давать ему противоположное направлѣніе. Рычажекъ *gcs* представляетъ приспособленіе для прерыванія. Токъ батареи замыкается, когда металлическій штифтикъ *h* погружается въ ртуть, налитую въ сосудъ *R*. Но какъ только токъ замыкается, якорь *s* притягивается желѣзнымъ сердечникомъ главной спирали. Вслѣдствіе этого прикосновение между *h* и ртутью прекращается и токъ прерывается. Металлическій штифтикъ *h* снова падаетъ въ ртуть, токъ снова замыкается и т. д. Металлическій стерженекъ, идущій вверхъ отъ точки вращенія рычага, служитъ для того, чтобы перемѣщеніемъ

шарика *h* ускорять или замедлять колебанія рычажка.

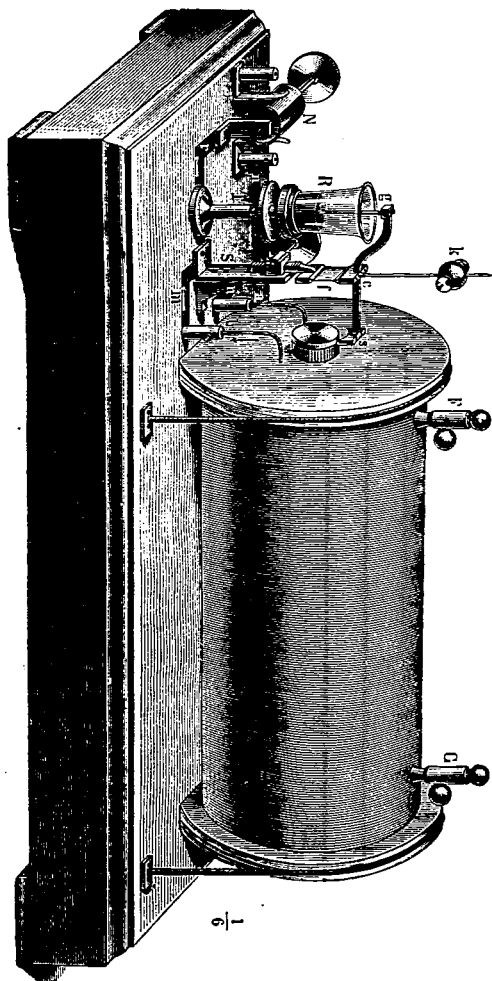
Для того чтобы избѣжать образованія сильныхъ искръ между желѣзнымъ остриемъ и ртутью, на ртуть наливаютъ немного спирта. Послѣдній проводитъ электричество еще хуже, чѣмъ воздухъ.

Большія Румкорфовы катушки даютъ искры длиною до 50 см.

396. Уже въ 1838 году Фарадэй изслѣдовалъ электрическій разрядъ въ разрѣженномъ воздухѣ и при этомъ, между прочимъ, онъ наблюдалъ темный разрядъ. *A* и *K* (рис. 336) представляютъ двѣ металлических палочки въ разрѣженномъ воздухѣ. Если сообщить концу *A* положительный, а концу *K* отрицательный зарядъ, то на *A* образуется красноватый размытый свѣтъ, направляющійся къ *K*, но не доходящій до него. Конечъ *K* самъ окруженъ голубоватымъ свѣтомъ. Между этими двумя свѣтлыми полосами находится темное пространство, по которому электричество переходитъ отъ *A* къ *K*, не производя свѣта.

Рис. 335

Искровой индукторъ.



Фарадэй назвалъ свѣтъ на положительномъ полюсѣ аноднымъ свѣтомъ, на отрицательномъ—катоднымъ свѣтомъ. Эти названія употребляются еще и теперь. Прошло почти 30 лѣтъ, прежде чѣмъ снова взяли за изслѣдованія Фарадэя и повели ихъ дальние.

Въ 1854 году Гассио (§ 359), производившій обширныя изслѣдовація электрической искры, изобрѣлъ стеклянную трубку, которая изображена на рис. 337 и которая служитъ для наблюденія электрическихъ разрядовъ въ разряженномъ воздухѣ. Позднѣе эта трубка получила имя Гейсслеровой трубки, такъ какъ такія трубки стали превосходно дѣлать докторъ Гейсслеръ въ Боннѣ. Въ концы трубки впаяны платиновыя проволоки, соединяющіяся съ полюсами Румкорфовой спирали. Черезъ *a* выкачивается воздухъ и электрическій зарядъ можно наблюдать въ воздухѣ, разряженномъ въ той или иной степени.

397. Пока воздухъ, заключающійся въ трубкѣ, имѣетъ еще плотность атмосфернаго воздуха, между платиновыми проволоками проскакиваетъ обыкновенная электрическая искра. Но если затѣмъ начать разряжать воздухъ, то искра теряетъ свои рѣзкія очертанія и трубка наполняется красноватымъ свѣтомъ, распространяющимся отъ анода и доходящимъ до голубого свѣта вокругъ катода. Если разрядить воздухъ до $\frac{1}{200}$ первоначальной плотности, то первоначальный анодный

Рис. 336



Темный зарядъ.

Рис. 337



Гейсслерова трубка.

свѣтъ заполняетъ всю трубку. Если вести разряженіе воздуха еще дальше, то анодный свѣтъ раздѣляется на слои и эти свѣтящіеся слои, раздѣленные темными промежутками, постоянно мѣняютъ свою форму и окраску. При дальнѣйшемъ разряженіи анодный свѣтъ въ концѣ концовъ совершенно исчезаетъ, зато возникаетъ совершенно новое явленіе, исходящее изъ катода. При слабомъ разряженіи, какъ сказано, катодъ окруженъ голубоватымъ сіяніемъ. Въ немъ можно различить три части: небольшой слой свѣта у самаго катода, темное пространство вокругъ этого слоя и еще одинъ свѣтящійся слой вокругъ темнаго пространства. При очень большомъ разряженіи темное пространство въ катодномъ свѣтѣ постепенно увеличивается и, наконецъ, доходитъ до стекла. Тогда послѣднее начинаетъ свѣтиться зеленымъ, желтозеленымъ или желтымъ свѣтомъ (смотря по составу стекла). Другими словами, когда темное пространство катоднаго свѣта достигаетъ стекла, послѣднее начинаетъ флуоресцировать (ср. I, § 390).

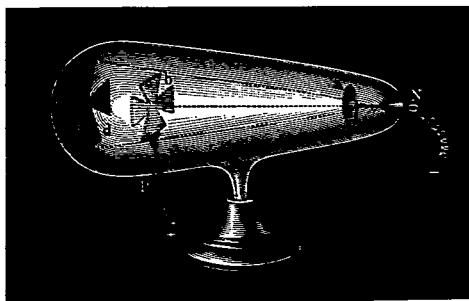
Въ 1869 году Гитторфъ (§ 356) напечаталъ работу, положившую основаніе изслѣдоваціи этихъ явленій, но не нашедшую, однако, надлежащей оцѣнки. Только спустя 10 лѣтъ вниманіе всѣхъ физиковъ было обращено на явленія катоднаго свѣта англійскимъ физикомъ Вильямомъ Круксомъ (род. 1832). Этотъ ученый охватилъ всѣ эти явленія съ одной общей точки зрѣнія. Онъ исходилъ изъ допущенія, что при сильномъ разряженіи воздуха его частички отталкиваются электродами съ огромными скоростями, притомъ отъ катода съ значительно большими, чѣмъ отъ анода. Значительное разряженіе воздуха даетъ молекуламъ гораздо больше мѣста для свободнаго движенія. Круксъ допустилъ, что въ сильно разряженномъ состояніи воздухъ обладаетъ совершенно иными свойствами, чѣмъ при обыкновенной плот-

ности,—что онъ находится, такъ сказать, въ „четвертомъ состояніи“. Сильно разряженный воздухъ, находящійся въ этомъ состояніи, Круксъ назвалъ лучистой матеріей.

Темное пространство въ катодномъ свѣтѣ Круксъ считалъ тѣмъ пространствомъ, въ которомъ отрицательно заряженныя частицы воздуха движутся отъ катода по прямымъ линіямъ, перпендикулярнымъ къ поверхности катода. Здѣсь названіе „лучистой матеріи“ прекрасно подходитъ. Въ настоящее время эти явленія излученія называются катодными лучами.

398. Важнѣйшими свойствами катодныхъ лучей, наблюдавшихся Гитторфомъ и Круксомъ, являются слѣдующія. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ катодные лучи падаютъ на

Рис. 338



Прямолинейное распространіе катодныхъ лучей.

стеклянную стѣнку, стекло начинаетъ флуоресцировать. Очень красивый опытъ, обнаруживающій это, можно произвести при помощи прибора, изображеннаго на рис. 338. Въ стеклянномъ сосудѣ воздухъ разрѣжается до нѣсколькихъ миллионныхъ долей атмосферы. Анодъ *b* имѣетъ форму креста и, какъ и катодъ, сдѣланъ изъ алюминія. Если соединить *P* и *N* съ Румкорфовой спиралью, то изъ *a* начинаютъ исходить катодные лучи и стекло начинаетъ флуоресцировать. Что эти лучи распро-

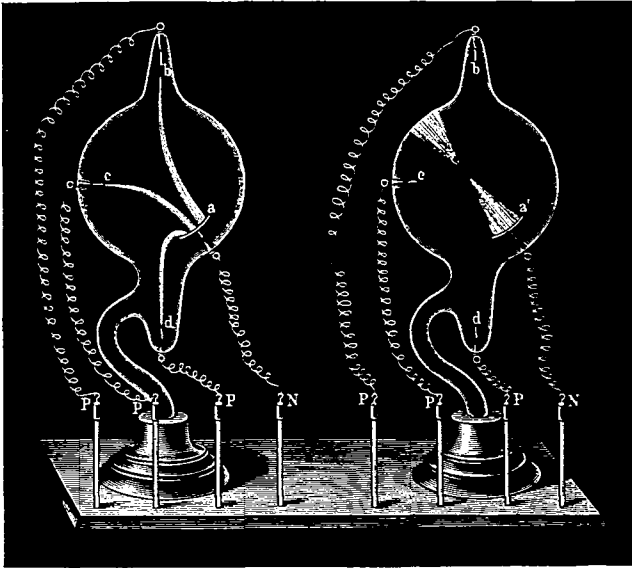
страняются прямолинейно, можно видѣть по тѣни креста на стеклянной стѣнкѣ. Этотъ крестъ въ стеклянномъ сосудѣ устроенъ такъ, что его можно отклонить въ сторону. Если сдѣлать это, то тѣнь мгновенно исчезаетъ. Болѣе того—на томъ мѣстѣ, гдѣ раньше была тѣнь, теперь замѣчается свѣтящійся крестъ, такъ какъ флуоресценція въ томъ мѣстѣ, гдѣ была тѣнь, проявляется сильнѣе, чѣмъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ стекло уже флуоресцировало нѣсколько времени.

Катодные лучи выходятъ перпендикулярно къ поверхности катода, гдѣ бы ни находился анодъ. Такимъ образомъ, съ катодными лучами дѣло происходитъ совершенно иначе, чѣмъ съ разрядомъ въ не столь разряженномъ воздухѣ. *A* и *B* (рис. 339) представляютъ двѣ Круксовыя трубки; въ *A* плотность составляетъ $\frac{1}{400}$, а въ *B* $\frac{1}{1000000}$ атмосферы. Въ обѣихъ трубкахъ катодъ *a* имѣетъ форму вогнутаго зеркала и въ каждой изъ нихъ есть аноды *b, c, d*. Въ трубкѣ *A* отъ *b* или отъ *c* или отъ *d*, смотря по тому, что соединено съ Румкорфовой спиралью, идетъ красноватое сіяніе къ катоду *a*, который самъ окруженъ голубоватымъ свѣтомъ. Напротивъ, въ *B* лучи идутъ перпендикулярно къ катоду, имѣющему форму вогнутаго зеркала, и образуютъ конусъ лучей, падающій на противоположащее мѣсто стеклянной стѣнки, независимо отъ того, какой изъ трехъ анодовъ *b, c* и *d* соединенъ съ катушкою Румкорфа.

Катодные лучи производятъ механическое дѣйствіе (удары) на тѣла, на которыя они падаютъ. Легкое колесо съ лопатками, ось котораго лежитъ на

стеклянныхъ палочкахъ (рис. 340), подъ дѣйствиємъ катодныхъ лучей начинаетъ двигаться.

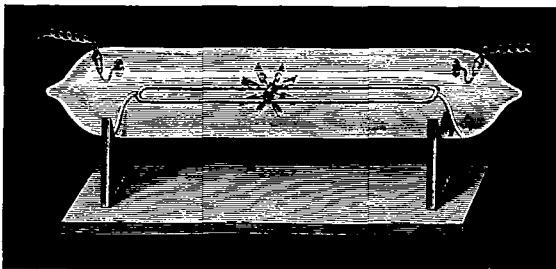
Катодные лучи нагрѣваютъ тѣла, на которыя они падаютъ. Если лучи,
Рис. 339



Разрядъ при различныхъ разряженіяхъ.

исходящіе отъ катода, имѣющаго форму вогнутаго зеркала, попадаютъ на платиновую проволоку, находящуюся въ фокусѣ этого зеркала (рис. 341), то послѣдняя накаляется.

Рис. 340

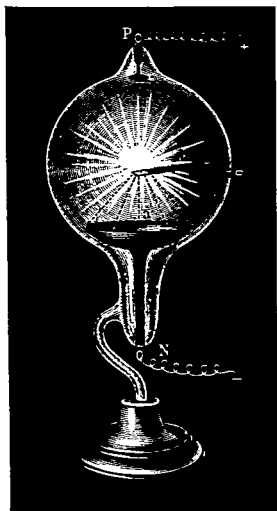


Механическое дѣйствіе катодныхъ лучей.

Наконецъ, нужно еще упомянуть, что катодные лучи отклоняются магнитомъ, какъ наблюдали Гитторфъ и Круксъ. Этимъ они существенно отличаются отъ свѣтовыхъ лучей.

399. Къ изслѣдоваціямъ Гитторфа и Крукса тѣсно примыкають изслѣдованія двухъ нѣмецкихъ физиковъ Герца и Ленарда. Генрихъ Герцъ (род. 1857 въ

Рис. 341



Тепловое дѣйствіе катодныхъ лучей.

Тепловыхъ лучей, то Герцъ доказалъ между прочимъ, что эти лучи могутъ проходить сквозь тонкія металлическія пластинки. Опытъ, посредствомъ котораго это было до-

Рис. 342



Генрихъ Герцъ.

казалъ при помощи опытовъ, что электрическія колебанія (ср. § 300) распространяются въ пространствѣ въ видѣ волнъ или лучей электрической силы, притомъ съ такой же скоростью, съ какой распространяется свѣтъ. Герцъ доказалъ, что эти лучи совершенно такъ же, какъ и лучи свѣта, отражаются, преломляются и поляризуются, а другимъ изслѣдователямъ удалось обнаружить у лучей электрической силы явленія двойного преломленія, диффракціи и интерференціи. Опыты Герца представили экспериментальное подтвержденіе электромагнитной теоріи свѣта, которая была предложена Максвеллемъ и въ основѣ которой лежитъ предположеніе, что свѣтотовыя колебанія являются колебаніями электромагнитными.—Что касается катодныхъ лучей, то Герцъ доказалъ между прочимъ, что эти лучи могутъ проходить

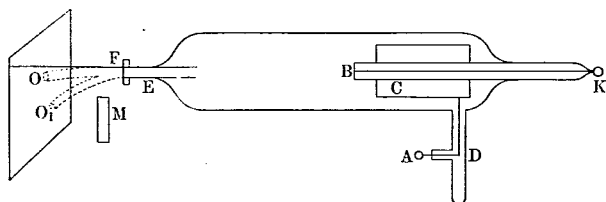
сквозь тонкія металлическія пластинки. Опытъ, посредствомъ котораго это было доказано, состоялъ въ томъ, что въ Круксовой трубкѣ помѣщалась стеклянная пластинка, на половину закрытая листочкомъ золота, въ такомъ положеніи, что катодные лучи падали на обѣ ея половины. Когда лучи падали на пластинку и если золотой листокъ не былъ слишкомъ толстъ, то какъ открытая, такъ и покрытая часть стеклянной пластинки начинали флуоресцировать. Это открытіе имѣло важное значеніе для дальнѣйшихъ изслѣдованій, такъ какъ оно дало возможность вывести катодные лучи изъ Круксовой трубки наружу. Герцъ предложилъ изслѣдовать ближе эти соотношенія своему младшему товарищу Ленарду (въ то время въ Гейдельбергѣ, теперь въ Килѣ).

Примѣненный Ленардомъ при его изслѣдованіяхъ приборъ изображенъ на рис. 343. В представляетъ катодъ. Въ F стеклянная

трубка закрыта листикомъ алюминія толщиною въ $\frac{1}{400}$ мм. *O* представляетъ бумажный экранъ, покрытый платиново-синеродистымъ баріемъ. Какъ нашель Ленардъ, эта соль флуоресцируетъ чрезвычайно сильно, когда на нее падаютъ катодные лучи.

Если теперь соединить этотъ приборъ съ искровымъ индукторомъ такъ, чтобы въ *A* былъ анодъ, а въ *K* катодъ, то катодные лучи падаютъ на листокъ алюминія, проходятъ сквозь него и даютъ на экранъ свѣтлое пятно *O*. Экранъ долженъ находиться недалеко отъ *F*, такъ какъ катодные лучи очень быстро поглощаются воздухомъ. Однако, дѣйствіе этихъ лучей простирается все же на разстояніи сантиметровъ въ 30 отъ *F*. Въ этомъ можно убѣдиться при помощи заряженнаго электро-скопа, который теряетъ свое электричество, когда эти лучи падаютъ на его шарикъ. Катодные лучи дѣлаютъ воздухъ электропроводящимъ.

Рис. 343



Опытъ Ленарда.

Ленардъ показаль, что магнитъ отклоняетъ катодные лучи какъ въ воздухѣ, такъ и въ безвоздушномъ пространствѣ. На рисункѣ *M* обозначаетъ магнитъ, подъ дѣйствіемъ котораго свѣтлое пятно перемѣщается изъ *O* въ *O*₁. Величина этого перемѣщенія различна при различной степени разрѣженія воздуха. Чѣмъ сильнѣе разрѣженъ воздухъ въ трубкѣ, тѣмъ меньше отклоняются магнитомъ катодные лучи. Существуютъ различные виды катодныхъ лучей. Ленардъ наблюдалъ, что иногда можно отклонить повидимому только часть катодныхъ лучей. Впрочемъ, онъ не обратилъ особеннаго вниманія на это наблюденіе. Еслибы онъ сдѣлалъ это, то, можетъ быть, ему удалось бы сдѣлать то открытіе, которымъ въ концѣ 1895 года профессоръ Рѣнтгенъ въ Вюрцбургѣ поразилъ міръ.

400. При опытахъ съ Гитторфовыми трубками Рѣнтгенъ (род. 1845 въ Леннепѣ) окружилъ одну изъ такихъ трубокъ коробкой изъ чернаго картона. Пропуская сквозь эту трубку разрядъ искрового индуктора, онъ замѣтилъ отчетливую флуоресценцію на сосѣднемъ бумажномъ экранѣ, покрытомъ платиново-синеродистымъ баріемъ, даже когда экранъ находился на разстояніи 2 м отъ трубки. Такимъ образомъ, сквозь картонъ проходило что-то, вызывавшее флуоресценцію платиновой соли. Это не могли быть катодные лучи, такъ какъ они не проходятъ сквозь картонъ. Изъ своихъ наблюденій Рѣнтгенъ нашель, что открытые имъ лучи, которые онъ назвалъ иксъ-лучами, проходятъ не только сквозь болѣе толстые слои бумаги, напри- мѣръ, сквозь книгу въ 1000 страницъ, но и сквозь доски въ нѣсколько сантиметровъ толщиной, сквозь алюминіевыя пластинки до 15 мм толщиною, сквозь пластинки эбонита и стекла, которыя помѣщались между разрядной трубкой и экраномъ. Онъ нашель, что всѣ тѣла безъ исключенія проницаемы для этихъ лучей, хотя въ различной степени. Тѣла вообще проницаемы тѣмъ меньше, чѣмъ они плотнѣе. А что дѣй-

ствіе, исходящее изъ трубки, представляло собой излученіе, это доказывалось получениемъ при этомъ дѣйстви тѣней. Если держать руку между трубкой и препарированной бумагой, то на послѣдней получается такъ называемое тѣневое изображеніе

Рис. 344



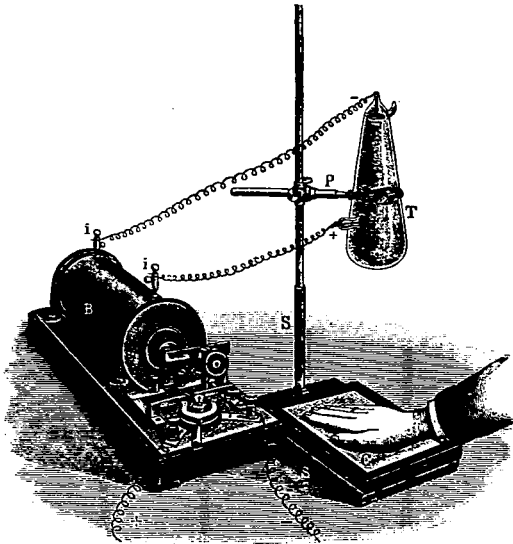
Рентгенографія руки

руки. А именно, мягкія части руки ослабляютъ флуоресценцію гораздо меньше, чѣмъ кости. Въ такомъ тѣневомъ изображеніи очень легко видѣть строеніе костей (рис. 344).

Рѣнтгенъ самъ задалъ вопросъ, не представляютъ ли эти лучи особаго рода катодныхъ лучей. Онъ отвѣтилъ на этотъ вопросъ отрицательно, такъ какъ катодные лучи не проходятъ въ атмосферный воздухъ почти безъ ослабленія, какъ его X-лучи, и такъ какъ катодные лучи отклоняются магнитомъ, который не оказываетъ никакого дѣйствія на лучи Рѣнтгена.

Для дальнѣйшаго изслѣдованія Рѣнтгеновскихъ лучей имѣло важное значеніе то обстоятельство, что обыкновенныя сухія фотографическія пластинки чувствительны

Рис. 345



Фотографированіе лучами Рѣнтгена.

къ этимъ лучамъ, такъ что ими можно фотографировать совершенно такъ же, какъ и свѣтовыми лучами. При фотографическихъ снимкахъ Рѣнтгеновскими лучами чувствительную пластинку можно помѣщать въ непроницаемую для свѣта деревянную кассету, такъ какъ для этихъ лучей дерево прозрачно. Такимъ образомъ, при фотографированіи Рѣнтгеновскими лучами не необходимости затемнять комнату. Фотографированіе этими лучами изображено на рис. 345. Въ кассетѣ С находится фотографическая пластинка.

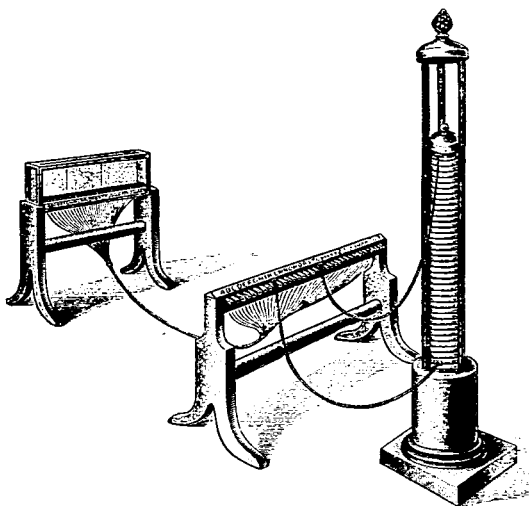
Телеграфія и телефонія

401. Въ концѣ XVIII столѣтія въ различныхъ странахъ былъ въ употребленіи оптический телеграфъ, изобрѣтенный Клодомъ Шаппомъ (1763—1805). Онъ состоялъ изъ сигнальных мачтъ съ подвижными штангами, какія употребляются еще и теперь въ желѣзно-дорожномъ дѣлѣ (семафоры). Различныя буквы обозначались различными положеніями этихъ штангъ. Въ 1793 году французское правительство построило такой

телеграфъ изъ Парижа въ Лилль (30 миль). Передача одного знака требовала двухъ минутъ и онъ передавался черезъ 20 станцій.

Около того же времени были сдѣланы и первыя попытки воспользоваться для телеграфированія электричествомъ. Было извѣстно, что электричество движется по металлической проволоцѣ чрезвычайно быстро. Такимъ образомъ, при помощи проволочныхъ проводовъ можно было бы передавать на далекія разстоянія разрядъ кондуктора электрической машины или лейденской банки. Однако, ни одинъ изъ множества проектовъ этого рода не былъ осуществленъ. Большое значеніе для этихъ проектовъ имѣло изобрѣтеніе Вольтова столба. Зѣммерингъ (род. 1765 въ Торнѣ, ум. 1830 во Франкфуртѣ-на-Майнѣ) пытался воспользоваться для телеграфированія химическимъ дѣйствіемъ гальваническаго тока (разложеніемъ воды). Построенный имъ приборъ изображенъ на рис. 346. Двѣ станціи соединяются посредствомъ 35 связанныхъ въ одинъ кабель, но хорошо изолированныхъ проволокъ. Проволока,

Рис. 346



Телеграфъ Зѣммеринга.

выходившая изъ *A*, соединялась съ *A*, выходившая изъ *B* соединялась съ *B* и т. д. Токъ Вольтова столба можно было замыкать тѣмъ или инымъ способомъ, напримѣръ, такъ, чтобы онъ проходилъ по проволокамъ *JJ* и *SS*, какъ указано на рисункѣ. Приемный аппаратъ по существу представлялъ собою приборъ для разложенія воды. Онъ имѣлъ 35 вызолоченныхъ металлическихъ остроконечій, соединившихся съ 35 проводами, съ каждымъ отдѣльно. Когда токъ замыкался посредствомъ проволокъ *JJ* и *SS*, то на соответствующихъ этимъ буквамъ металлическихъ остряхъ показывались пузырьки газа.

402. Телеграфъ Зѣммеринга не нашелъ примѣненія на практикѣ. Дѣйстви-тельно пригодные электрическіе телеграфы удалось построить только послѣ того, какъ Эрстедъ открылъ электромагнетизмъ. Еще въ томъ самомъ году, въ которомъ

было сдѣлано это открытіе (1820), Амперъ предлагалъ воспользоваться для устройства телеграфа дѣйствіемъ тока на магнитную стрѣлку. Онъ такъ же, какъ Зѣммерингъ, проекта котораго онъ совершенно не зналъ, думалъ воспользоваться отдѣльнымъ проводомъ для каждой буквы. Каждый изъ этихъ проводовъ долженъ былъ соединяться съ металлическимъ цилиндромъ и стрѣлки мультипликаторовъ должны были своими колебаніями указывать соотвѣтственныя буквы.

Значительное улучшеніе въ этотъ телеграфъ со стрѣлкой внесъ русскій П. Л. фонъ-Шиллингъ-Каннштаттъ (1786—1837), который нѣкоторое время находился въ составѣ русскаго посольства въ Мюнхенѣ и здѣсь познакомился съ Зѣммерингомъ. Его улучшеніе состояло въ томъ, что онъ пользовался не большимъ числомъ проводовъ, а только двумя, по одному изъ которыхъ токъ шель въ одну сторону, а по другому возвращался назадъ. Когда токъ замыкался при томъ или другомъ его направленіи, стрѣлка отклонялась вправо или влѣво.

Почти одновременно съ Шиллингомъ-Каннштаттомъ къ той же мысли пришли также Гауссъ и Веберъ въ Гёттингенѣ. Въ 1833 году они связали обсерваторію и физическій институтъ университета телеграфомъ со стрѣлкой. Провода шли на разстояніе около одного километра.

Буквы и цифры выражались слѣдующими сочетаніями отклоненій стрѣлки вправо и влѣво. Въ слѣдующей таблицѣ *r* означаетъ одно отклоненіе вправо, а *l* одно отклоненіе влѣво.

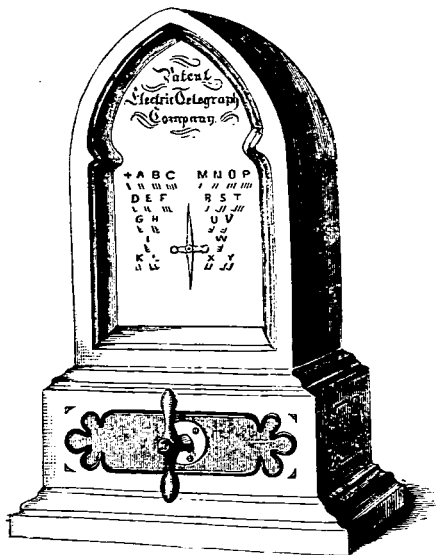
$r = a$	$lll = h$	$rll = 0$
$l = e$	$llr = l$	$rllr = 1$
$rr = i$	$lrl = m$	$lrrl = 2$
$rl = o$	$rll = n$	$lrlr = 3$
$lr = u$	$rrrr = p$	$llrr = 4$
$ll = b$	$rrrl = r$	$lllr = 5$
$rrr = c (k)$	$rrlr = s$	$llrl = 6$
$rll = d$	$rlrr = t$	$lrll = 7$
$rlr = f (v)$	$lrrr = w$	$rlll = 8$
$lrr = g$	$rrll = z$	$llll = 9$

Телеграфъ былъ значительно улучшенъ профессоромъ Штейнгейлемъ въ Мюнхенѣ (1801—1870), который въ 1837 году установилъ телеграфное соединеніе между Мюнхеномъ (Академія) и Богенгаузеномъ (Обсерваторія). Эти двѣ станціи находились на разстояніи $\frac{3}{4}$ мили другъ отъ друга. Подобно Гауссу съ Веберомъ, и Штейнгейль пользовался для полученія своихъ знаковъ магнитоэлектрическими токами. Приемный аппаратъ былъ устроенъ такъ, что колебанія магнитныхъ стрѣлокъ отмѣчали точки на полоскѣ бумаги, которая двигалась при помощи часового механизма. Такимъ образомъ, Штейнгейля можно назвать первымъ изобрѣтателемъ печатающаго телеграфа. Затѣмъ Штейнгейль сдѣлалъ важное наблюденіе, что для телеграфированія между двумя станціями достаточно только одного провода. Въ одной изъ своихъ телеграфныхъ установокъ онъ воспользовался для обратной отводки тока рельсами желѣзной дороги. Однажды, когда рельсы были гдѣ-то разъединены, онъ замѣтилъ, что несмотря на это телеграфъ можетъ работать. Отсюда онъ сдѣлалъ выводъ, что обратная отводка тока можетъ быть сдѣлана черезъ землю.

Дальнѣйшія улучшенія въ телеграфъ со стрѣлкой внесли Витстонъ и Кукъ

въ Англии, гдѣ ихъ телеграфъ употребляется еще и теперь. Внѣшній видъ такого телеграфа со стрѣлкой показанъ на рис. 347. Внутри коробки въ вертикальномъ положеніи находится стрѣлка мультипликатора, которая можетъ колебаться около горизонтальной оси. На обшей оси со стрѣлкой мультипликатора находится видимая внѣ коробки стрѣлка, которая колеблется одинаково съ первой. Видимая на рисунокѣ рукоятка (внизу) служитъ для замыканія, размыканія и обращенія тока. Отдѣльные части прибора такъ соединены другъ съ другомъ, что стрѣлка всегда дѣлаетъ такое же дви-

Рис. 347



Телеграфъ со стрѣлкой.

женіе, какое производится рукояткой. Какъ можно видѣть на рисунокѣ, буква *A* изображается двумя отклоненіями влѣво, *N* двумя отклоненіями вправо, *R* однимъ отклоненіемъ влѣво и однимъ вправо и т. д.

Другой роль телеграфа, изобрѣтенный также Витстономъ, есть телеграфъ съ циферблатомъ. Этотъ телеграфъ устроенъ такъ, что послѣдовательнымъ размыканіемъ и замыканіемъ тока можно съ отдаленной станціи приводить въ движеніе и останавливать на любомъ мѣстѣ циферблата, т. е. на любой буквѣ или цифрѣ, особый указатель (*Z*, рис. 348). До введенія во всеобщее употребленіе печатающаго телеграфа Морза, въ различныхъ странахъ были въ ходу различные телеграфы съ циферблатомъ, напимѣръ, въ Германіи телеграфъ Сименса и Гальске, во Франціи телеграфъ Бреге,

403. Самюэль Морзъ (род. 1791 въ Чарльзтоунѣ, Массачусетсъ, ум. 1872

въ Нью-Йоркѣ) посвятилъ себя живописи; въ 1811 году онъ пріѣхалъ въ Лондонъ и здѣсь посѣщалъ школу живописи. Что онъ не былъ лишенъ таланта, можно видѣть изъ того, что уже въ 1813 году онъ выставилъ въ Королевской Академіи въ Лондонѣ большую картину, удостоенную золотой медали. По окончаніи ученія онъ вернулся въ Америку, жилъ здѣсь въ различныхъ городахъ, основалъ въ Нью-Йоркѣ общество художниковъ и думалъ всецѣло отдаться искусству. Но ему пришлось бороться съ затрудненіями и работать, какъ ремесленнику, для снисканія себѣ пропитанія.

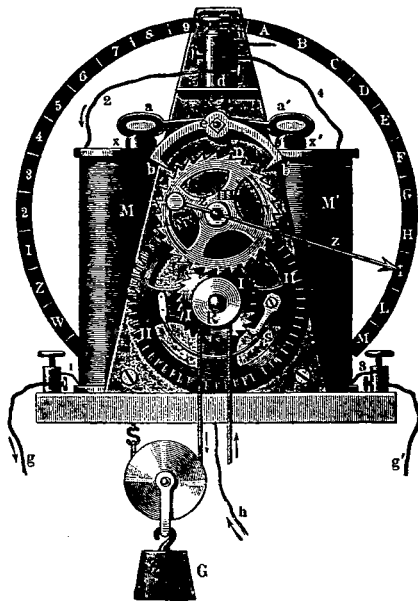
Зимою 1826/7 года Морзъ прослушалъ рядъ публичныхъ лекцій объ электричествѣ. Это натолкнуло его на размышленія о примѣненіяхъ электромагнетизма. Въ 1829 году онъ предпринялъ второе путешествіе въ Англію для ознакомленія съ тамошними школами рисованія. Въ то время въ Англии стоялъ на очереди вопросъ объ электрической телеграфіи и Морзъ живо заинтересовался имъ. Проектъ своего пишущаго телеграфа онъ набросалъ въ 1832 году на обратномъ пути въ Америку. Трудно сказать, какое вліяніе оказали на него опыты и проекты, дѣлавшіеся въ томъ

же направлени другими. Но во всякомъ случаѣ ему принадлежитъ заслуга приданія пишущему телеграфу практически удобной формы.

Первые телеграфные аппараты, построенные Морзомъ, были нѣсколько неуклюжи, но вскорѣ онъ самъ улучшилъ ихъ. Нынѣшнюю форму этихъ приборовъ можно видѣть на рис. 349 и 350. Первый рисунокъ представляетъ пишущий аппаратъ, а второй „клавишу“, служащую для замыканія тока, въ $\frac{1}{3}$ естественной величины.

Когда токъ замыкается, желѣзные сердечники электромагнита *E* намагничиваются и его якорь *o* притягивается. Вслѣдствіе этого штифтъ *s* на другомъ концѣ рычага

Рис 348



Витстоновъ телеграфъ съ циферблатомъ.

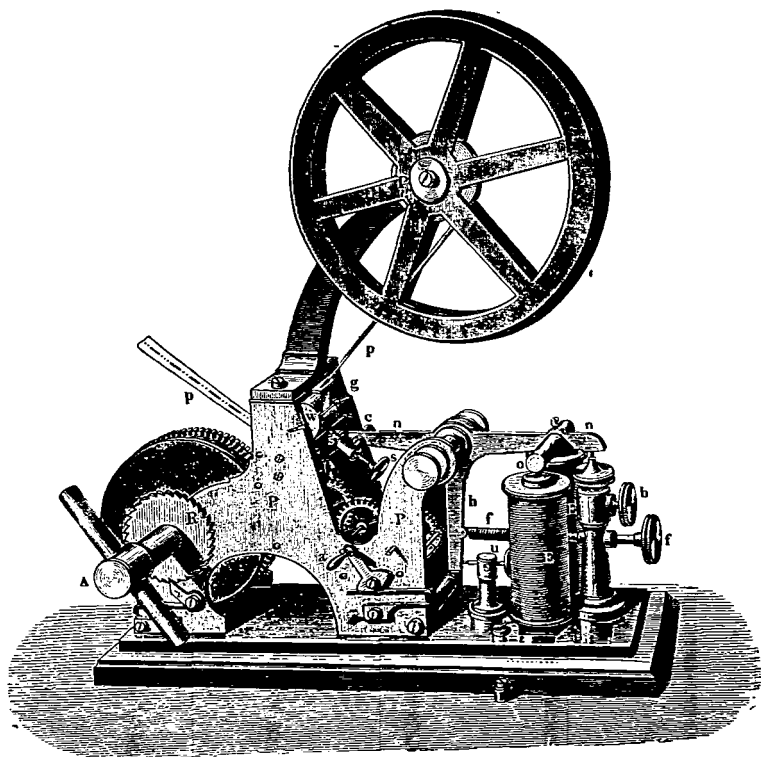
гальванометръ, *m* электромагнитъ пишущаго аппарата, *b* батарею для линій и *P* пластинку въ землѣ. Разсмотрѣвъ этотъ рисунокъ, легко убѣдиться въ томъ, что при нажимѣ клавиши *s* токъ батареи *b* замыкается, притомъ такъ, что онъ долженъ пройти по проводу и по обмоткѣ электромагнита пріемной станціи.

Въ большинствѣ случаевъ при телеграфированіи на пишущемъ телеграфѣ токъ, идущій по проводу, не проходитъ чрезъ электромагнитъ пріемной станціи, какъ это изображаетъ рисунокъ, а дѣйствуетъ только на такъ называемое релѣ, которое замыкаетъ токъ другой батареи, такъ называемой мѣстной. Токъ этой мѣстной батареи и приводитъ въ движеніе пишущій аппаратъ. Токъ „батарей на линію“ въ большинствѣ случаевъ недостаточно силенъ, чтобы приводить въ движеніе пишущій аппаратъ.

Наряду съ пишущимъ телеграфомъ Морза въ настоящее время, особенно на

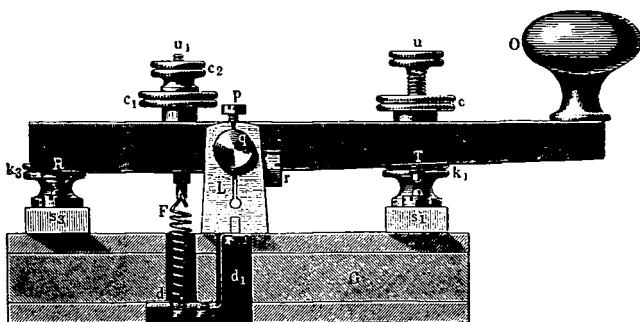
всѣхъ болѣе крупныхъ телеграфныхъ станціяхъ, примѣняется печатающій телеграфъ, изобрѣтенный Юзомъ (род. 1831 въ Лондонѣ). Онъ имѣетъ передъ при-

Рис. 349



Пишущій телеграфъ Морза.

Рис. 350

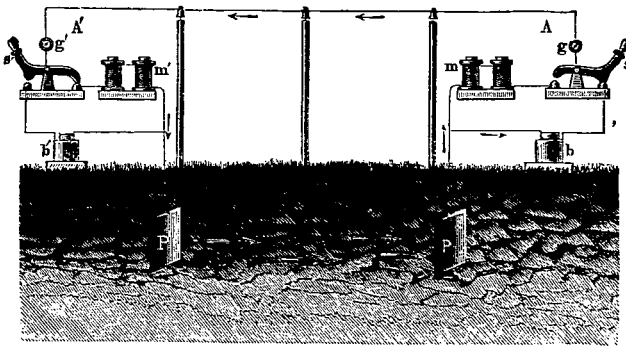


Клавиша къ телеграфу Морза.

боромъ Морза не только то преимущество, что работаетъ скорѣе, но еще больше то, что печатаетъ депешу не точками и черточками, а обыкновенными латинскими буквами. Здѣсь нѣтъ возможности дать описаніе этого очень сложнаго телеграфа. Читатель, который пожелалъ бы ознакомиться съ особенностями этого и другихъ телеграфовъ, не упомянутыхъ здѣсь, долженъ обратиться къ подробнымъ трудамъ по телеграфіи.

Штейнгейль нашелъ, что землю можно пользоваться, какъ проводомъ. Это надо понимать не въ томъ смыслѣ, что отъ пластинки въ землѣ на одной станціи

Рис 351

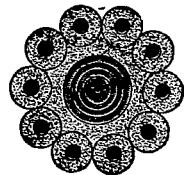


Соединеніе двухъ телеграфныхъ станцій.

идеть токъ къ пластинкѣ другой станціи. Такъ могло бы быть только при очень короткихъ разстояніяхъ. При болѣе же значительныхъ разстояніяхъ пластинка въ землѣ служитъ только для отвода электричества съ того полюса батареи, который не соединяется съ линіей.

Большія затрудненія пришлось преодолевать не только при конструкціи телеграфныхъ приборовъ, но также и при проводкѣ линіи. На сушѣ обыкновенно бываетъ достаточно укрѣплять провода на столбахъ, изолируя ихъ фарфоровыми стаканчиками. Но если проводъ долженъ соединять два берега и долженъ для этого погружаться въ воду, то проволоку приходится одѣвать изолирующей и вмѣстѣ съ тѣмъ защищающей оболочкой. Рис. 350 показываетъ разрѣзъ трансатлантическаго кабеля. Сердцевину этого кабеля составляетъ проводъ, обыкновенно не одна проволока, а нѣсколько скрученныхъ вмѣстѣ. Этотъ проводъ окруженъ слоемъ гуттаперчи, а послѣдній слоемъ просмоленной пеньки. Все это обвито толстой желѣзной проволокой. Благодаря этому кабель пріобрѣтаетъ надлежащую крѣпость, необходимую для того, чтобы не разорваться при погруженіи въ воду. Кромѣ того желѣзная оболочка служитъ защитой отъ поврежденій со стороны морскихъ животныхъ.

Рис. 352



Трансатлантическій кабель.

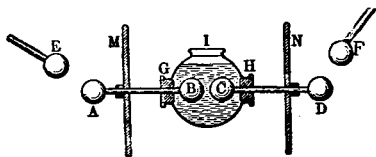
Знаки, которые передаются трансатлантическимъ телеграфомъ, состоятъ въ отклоненіи стрѣлки чрезвычайно чувствительнаго гальванометра.

404. Послѣ того какъ Герцъ (§ 399) открылъ электрическія волны, нетрудно было придти къ мысли воспользоваться этими волнами для передачи электрическихъ сигналовъ, т. е. для телеграфированія безъ проводовъ. Однако, произведенные въ этомъ направленіи опыты привели къ практически приложимымъ результатамъ только послѣ того, какъ Бранли въ Парижѣ изобрѣлъ въ 1890 году такъ называемый когэреръ (или фриттеръ). Послѣдній по существу состоитъ изъ стеклянной трубки, часть которой наполнена металлическимъ порошкомъ (серебро, никель), помѣщеннымъ между двумя металлическими пластинками. Металлическій порошокъ не проводитъ электричества. Поэтому, если включить когэреръ въ цѣпь какого-нибудь источника тока, то токъ не замыкается. Но металлическій порошокъ имѣетъ свойство дѣлаться проводникомъ, когда на него падаетъ электрическая волна. Такимъ образомъ, электрической волной можно воспользоваться для того, чтобы замыкать токъ издали. Если въ эту цѣпь будетъ включенъ приборъ Морза, то онъ будетъ давать знаки, какъ при обыкновенномъ телеграфированіи.

Телеграфированіе безъ проводовъ состоитъ въ сущности въ томъ, что на станціи отправленія при помощи искрового индуктора производятся электрическія искры, которыя дѣйствуютъ на когэреръ пріемной станціи указаннымъ образомъ. Для того чтобы когэреръ могъ воспринять новый сигналъ, послѣ каждаго отдѣльнаго сигнала его нужно возвращать къ первоначальному состоянію ударомъ, т. е. дѣлать его непроводникомъ, что выполняется пріемнымъ аппаратомъ автоматически.

Въ соединеніи съ искровымъ индукторомъ находится такъ называемый осцилляторъ, т. е. приспособленіе для (колебательнаго) разряда индукціоннаго прибора.

Рис. 353



Трех-искровой осцилляторъ.

Уже Герцъ пользовался при своихъ опытахъ такого рода осцилляторами. Особенно цѣлесообразную для искровой телеграфіи форму ихъ предложилъ Риги въ Болоньѣ. Первоначальная форма этого такъ называемаго трех-искрового осциллятора изображена на рис. 353. Искра проскакиваетъ между шариками B и C, окруженными изолирующей массой (тяжелое

минеральное масло). Эти шарики заряжаются тѣми искрами, которыя проскакиваютъ отъ шариковъ E и F къ шарикамъ A и D. Шарики E и F соединяются съ полюсами искрового индуктора. Для передачи волнъ оказалось цѣлесообразнымъ соединять одинъ изъ двухъ шариковъ съ землею, а другой съ подвѣшенной на изоляторахъ длинной проволокой, такъ называемой антенной.

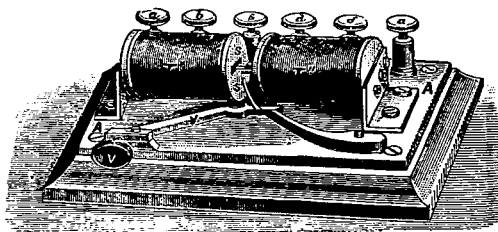
Первые успѣшные опыты съ телеграфіей безъ проводовъ произвелъ въ 1897 году Маркони, ученикъ Риги. При помощи названныхъ приборовъ ему удалось передать депеши черезъ Бристольскій каналъ (15 км.). Въ настоящее время искровой телеграфіей на разстояніе около 150 км. пользуются для сообщения между судами, а также между судами и берегомъ. Маркони даже подтвердилъ непосредственнымъ опытомъ, что при помощи беспроводной телеграфіи возможно передавать извѣстія изъ Англій черезъ Атлантическій океанъ въ Сѣверную Америку.

405. Въ заключеніе нужно упомянуть еще объ одномъ видѣ телеграфіи, представляющемъ соединительное звено между телеграфіей и телефоной, а именно о фонотелеграфіи.

Различные физики, въ томъ числѣ Йэтсъ въ Дублинѣ (1856) и Кромвелль Варли въ Лондонѣ (1870), пытались при помощи колеблющихся пластинокъ и металлическихъ язычковъ посылать токъ по металлическимъ проводамъ правильными толчками, а Пауль Лакуръ¹⁾ выработалъ (1875) полную систему телеграфа, въ которомъ примѣнены правильные волновые токи.

Чтобы получить большее количество сигналовъ, чѣмъ тѣ два, которые можно вызвать положительнымъ и отрицательнымъ токомъ, Лакуръ при помощи колебаній камертона обратилъ токъ въ перемежающийся. Онъ установилъ рядъ самоперрывающихся приборовъ съ камертонами (ср. I, § 373), изъ коихъ каждый давалъ одинъ опредѣленный тонъ, такъ что, нажимая на кнопку, можно было посылать любой тонъ. На другомъ концѣ телеграфной линіи были включены прѣмные аппараты съ маленькими камертонами (рис. 354), изъ коихъ каждый также имѣлъ опредѣленный тонъ. Подобно тому какъ тѣло, которое можетъ производить своими колебаніями тонъ,

Рис. 354



Фонотелеграфъ Лакура.

приводится въ движеніе „симпатически“ только своимъ собственнымъ тономъ, такъ приходили въ движеніе только тѣ маленькіе камертоны, электрическіе тоны которыхъ соотвѣтствовали посылаемымъ тонамъ. Маленькіе камертоны дѣйствовали, какъ релѣ, и каждый изъ нихъ вводилъ свой отдѣльный мѣстный токъ.—Оказалось, что въ одномъ и томъ же проводѣ могли дѣйствовать, не мѣшая другъ другу, не менѣе 12 тоновъ одной и той же октавы.

406. Такимъ образомъ при помощи фонотелеграфа можно передавать звуковыя колебанія изъ одного мѣста въ другое, переводя звуковыя волны въ перемежающіеся электрическіе токи, а затѣмъ снова приводя въ движеніе источникъ звука помощью электромагнитныхъ дѣйствій этихъ токовъ. Однако, сложные звуки, какъ музыка или тембръ человѣческаго голоса, нельзя передавать по фонотелеграфу. Тѣмъ не менѣе передачи сложныхъ звуковъ указанного рода все же удалось добиться при помощи электрическаго тока.

Первый электрическій телефонъ былъ построенъ въ 1860 году Филиппомъ Рейсомъ. Рейсъ родился въ 1834 году въ Гельнгаузенѣ, а умеръ въ 1874 въ Фридрихсдорфѣ близъ Гомбурга (Гессенъ-Нассау), гдѣ въ 1858 года онъ былъ учителемъ въ иколѣ Гарнье. Его приборъ изображенъ на рис. 355. Деревянный резонансный ящикъ снабженъ отверстіемъ для рта *S*, а сверху закрытъ упругой перепонкой, имѣ-

¹⁾ Одинъ изъ авторовъ настоящей книги. *Прим. пер.*

ющей въ срединѣ платиновую пластинку *p*. Если производить передъ *S* звукъ, то воздухъ въ ящикѣ, а вслѣдствіе того и перепонка, начинаетъ колебаться. Непосредственно надъ *p* находится платиновый нитифтъ на рычагѣ *hgi*. Когда пластинка *p* начинаетъ колебаться, она приходитъ въ соприкосновеніе съ платиновымъ нитифтомъ и это соприкосновеніе замыкаетъ цѣпь батареи. Въ томъ же тактѣ, въ которомъ происходитъ движеніе пластинки *p*, постоянно замыкается и прерывается токъ, который въ то же время проходитъ по спирали *M*, со стальнымъ стержнемъ внутри. Этотъ стерженецъ поочередно то намагничивается, то размагничивается соотвѣтственно такту колебаній тока и, слѣдовательно, соотвѣтственно такту звуковыхъ волнъ, вступающихъ въ резонансный ящикъ. Когда же онъ намагничивается, онъ нѣсколько удлиняется, а когда размагничивается, то опять укорачивается. Это явленіе было известно уже съ 1837 года (ср. § 223). Но въ приборѣ Рейса стальной стерженецъ лежалъ на резонансномъ ящикѣ, который отъ удлиненій и укорачиваній стального стержня приходилъ въ колебаніе. При такой передачѣ высота звука сохранялась, но тембръ его пропадалъ.

Рис. 355



Телефонъ Рейса.

дованіяхъ. Въ его приборѣ звуковыя волны дѣйствовали на тонкую стальную пластинку *s* (рис. 356), помѣщенную противъ полюса магнита *NS*. Колебанія этой стальной пластинки измѣняютъ силу магнитнаго полюса и вслѣдствіе этого въ обмоткѣ *D* (рис. 357) возникаютъ индуктивные токи. Эти индуктивные токи проходятъ по проводамъ на другую станцію, а здѣсь по другой обмоткѣ, такъ что сила магнита N_1S_1 измѣняется здѣсь соотвѣтственно силѣ тока. Вслѣдствіе этого тонкая стальная пластинка *s'* приходитъ въ колебательное движеніе и производитъ точно такіе же звуковыя волны, какъ тѣ, которыя приводятъ въ движеніе стальную пластинку *s*. По-

407. Значительно усовершенствованный телефонъ былъ построенъ въ 1875 году Грэмомъ Беллемъ (род. 1847 въ Эдинбургѣ). Белль былъ профессоромъ физиологіи органовъ рѣчи въ Бостонѣ и обладалъ опытомъ въ фонетическихъ изслѣ-

этому, если держать ухо передъ s' , то можно слышать слова, которыя говорятся въ приборъ другой станціи.

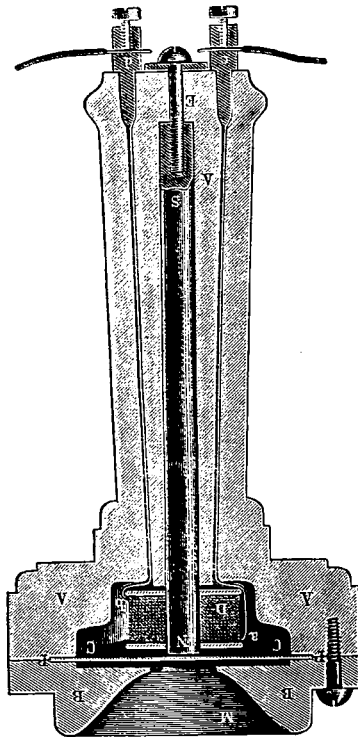
Рис. 356



Телефонъ Белля.

Телефонъ Белля имѣетъ тотъ недостатокъ, что передаетъ звуки лишь очень слабо. Поэтому для болѣе значительныхъ разстояній онъ непригоденъ.

Рис. 357



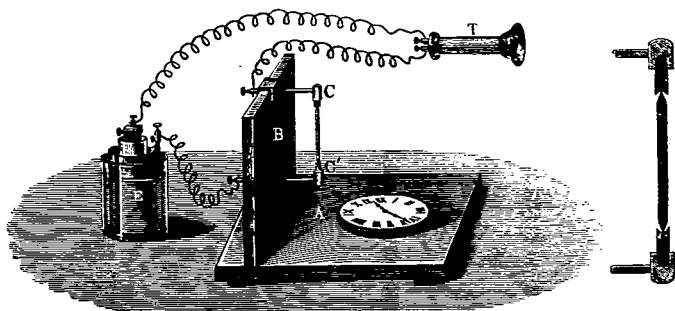
Телефонъ Белля.

408. Примѣненіе телефона для значительныхъ разстояній стало возможнымъ только послѣ введенія микрофона. При этомъ телефонъ Белля служитъ лишь слуховымъ аппаратомъ.

Микрофонъ обыкновенно называютъ изобрѣтеніемъ Юза. Однако, его нужно считать измѣненіемъ одной части такъ называемаго угольнаго телефона Эдисона.

Устройство микрофона Юза, который значительно усиливаетъ слабые звуки телефона Белля, видно изъ рис. 358. Между двумя кусочками угля *C* и *C'* свободно сидитъ угольный стерженецъ, заостренный на обоихъ концахъ. Токъ элемента *E*

Рис. 358



Микрофонъ.

долженъ проходить чрезъ этотъ угольный стерженецъ и чрезъ обмотку телефона *T*. Если встряхнуть пластинку *A*, то угольный стерженецъ слегка смѣстится, это произведетъ замѣтное измѣненіе силы тока и телефонъ „завучитъ“. Тиканье карманныхъ часовъ слышно въ телефонъ значительно сильнѣе. Даже хожденіе мухи по пластинкѣ слышно въ телефонъ, какъ замѣтный шумъ.

П о г о д а

—

До изобрѣтенія барометра

409. На землѣ, конечно, нѣтъ мѣста, гдѣ погода не подвергалась бы болѣе или менѣе значительнымъ перемѣнамъ. Однако, эти перемѣны далеко не такъ правильны, какъ тѣ измѣненія, которыя наблюдаются въ солнцѣ, лунѣ и звѣздахъ. Но такъ какъ для человѣка погода имѣетъ огромное значеніе, то люди во всѣ времена пытались предсказывать погоду.

Прежде думали, что это можно дѣлать при помощи самихъ небесныхъ тѣлъ. Если послѣднія могли давать указанія о судьбѣ человѣка, о войнѣ, чумѣ и другихъ земныхъ предметахъ, то, конечно, они должны были давать свѣдѣнія и о томъ, что приходитъ съ самого неба. Остатками этого суевѣрія являются, вѣроятно, правила вродѣ того, что къ дождю луна „каплетъ“, т. е. что луна, имѣющая форму чашки, поворачиваетъ свое дно наклонно кверху.

410. Человѣкъ очень склоненъ подозрѣвать связь между двумя явленіями, которыя наблюдаются одновременно. Если такое одновременное появленіе наблюдается нѣсколько разъ, то предположеніе укрѣпляется и случайное кажется закономернымъ. Съ другой стороны, многіе не замѣчаютъ исключеній изъ правила или же, замѣчая ихъ, успокаиваются на томъ, что нѣтъ правила безъ исключенія. Поэтому вездѣ можно найти массу примѣтовъ относительно погоды, изъ которыхъ нѣкоторыя дѣйствительно выражаютъ связь между явленіями природы, тогда какъ другія не имѣютъ никакого реального основанія, какъ, на примѣръ, указанная выше примѣта о капаніи луны. Другимъ правиломъ, которое прежде часто примѣнялось для предсказанія погоды на лѣто и которое, можетъ быть, примѣняется еще и теперь во многихъ мѣстахъ, является слѣдующее: „Какъ снѣжные дни зимою распределяются относительно Срѣтенія (2 февраля), такъ распределяются дождливые дни ближайшаго лѣта относительно Иванова дня (24 іюня). Если шель снѣгъ 31 января, то будетъ дождь 22 іюня и т. д.“.

411. Но наряду съ этими, не имѣющими никакого значенія, предсказаніями погоды существуютъ и другія, связанныя съ природою вещей. Есть много людей, особенно между болѣе пожилыми крестьянами, которые могутъ предсказывать погоду болѣе или менѣе вѣрно, опираясь на долготнѣй опытъ.

Мы имѣемъ собраніе примѣтовъ относительно погоды, составленное 300 лѣтъ тому назадъ по указанію Тихо Браге однимъ изъ его учениковъ, Педеромъ Якобсеномъ Флемлѣзе (1554—1599). Флемлѣзе изучалъ медицину, но король Фридрихъ И обѣщаль сдѣлать его каноникомъ, если онъ сначала будетъ помогать Тихо Браге при его астрономическихъ наблюденіяхъ. Онъ пробылъ на Гвенѣ 10 лѣтъ, затѣмъ былъ врачомъ намѣстника Норвегіи, а въ 1590 году получилъ обѣщанный

каноникать въ Роскильдѣ. Тихо Браге отпечатавъ трудъ Флемлѣзе въ 1591 году въ собственной типографіи, продиктовавъ Лонгомонтану предисловіе къ этой книгѣ. Книга имѣла слѣдующее названіе „Ep Elementis et Jordisch Astrologia om Liffpens forendring“ (Элементная и земная астрологія объ измѣненіи воздуха). Но какъ изъ предисловія, такъ и изъ содержанія книги ясно, что здѣсь рѣчь идетъ не объ астрологіи въ старомъ смыслѣ слова. Здѣсь указывается, что чувства животныхъ находятся въ зависимости отъ состоянія погоды и что это можно видѣть по поведенію животныхъ. На человѣка состояніе воздуха не дѣйствуетъ такъ сильно, но онъ можетъ дѣлать свои заключенія на основаніи того, что онъ видитъ. Поэтому Тихо Браге предпочитаетъ эти правила попыткамъ предсказывать погоду по расположенію звѣздъ, такъ какъ они достовѣрнѣе и въ то же время легко понятны каждому.

Новое изданіе этой книги съ предисловіемъ Лонгомонтана появилось въ 1644 году. Позднѣйшія изданія были въ 1745 и 1865 годахъ. Книга раздѣляется на инесть частей съ 399 отдѣльными правилами. Она говоритъ о примѣтахъ сухой и ясной погоды, холода, снѣга, града, инея, пасмурной погоды и росы, дождя и бури, грозъ, землетрясеній, урожая и неурожая. Эти примѣты извлекались изъ вида солнца, луны и звѣздъ, воздуха и моря, земныхъ явленій (огней), движеній и вида животныхъ и растений, способовъ смѣны погодъ и т. д. Даже инешая часть, посвященная урожаю и неурожаю, говоритъ о совершенно реальномъ. Такъ, напримѣръ, правило 377 говоритъ: „Большое количество снѣга въ надлежащее время и своевременный морозъ зимою благоприятны для посѣва, такъ что обыкновенно при этомъ бываетъ богатый урожай“, правило 385: „Частые ночные морозы и иней весною и лѣтомъ вредны не только для развитія хлѣбныхъ, но также и для роста цвѣтовъ въ поляхъ, въ садахъ и лѣсахъ“. Цѣлыя 300 лѣтъ книга Флемлѣзе оказывала превосходныя услуги всякому, кто хотѣлъ вникнуть въ ея идеи. Еще и теперь мы можемъ поучаться у стараго мастера, хотя теперь мы привыкли при нанихъ предсказаніяхъ погоды опираться на данныя метеорологическихъ инструментовъ.

412. Не менѣе интересно и то, что наряду со своими астрономическими замѣтками Тихо Браге вель на Гвенѣ съ 1582 до 1597 года метеорологическій дневникъ. Онъ хранился въ придворной Вѣнской библіотекѣ въ видѣ рукописи, пока въ 1876 году не былъ обработанъ и опубликованъ Научнымъ Обществомъ въ Копенгагенѣ. Хотя эти наблюденія дѣлались безъ инструментовъ, однако, изъ нихъ можно было извлечь заключеніе, что погода во многихъ отношеніяхъ въ то время была такая же, какъ и теперь. Такъ, замѣчается хорошее согласованіе въ облачности различныхъ мѣсяцевъ, а также въ частотѣ дождя, снѣга, града, тумана и грозъ. Изъ дневника Браге вытекаетъ даже, что въ то время, какъ и теперь, извѣстные дни года (напримѣръ, 15 января) обыкновенно бываютъ холодны, другіе же (напримѣръ, 8 января) бываютъ мягче.

Метеорологическіе инструменты

413. Вскорѣ по изобрѣтеніи барометра замѣтили, что давленіе воздуха оказываетъ значительное вліяніе на погоду, и какъ барометръ, такъ и термометръ правильно наблюдались въ различныхъ мѣстахъ уже въ XVII столѣтіи, въ которомъ они были изобрѣтены. Напримѣръ, во Флоренціи по повелѣнію великаго герцога произ-

водились правильныя наблюденія погоды, касавшіяся давленія атмосферы, температуры, направленія вѣтра и вида неба. Однако, однихъ этихъ наблюденій не было еще достаточно для открытія новыхъ соотношеній между явленіями природы. Прежде чѣмъ изъ результатовъ такихъ наблюденій можно было извлечь достовѣрныя заключенія, надо было улучшить инструменты и собрать многолѣтнія наблюдешя. Относительно развитія инструментовъ можно замѣтить слѣдующее.

414. Гукъ (I, § 166) построилъ сифонный барометръ, на которомъ колебанія атмосфернаго давленія наблюдаются удобнѣе, чѣмъ на обыкновенномъ барометрѣ. Въ этомъ приборѣ (рис. 359 и 360) на поверхности ртути въ открытомъ колѣнѣ пла-

Рис. 359

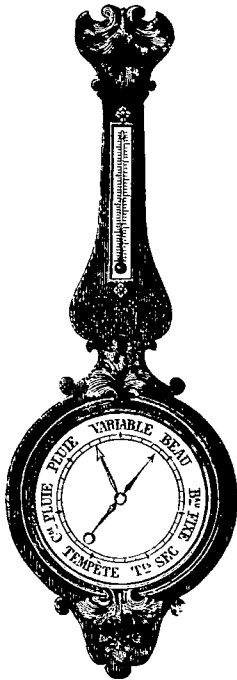
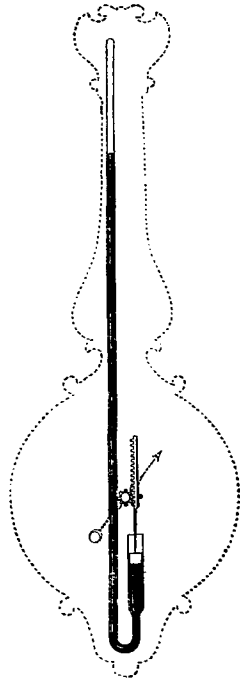


Рис. 360



Барометръ Гука.

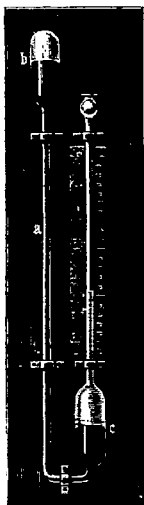
ваетъ желѣзная гирилка. Движенія этой гирилки при помощи зубчатой линейки и зубчатого колеса передаются стрѣлкѣ, какъ указано на рис. 360. Благодаря этой передачѣ колебанія барометра получаютъ въ значительно усиленномъ видѣ.

Гюйгенсъ (I, § 161) является изобрѣтателемъ двойного барометра (рис. 361). Открытое колѣно этого барометра имѣетъ цилиндрическую форму кверху и удлиняется въ узкую открытую трубку, въ которой находится окрашенный спиртъ. Закрытое колѣно барометра оканчивается расширеніемъ такой же формы, какъ и открытое. Даже незначительное измѣненіе высоты ртути производитъ большое измѣненіе въ

положеніи верхняго конца спиртового столбика. Конечно, повышенію барометра, т. е. увеличенію атмосфернаго давленія, соотвѣтствуетъ пониженіе спиртового столбика.

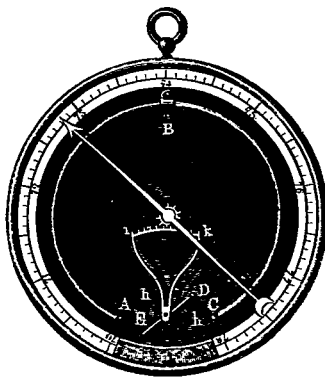
Кромѣ этихъ ртутныхъ барометровъ различныя механики строили такъ называемыя анероиды, т. е. барометры безъ жидкости. Существуетъ нѣсколько родовъ этихъ барометровъ. Всѣ они имѣютъ упругій металлическій сосудъ съ безвоздушнымъ пространствомъ, который сжимается тѣмъ больше, чѣмъ выше давленіе атмосферы. Въ приборѣ, изображенномъ на рис. 362, этотъ сосудъ имѣетъ форму неполнаго кольца. Когда давленіе атмосферы увеличивается, увеличивается и кривизна кольца,

Рис. 361



Двойной барометръ.

Рис. 362



Анероидъ.

Рис. 363

Приспособленіе
для отсчитывашія
высоты баро-
метра.

т. е. его концы сближаются. Это движеніе при помощи рычага и двухъ зубчатыхъ колесъ передается стрѣлкѣ. Эти приборы отличаются тѣмъ преимуществомъ, что ихъ очень удобно переносить. Поэтому они весьма пригодны для опредѣленія высоты (I, § 262).

415. Однако, для точныхъ измѣреній лучше всего годится ртутный барометръ такого устройства, что нуль его шкалы можетъ быть устанавливаемъ на высотѣ ртути въ открытомъ колѣнѣ, а шкала можетъ быть отсчитываема при помощи нониуса.

Этого можно достигнуть различными способами. Въ приборѣ, часть котораго изображена на рис. 363, шкала состоитъ изъ латунной трубки, внизу оканчивающейся штифтомъ изъ слоновой кости, конецъ котораго представляетъ нуль дѣленій и который устанавливается такъ, что касается поверхности ртути. Въ верхней части эта латунная трубка прорѣзана, такъ что можно видѣть поверхность ртути. Для точныхъ отсчетовъ служитъ нониусъ, нанесенный на краю подвижной линейки *D*. Передъ

отсчетомъ нижшій край этой подвижной линейки устанавливають на верхшій край ртути. Рисунокъ показываетъ высоту барометра въ 760·8 мм.

Высота барометра, отсчитываемая непосредственно, всегда бываетъ нѣсколько ошибочна, такъ какъ при различныхъ температурахъ ртуть имѣетъ различную плотность. Для того чтобы освободить показаніе барометра отъ этой ошибки, всегда вычисляютъ ту высоту, какую барометръ имѣлъ бы, еслибы наблюденіе дѣлалось при 0°. Это „приведеніе“ барометра къ 0° дѣлается по формулѣ

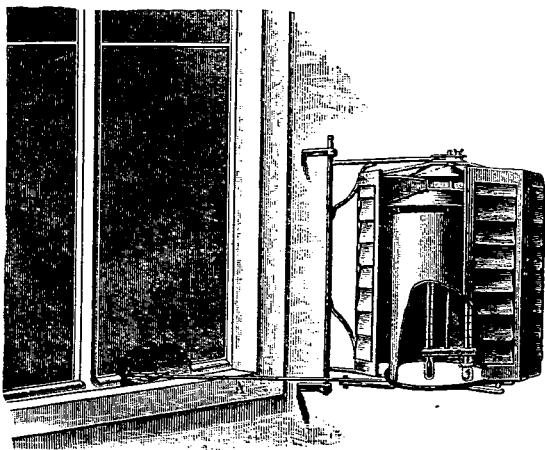
$$b_0 = b_t (1 - at),$$

въ которой b_0 означаетъ высоту барометра при 0°, b_t его высоту при t° , t температуру, при которой былъ отсчитанъ барометръ, а a коэффициентъ расширенія ртути (0·000181). При постоянныхъ наблюденіяхъ эта поправка получается при помощи особой таблицы, вычисленной согласно этой формулѣ.

Какъ мы знаемъ, высота барометра въ сильной степени зависитъ отъ высоты мѣста наблюденія надъ уровнемъ моря. Для извѣстныхъ цѣлей (картъ погоды) высоту барометра нужно приводить къ уровню моря. Если мѣсто наблюденія расположено не очень высоко надъ уровнемъ моря, то эта поправка высоты барометра составляетъ 1 мм на каждые 10·5 м высоты (1, § 261). При болѣе значительныхъ высотахъ эту поправку нужно вычислять при помощи особой таблицы.

416. Устройство и развитіе термометра было уже описано въ §§ 10 — 26. Прошло много времени прежде, чѣмъ поняли, въ какія условія нужно ставить термо-

Рис. 364



Клѣтка для термометра.

метръ, чтобы онъ могъ вѣрно показывать температуру воздуха. Сначала думали, что для полученія вѣрной температуры воздуха нужно наблюдать два термометра, одинъ на сѣверной сторонѣ дома, а другой на южной и затѣмъ брать среднее изъ отсчетовъ этихъ двухъ термометровъ. Только послѣ того, какъ узнали законы теплого лучеиспусканія, стало ясно, какъ нужно помѣщать термометры для того, чтобы они правильно показывали температуру воздуха. Термометръ долженъ висѣть на откры-

томъ воздухѣ, но долженъ быть защищеннымъ отъ тепловыхъ лучей и отъ дождя. Этого достигаютъ, подвѣсивая термометръ въ особой клѣткѣ со стѣнками изъ жалузи (рис. 364). Эту клѣтку лучше всего помѣщать на высотѣ отъ 2 до 3 м на сѣверной сторонѣ дома.

417. Количество водяного пара, которое можетъ содержаться въ опредѣленномъ пространствѣ, какъ мы видѣли (§ 86), зависитъ не отъ количества воздуха въ этомъ пространствѣ, а только отъ его температуры. Если данное пространство содержитъ столько водяного пара, сколько оно можетъ содержать при своей температурѣ, то это пространство насыщено водянымъ паромъ или наполнено насыщеннымъ паромъ (§ 81). Этотъ паръ производитъ извѣстное давленіе независимо отъ того, есть ли тамъ еще воздухъ или нѣтъ. Давленіе пара, выраженное въ миллиметрахъ ртутнаго столба, при различныхъ температурахъ t имѣетъ слѣдующія величины:

t	мм	t	мм	t	мм	t	мм
— 30°	0·6	— 14°	1·5	2°	5·3	18°	15·4
— 29	0·6	— 13	1·6	3	5·7	19	16·3
— 28	0·6	— 12	1·8	4	6·1	20	17·4
— 27	0·6	— 11	1·9	5	6·5	21	18·5
— 26	0·7	— 10	2·1	6	7·0	22	19·7
— 25	0·7	— 9	2·3	7	7·5	23	20·9
— 24	0·7	— 8	2·5	8	8·0	24	22·2
— 23	0·7	— 7	2·7	9	8·6	25	23·6
— 22	0·8	— 6	2·9	10	9·2	26	25·0
— 21	0·8	— 5	3·1	11	9·8	27	26·3
— 20	0·9	— 4	3·4	12	10·5	28	28·1
— 19	1·0	— 3	3·7	13	11·2	29	29·8
— 18	1·1	— 2	4·0	14	11·9	30	31·6
— 17	1·2	— 1	4·3	15	12·7		
— 16	1·3	0	4·6	16	13·5		
— 15	1·4	1	4·9	17	14·4		

Для того чтобы узнать, какимъ количествамъ пара соотвѣтствуютъ эти различныя давленія, нужно на каждый миллиметръ давленія считать 1·06 г пара въ кубическомъ метрѣ.

418. Если воздухъ насыщенъ водянымъ паромъ и если извѣстна его температура, то при помощи вышеуказанной таблицы можно легко найти количество водяного пара въ немъ. Если воздухъ не насыщенъ паромъ, то количество пара, содержащееся въ воздухѣ, или влажность воздуха, можно характеризовать тремя различными способами.

а) Относительная влажность. Можно указать отношеніе дѣйствительно содержащагося количества пара къ тому количеству, которымъ при данной температурѣ воздухъ насыщается. Относительная влажность обыкновенно выражается въ процентахъ. Если, напримѣръ, при 16° давленіе пара составляетъ только 8·1 мм, тогда какъ оно можетъ при этой температурѣ доходить до 13·5 мм, то относительная влажность составляетъ $8·1 : 13·5 = 60\%$.

б) Абсолютная влажность. Можно просто указать дѣйствительное количество пара въ воздухѣ или соотвѣтствующее давленіе.

в) Можно указать точку росы, т. е. ту температуру, при которой воздухъ былъ бы насыщенъ наличнымъ количествомъ пара. Въ приведенномъ выше примѣрѣ точка росы была бы $8\frac{1}{6}^{\circ}$, т. е. еслибы воздухъ при той же влажности былъ охлажденъ до этой температуры, то водяной паръ началъ бы выдѣляться въ видѣ росы.

419. Влажность воздуха можно найти различными способами. Существуютъ извѣстные животныя и растительныя ткани, обладающія свойствомъ сжиматься или расширяться въ зависимости отъ степени влажности. Къ такимъ, такъ называемымъ гигроскопическимъ, веществамъ принадлежатъ, напримѣръ, волосы, струны изъ кишекъ и клювы нѣкоторыхъ породъ аистовъ. Существуетъ много дешевыхъ, но и достаточно неудовлетворительныхъ „предсказателей погоды“, которые основаны на свойствахъ гигроскопическихъ веществъ.

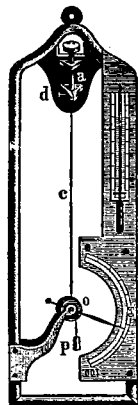
Наилучшимъ изъ такого рода приборовъ является волосной гигрометръ (рис. 365), построенный женеваскимъ профессоромъ Соссюромъ (1740—1799). Гигроскопическую часть прибора составляетъ человѣческой волосъ, закрѣпленный вверху и перекинутый вокругъ оси внизу. При помощи маленькаго груза, дѣйствующаго на ось, волосъ удерживается въ натянутомъ положеніи. Стрѣлка, прикрѣпленная къ той же оси, показываетъ, соотвѣтственно степени влажности воздуха, различные градусы на особой шкалѣ. Эту шкалу получаютъ, помѣщая приборъ сначала въ совершенно сухомъ воздухѣ, а затѣмъ въ совершенно насыщенномъ парами и раздѣляя разстояніе между двумя соотвѣтственными положеніями стрѣлки на 100 частей. Конечно, этотъ приборъ не можетъ служить для непосредственнаго опредѣленія абсолютной влажности.

420. Для полученія абсолютной влажности можно пропустить опредѣленное количество воздуха сквозь трубку, наполненную хлористымъ кальціемъ. Увеличеніе вѣса этой трубки укажетъ количество водяного пара, содержащагося въ соотвѣтственномъ объемѣ воздуха. Этотъ способъ даетъ вѣрные результаты, но требуетъ много времени.

Другой способъ опредѣленія абсолютной влажности воздуха состоитъ въ томъ, что охлаждають блестящій предметъ до тѣхъ поръ, пока онъ не покроется росой, и опредѣляютъ температуру, при которой это происходитъ. Эта температура есть точка росы. Рис. 366 показываетъ устройство гигрометра Даніэлля. Въ шарикѣ *a* содержится эвиръ. Если на шарикѣ *b*, обвязанный кусочкомъ тонкаго полотна, налить немного эвира, то вслѣдствіе охлажденія при испареніи, пары эвира въ шарикѣ *b* конденсируются, а въ шарикѣ *a* соотвѣтственное количество эвира испаряется. Вслѣдствіе этого испаренія шарикъ *a* охлаждается и на термометрѣ *t* наблюдается температура, при которой шарикъ покрывается росой. Для того чтобы лучше можно было замѣтить это, часть поверхности шарика покрывается позолотой.

421. Точнѣе и проще всего влажность воздуха опредѣляется при помощи психрометра Августа (рис. 367). Онъ состоитъ изъ двухъ термометровъ, укрѣпленныхъ на общей подставкѣ. Шарикъ одного термометра оставляють сухимъ, а шарикъ другого обертываютъ кусочкомъ кисеи и смачиваютъ водою. Первый термометръ даетъ температуру воздуха, а другой показываетъ температуру, среднюю между первой температурой и точкой росы. Эта температура почти независима отъ движенія воз-

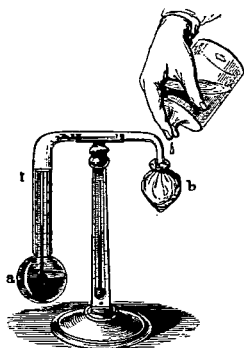
Рис. 365



Волосной гигрометръ.

духа, такъ какъ, чѣмъ быстрѣе обновляется воздухъ, тѣмъ больше и его нагрѣвательное дѣйствіе, но въ то же время тѣмъ больше и охлажденіе вслѣдствіе усиленія испаренія. Эти среднія температуры были точно изслѣдованы и были составлены та-

Рис. 366



Гигрометр Даниэля.

блицы, пользуясь которыми можно найти абсолютную и относительную влажность и точку росы.

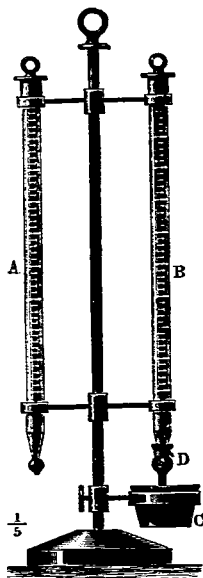
При температурахъ ниже 0° нужно передъ наблюдешемъ погрузить обмерзшій шарикъ въ воду, пока ледъ на немъ не растаетъ, затѣмъ удалить сосудъ съ водой и отсчитать температуру, когда термометръ достигнетъ своей низшей точки.

422. Отсчитавъ показаніе двухъ термометровъ, можно найти абсолютную влажность по таблицѣ стр. 403 въ мѣстѣ пересѣченія горизонтальной строки для соотвѣтственной температуры воздуха и вертикальнаго столбца для соотвѣтственной разности показаній. Если, напримѣръ, сухой термометръ показываетъ 15° , а влажный 10° , то абсолютная влажность составляетъ 6.1, т. е. воздухъ содержитъ 6.1 г водяного пара на кубичесій метръ. При 15° воздухъ былъ бы насыщенъ 12.7 г водяного пара (разность составляла бы 0°). Такимъ образомъ, относительная влажность равна $6.1 : 12.7 = 0.48$ или 48% . Точка росы, какъ это также можно видѣть изъ таблицы, равна 4° . Для того чтобы найти давленіе, производимое паромъ (или упругость пара), нужно въ предшествующемъ примѣрѣ найти изъ таблицы на стр. 400 упругость насыщеннаго пара при 15° и взять 48% ея. Въ данномъ случаѣ упругость пара была бы равна, слѣдовательно, 6.1 мм.

423. Относительная влажность можетъ служить мѣрой способности воздуха сушить. Чѣмъ меньше относительная влажность, тѣмъ большее количество водяныхъ паровъ можетъ принять въ себя воздухъ и тѣмъ, слѣдовательно, быстрѣе сохнутъ въ немъ влажные предметы отъ испаренія.

Абсолютная влажность указываетъ, сколько влаги содержится вообще въ воздухѣ и, значить, сколько воды можно извлечь изъ воздуха при надлежащей обработкѣ.

Рис. 367



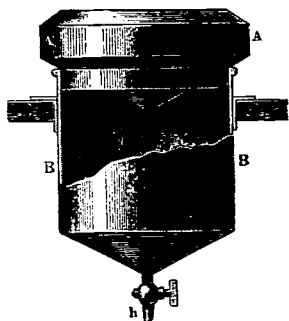
Психрометр Августа.

Температура воздуха в градусах Цельсия	Разница между сухим и влажным термометрами.												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
- 20	0.9												
- 19	1.0												
- 18	1.1												
- 17	1.2	0.6											
- 16	1.3	0.8											
- 15	1.4	0.9											
- 14	1.5	1.0											
- 13	1.6	1.1											
- 12	1.8	1.2											
- 11	1.9	1.4											
- 10	2.1	1.5											
- 9	2.3	1.7											
- 8	2.5	1.8	1.0										
- 7	2.7	2.0	1.2										
- 6	2.9	2.2	1.4										
- 5	3.1	2.5	1.7										
- 4	3.4	2.7	1.9										
- 3	3.7	3.0	2.2	1.3									
- 2	4.0	3.2	2.4	1.6									
- 1	4.3	3.5	2.7	1.8									
0	4.6	3.8	3.0	2.1	1.3								
+ 1	4.9	4.1	3.3	2.4	1.6								
+ 2	5.3	4.4	3.5	2.7	1.9	1.0							
+ 3	5.7	4.8	3.8	3.0	2.2	1.3							
+ 4	6.1	5.2	4.2	3.3	2.4	1.6							
+ 5	6.5	5.6	4.6	3.5	2.6	1.8							
+ 6	7.0	6.0	5.0	4.0	2.9	2.0							
+ 7	7.5	6.5	5.4	4.4	3.3	2.3	1.4						
+ 8	8.0	7.0	5.9	4.8	3.7	2.7	1.7						
+ 9	8.6	7.5	6.4	5.3	4.1	3.1	2.1						
+ 10	9.2	8.1	6.9	5.8	4.7	3.5	2.5	1.5					
+ 11	9.8	8.7	7.5	6.3	5.2	4.0	2.9	1.9					
+ 12	10.5	9.3	8.1	6.9	5.7	4.5	3.4	2.3	1.3				
+ 13	11.2	9.9	8.7	7.4	6.3	5.0	3.9	2.8	1.7				
+ 14	11.9	10.7	9.3	8.1	6.8	5.6	4.4	3.3	2.2	1.1			
+ 15	12.7	11.4	10.0	8.7	7.5	6.1	5.0	3.8	2.7	1.6			
+ 16	13.5	12.2	10.8	9.5	8.1	6.9	5.5	4.3	3.2	2.1	1.5		
+ 17	14.4	13.1	11.6	10.2	8.8	7.5	6.2	4.9	3.7	2.6	1.5	2.0	
+ 18	15.4	13.9	12.4	11.1	9.6	8.2	6.8	5.5	4.3	3.1	2.0	2.5	
+ 19	16.4	14.8	13.3	11.8	10.4	9.0	7.5	6.2	4.9	3.7	2.5	3.1	1.5
+ 20	17.4	15.8	14.2	12.7	11.1	9.7	8.3	6.9	5.6	4.3	3.1	3.7	1.9
+ 21	18.5	16.9	15.2	13.6	12.2	10.6	9.1	7.6	6.3	5.0	3.7	4.4	2.5
+ 22	19.7	17.9	16.3	14.6	13.0	11.5	10.0	8.4	7.0	5.7	4.4	5.1	3.1
+ 23	20.9	19.1	17.4	15.6	14.0	12.4	10.9	9.2	7.8	6.4	5.1	5.8	3.8
+ 24	22.2	20.3	18.5	16.7	15.0	13.4	11.8	10.1	8.7	7.2	5.8	6.6	4.5
+ 25	23.6	21.7	19.7	17.9	16.1	14.4	12.7	11.1	9.5	8.0	6.6	7.4	5.2
+ 26	25.0	22.9	20.9	19.1	17.2	15.5	13.8	12.1	10.5	8.9	7.4	8.3	6.0
+ 27	26.5	24.4	22.3	20.3	18.4	16.6	14.8	13.1	11.5	9.9	8.3	9.2	6.8
+ 28	28.1	25.9	23.8	21.7	19.7	17.8	16.0	14.2	12.5	10.8	9.2	10.2	7.7
+ 29	29.8	27.5	25.3	23.1	21.1	19.1	17.2	15.4	13.6	11.9	10.2	11.3	8.6
+ 30	31.6	29.2	26.9	24.7	22.5	20.5	18.5	16.6	14.7	13.0	11.3	12.4	9.6
+ 31	33.4	30.9	28.5	26.2	24.0	21.9	19.8	17.9	16.0	14.1	12.4	13.5	10.6
+ 32	35.4	32.8	30.3	27.9	25.6	23.4	21.3	19.2	17.3	15.4	13.5	14.8	11.7
+ 33	37.4	34.7	32.2	29.7	27.3	25.0	22.8	20.6	18.6	16.6	14.8	16.1	12.9
+ 34	39.6	36.8	34.2	31.5	29.0	26.7	24.5	22.2	20.0	18.0	16.1	17.4	14.1
+ 35	41.8	39.0	36.2	33.5	30.9	28.4	26.1	23.8	21.6	19.4	17.4	15.4	13.5

Точка росы обозначает предѣльную температуру, за которую съ трудомъ можетъ перейти охлажденіе воздуха. Именно, когда достигнута точка росы, содержащійся въ воздухѣ водяной паръ начинаетъ конденсироваться. А этотъ процессъ освобождаетъ такое количество тепла, что потеря тепла излучешемъ въ теченіе ночи совершенно или въ большей части устраняется. Поэтому весною по положешю точки росы можно довольно вѣрно опредѣлять, нужно ли бояться ночного мороза или нѣтъ.

424. Приборы для измѣренія количества дождя примѣняются почти такъ же давно, какъ и барометръ и термометръ. Касъ Гукъ (1670), таъ и Мариоттъ уже пользовались дождемърами. На рис. 368 изображена цѣлесообразная форма дождемъра. Приборъ состоитъ изъ жестяного сосуда, верхняя часть котораго имѣетъ форму воронки. Цилиндрическая (верхняя) часть этой воронки имѣетъ поперечное сѣченіе въ 0.1 квм. Приборъ устанавливается на высотѣ приблизительно 2 м и вода, собравшаяся въ сосудѣ во время дождя, переливается въ мѣрный цилиндръ. Какъ показываетъ простое вычисленіе, каждый кубическій сантиметръ воды соотвѣтствуетъ слою дождевой воды въ одну сотую миллиметра.

Рис. 368



Дождемъръ.

425. Для удобнаго опредѣленія направленія вѣтра съ незапамятныхъ временъ служить флюгеръ. Ему, однако, нужно предпочесть выппель, такъ какъ флюгеръ, вращающійся вокругъ вертикальной оси, легко можетъ давать невѣрные показанія, а именно, если его ось стоитъ не вполне вертикально. Весьма существенно также, чтобы приспособленіе для указанія направленій вѣтра стояло по возможности далеко отъ сосѣднихъ зданій и большихъ крышъ, такъ какъ часто они весьма сильно вліяютъ на направленіе вѣтра.

Для измѣренія силы вѣтра были построены различные приборы. Одни изъ нихъ даютъ давленіе, производимое вѣтромъ, другіе его скорость. Здѣсь мы опишемъ только одинъ изъ такихъ приборовъ (анемометровъ). Онъ безъ сомнѣнія заслуживаетъ наибольшаго довѣрія, особенно уже потому, что его легко помѣстить на свободномъ мѣстѣ, напримѣръ, на верхушкѣ флагштока.

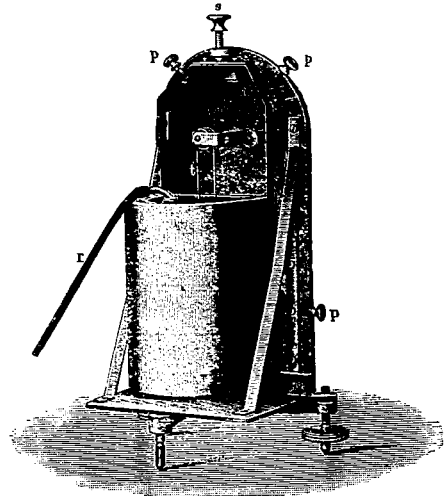
Если вѣтеръ пронесется горизонтально надъ концомъ вертикальной трубки, то онъ отчасти высасываетъ воздухъ, содержащійся въ трубкѣ, увлекая съ собою часть его у конца трубки. Этимъ явленіемъ для измѣренія силы вѣтра впервые воспользовался въ 1873 году Магіусъ въ Копенгагенѣ. Трубка была укрѣплена на штангѣ и соединялась со стеклянной трубкой, которая находилась внутри дома и нижнимъ концомъ была погружена въ воду. Высота, до которой подымалась вода въ трубкѣ благодаря вѣтру, служила мѣрой силы вѣтра. Поелѣ того какъ Гагеманнъ точнѣе изслѣдовалъ всасывающее дѣйствіе вѣтра и указалъ различные приборы для измѣренія этого дѣйствія, вошли въ употребленіе анемометры той формы, какая изображена на рис. 369. Этотъ рисунокъ представляетъ приборъ, построенный капитаномъ Рунгомъ. Приборъ состоитъ изъ цинковаго сосуда съ двойными стѣнками. Внутренняя его часть соединяется внизу съ пространствомъ между стѣнками, такъ что вода стоитъ на одной и той же высотѣ въ обѣихъ частяхъ. Сверху въ промежутокъ между стѣнками входитъ всасывающая трубка *г*. Такимъ образомъ, при вѣтрѣ вода

въ промежуткѣ между стѣнками подымается, а въ самомъ сосудѣ понижается. Эти колебанія уровня воды въ сосудѣ при помощи поплавка и показанной на рисункѣ нити t передаются на блокъ. Ось этого блока двигаетъ стрѣлку (на рисункѣ невидимую), которая занимаетъ то или другое мѣсто раздѣленного круга соотвѣтственно силѣ вѣтра. При помощи винта z сосудъ съ водою можно подымать и опускать. Это даетъ возможность при штилѣ устанавливать стрѣлку на нуль дѣлений.

426. Уже Гукъ построилъ приборъ, отмѣчавшій показаніе различныхъ метеорологическихъ инструментовъ въ опредѣленные моменты. Этотъ приборъ былъ представленъ лондонскому Королевскому Обществу въ 1670 году.

Въ настоящее время на обсерваторіяхъ употребляется множество „самопишущихъ“ приборовъ. Нѣкоторые изъ нихъ записываютъ состояніе приборовъ непрерывно, каковы, напримѣръ, описанные въ § 246 приборы для записи склоненія и наклоненія магнитной стрѣлки и силы земного магнетизма. Другіе инструменты устроены такъ, что отмѣчаютъ состояніе приборовъ по истеченіи опредѣленного времени, напримѣръ, каждые 5 минутъ, каждую четверть часа или каждый часъ. Мы не можемъ входить здѣсь въ болѣе подробное описаніе этихъ приборовъ, въ которыхъ пользуются отчасти механическими, отчасти оптическими и отчасти электрическими вспомогательными средствами. Само собою разумѣется, что употребленіе такого рода приборовъ въ отношеніи удобства и полноты наблюдений имѣетъ большія преимущества передъ обыкновеннымъ наблюденіемъ соотвѣстныхъ инструментовъ.

Рис. 369



Анемометръ.

К л и м а т ъ

427. То неизмѣримое количество наблюдательнаго матеріала, которое собирается съ теченіемъ времени на многочисленныхъ метеорологическихъ станціяхъ, ложится въ основу характеристики климата различныхъ областей. Кромѣ того производимыя одновременно наблюденія отдѣльныхъ дней служатъ для изготовленія такъ называемыхъ синоптическихъ картъ. Онѣ даютъ для болѣе значительныхъ областей атмосферное давленіе, температуру, направленіе вѣтра и т. д. въ опредѣленное время сутокъ. Эти карты наглядно показываютъ состояніе погоды для одного момента и, сравнивъ карты двухъ послѣдовательныхъ дней, можно получить наглядное представленіе о томъ, какъ измѣнилось состояніе погоды въ теченіе сутокъ. Здѣсь мы должны ограничиться лишь указаніемъ на важнѣйшіе результаты этихъ наблюдений.

428. Въ измѣненіяхъ температуры и давленія атмосферы замѣчается извѣстная суточная и годовая періодичность, которая, однако, часто маскируется неправильными колебаніями. Послѣднія столь же характерны для климата данного мѣста, какъ и первыя. Вообще неправильности выступаютъ сильнѣе всего внѣ тропиковъ и особенно въ странахъ, лежащихъ на берегу моря.

Суточное колебаніе температуры, которая играетъ такую важную роль въ природѣ, достигаетъ наибольшей величины въ тропикахъ, особенно внутри материка. Это является естественнымъ слѣдствіемъ того обстоятельства, что на экваторѣ въ теченіе круглаго года дни и ночи одинаковы и солнце каждый день подымается почти до самаго зенита. Въ мѣстахъ, недалекихъ отъ экватора, условія мало отличаются отъ условій, господствующихъ на самомъ экваторѣ. Такъ какъ суша имѣетъ меньшую теплоѣмкость, чѣмъ море, то и нагрѣвается и охлаждается она скорѣе послѣдняго. Нагрѣваніе же или охлажденіе земной поверхности передается также и воздуху, соприкасающемуся съ этой поверхностью.

Въ умѣренныхъ странахъ, напримѣръ, въ Даніи, суточное колебаніе температуры бываетъ больше всего лѣтомъ; при томъ оно различно въ разныхъ частяхъ страны. Разность между наибольшей и наименьшей температурами за сутки очень различна для мѣстъ, лежащихъ далеко отъ берега, какъ, Биркебэкъ въ Ютландіи, и для мѣстъ, лежащихъ вблизи берега, какъ Сандвигъ на Борнгольмѣ:

	Январь	Февраль	Мартъ	Апрѣль	Май	Іюнь
Биркебэкъ	7·5	6·4	8·7	11·9	13·8	13·4
Сандвигъ	3·1	3·2	3·6	4·8	6·2	6·2

	Іюль	Августъ	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Биркебэкъ	11·9	12·4	10·9	9·1	7·3	6·0
Сандвигъ	6·1	5·4	4·6	3·8	3·2	2·8

Наивысшая температура зимою бываетъ въ 1 часъ, лѣтомъ между 2 и 3 часами, а самая низкая температура за полчаса или за часъ до восхода солнца и, значитъ, лѣтомъ и зимою въ очень различное время. Эта разность между наивысшей и наименьшей температурами бываетъ особенно велика въ ясные дни.

429. Въ противоположность суточному колебанію, годовое измѣненіе температуры на экваторѣ незначительно. Проходить ли солнце черезъ самый зенитъ или немного сѣвернѣе или южнѣе его, это не имѣетъ особеннаго значенія, равно какъ и незначительное отклоненіе дня и ночи отъ равенства въ тѣхъ мѣстахъ, которыя лежатъ не на самомъ экваторѣ. Но въ умѣренныхъ странахъ, напримѣръ, въ Даніи, солнце лѣтомъ подымается на 58°, зимою же только на 11° надъ горизонтомъ и лѣтомъ дни вдвое длиннѣе, чѣмъ зимою. Поэтому разница между лѣтней и зимней температурами сравнительно велика. И здѣсь огромное значеніе имѣетъ то обстоятельство, находится ли данное мѣсто внутри страны или же вблизи морского берега. Разница между средними температурами наиболѣе теплаго и наиболѣе холоднаго мѣсяца на Фарѣрскихъ островахъ составляетъ только 7°, въ Даніи же 17°, въ С.-Петербургѣ 26°, а во многихъ мѣстахъ Сибири 50° и болѣе. Наиболѣе высокая

температура бывает спустя приблизительно мѣсяцъ поелѣ лѣтняго солнцестоянія (въ юлѣ), а наиболѣе низкая спустя мѣсяцъ послѣ зимняго солнцестоянія (въ январѣ).

430. На приложенныхъ въ концѣ этого тома картахъ распредѣленіе теплоты на земной поверхности представлено при помощи такъ называемыхъ изотермъ, т. е. линій, проведенныхъ черезъ тѣ мѣста, которыя имѣютъ одну и ту же среднюю температуру. Въ южномъ полушаріи условія довольно однообразны, т. е. изотермы идутъ почти прямолинейно, такъ какъ здѣсь мало материковъ. Напротивъ, въ сѣверномъ полушаріи огромные континенты производятъ въ январѣ сильное пониженіе, а въ іюлѣ сильное повышеніе температуры. Поясъ наибольшей температуры (24°) въ январѣ лежитъ на океанахъ по обѣ стороны экватора и притомъ большею своею частью въ южномъ полушаріи. Особенно далеко къ югу онъ идетъ въ Южной Америкѣ, Африкѣ и Австраліи. Лѣтомъ этотъ поясъ лежитъ, напротивъ, больше къ сѣверу отъ экватора, особенно на американскомъ и азіатскомъ материкахъ.

Наконецъ, нужно отмѣтить, что внѣ тропиковъ западные берега материковъ зимою бываютъ гораздо теплѣе, чѣмъ восточные. Главной причиной этого является то, что въ умѣренныхъ странахъ господствуютъ западные вѣтры, а вѣтры съ моря зимою бываютъ мягкими.

431. Въ тѣсной связи съ распредѣленіемъ тепла находится и распредѣленіе давленія атмосферы. Приложенныя карты наглядно показываютъ распредѣленіе давленія воздуха въ январѣ и іюлѣ. Черныя линіи представляютъ собою изобары, т. е. линіи, соединяющія тѣ мѣста, которыя имѣютъ одинаковое среднее давленіе. Въ распредѣленіи атмосфернаго давленія можно различить пять поясовъ. Одинъ поясъ низкаго давленія (голубой) простирается надъ тѣми областями, въ которыхъ лежитъ тепловой экваторъ,—въ январѣ южнѣе географическаго экватора съ выступами въ южныхъ материкахъ, въ іюлѣ къ сѣверу отъ экватора съ значительными выступами въ Азій и въ Сѣверной Америкѣ.

По обѣимъ сторонамъ этой области лежитъ поясъ высокаго давленія. Въ южномъ полушаріи этотъ поясъ идетъ очень правильно. Поясъ сѣвернаго полушарія въ январѣ достигаетъ наибольшаго развитія надъ материками, а въ іюлѣ надъ морями. Въ январѣ материки холодны, въ іюлѣ же сравнительно прохладны моря.

За этими двумя поясами высокаго давленія идутъ два пояса низкаго давленія, изъ которыхъ, лежащій въ южномъ полушаріи, имѣетъ болѣе правильную форму, чѣмъ лежащій въ сѣверномъ полушаріи.

И столкованіе

432. Карты температуръ и давленій даютъ лишь среднее состояніе для января и іюля, но только въ тропикахъ это среднее состояніе является и общимъ состояніемъ, чего, конечно, нельзя увидѣть на картахъ. Только въ тропикахъ распредѣленіе тепла и давленія почти всегда таково, какимъ его даютъ карты. Въ отдѣльныхъ мѣстахъ, конечно, встрѣчаются отклоненія, иногда даже очень значительныя, но все это только исключенія изъ общаго правила.

Напротивъ, въ умѣренныхъ и въ холодныхъ странахъ состояніе почти никогда не бываетъ такимъ, какимъ оно показано на картахъ. Давленіе воздуха постоянно измѣняется и эти измѣненія, какъ мы увидимъ, стоятъ въ тѣсной связи съ вѣтрами. Прошло много времени, прежде чѣмъ замѣтили эту связь, хотя и въ первыя времена

послѣ изобрѣтенія барометра не было недостатка въ попыткахъ объяснить связь между высотой барометра и состоящемъ погоды. При этихъ попыткахъ прибѣгали къ скрытымъ силамъ, къ исходящимъ изъ внутренности земли парамъ, либо приписывали атмосферѣ удлиненную въ направленіи отъ полюса къ полюсу форму, въ силу чего сѣверные вѣтры, обрушиваясь съ высоты, должны были производить сильное давленіе.

433. Правильно понимать эти соотношенія стали благодаря наблюденіямъ, которыя производились въ тропикахъ, гдѣ условія проще всего. Опираясь на собственный опытъ, Галлей (§ 226) далъ прекрасное описаніе пассатовъ и муссоновъ. Онъ пытался объяснить первые слѣдующимъ образомъ.

Въ соотвѣтствіи съ суточнымъ движешемъ солнца вокругъ земли (для настоящихъ выводовъ не имѣетъ значенія, что это движеніе только кажущееся) нагрѣваніе земли идетъ постепенно съ востока на западъ. Нагрѣваясь, масса воздуха должна занимать больше мѣста. По направленію къ востоку она не можетъ двигаться, такъ какъ ея нагрѣваніе идетъ оттуда. Не можетъ она двигаться и къ сѣверу и югу, такъ какъ и здѣсь происходитъ нагрѣваніе, хотя и менѣе значительное, чѣмъ на экваторѣ. Такимъ образомъ она должна уходить къ западу, гдѣ нагрѣваніе еще не началось. Вслѣдствіе этого пассатный вѣтеръ является въ сущности западнымъ вѣтромъ.

Что это объясненіе невѣрно, вытекаетъ изъ того, что въ самомъ тепломъ мѣстѣ (на тепловомъ экваторѣ) пассата нѣтъ.

434. Гораздо счастливѣе былъ современникъ Галлея Джорджъ Гадлей, помѣстившій въ 1735 году въ изданіяхъ Royal Society свое объясненіе пассатовъ и муссоновъ, къ сожалѣнію долго остававшееся незамѣченнымъ. Позднѣе, когда это объясненіе оказалось правильнымъ, честь его открытія часто приписывалась, вслѣдствіе смѣшенія именъ, Галлею.

Тамъ, гдѣ воздухъ нагрѣвается сильнѣе всего (на тепловомъ экваторѣ) онъ расширяется больше всего и потому здѣсь имѣетъ наименьшую плотность. Вслѣдствіе этого болѣе холодный воздухъ притекаетъ съ обѣихъ сторонъ къ экватору и вытѣсняетъ теплый воздухъ вверхъ. Такимъ образомъ, на экваторѣ образуется восходящее воздушное теченіе. Но воздухъ, притекающій къ экватору, приходитъ къ такимъ мѣстамъ земной поверхности, которыя отстоятъ отъ земной оси дальше и потому имѣютъ большую скорость въ направленіи съ востока на западъ, чѣмъ притекающій воздухъ. Послѣдній не можетъ поспѣвать за болѣе быстрымъ движешемъ земли и потому ощущается, какъ вѣтеръ обратнаго направленія, т. е. вѣтеръ, который къ сѣверу отъ экватора долженъ быть сѣвернымъ вѣтромъ, становится сѣверовосточнымъ, а вѣтеръ, который къ югу отъ экватора долженъ быть южнымъ, становится юговосточнымъ. Первый представляетъ собою сѣверовосточный пассатъ, послѣдній юговосточный.

Сходнымъ образомъ Гадлей объяснялъ и возникновеніе муссоновъ, которые правильно дуютъ въ Индіи и въ другихъ странахъ, мѣняя свое направлѣніе каждое полугодіе. Зимой наиболѣе высокая температура бываетъ къ югу отъ Индіи. Согласно приведенному выше объясненію здѣсь долженъ, значить, дуть сѣверовосточный вѣтеръ. Напротивъ, лѣтомъ температура бываетъ выше всего надъ азіатскимъ материкомъ, къ сѣверу отъ Индостана. Такимъ образомъ, воздухъ въ этихъ странахъ долженъ двигаться съ юга. Но такъ какъ, удаляясь отъ экватора, воздухъ перемѣщается въ области, движущіяся къ востоку съ меньшей скоростью, то онъ долженъ обгонять эти области и потому южный вѣтеръ обращается въ югозападный.

435. Воздухъ, подымающийся вверхъ въ экваторіальныхъ странахъ, отсюда стекаетъ къ сѣверу и къ югу и, слѣдовательно, переходитъ въ области съ меньшей скоростью, нежели та, которую имѣетъ этотъ воздухъ и которая есть скорость экватора. Такимъ образомъ, воздухъ обгоняетъ эти страны и его теченіе въ сѣверномъ полушаріи обращается въ югозападный вѣтеръ, а въ южномъ въ сѣверозападный. Эти вѣтры образуютъ въ болѣе высокихъ слояхъ антипассатъ. Онъ обнаруживается, между прочимъ, тѣмъ, что высокія облака движутся здѣсь въ направленіи, противоположномъ пассату. На очень высокихъ островахъ, лежащихъ въ области пассата, какъ, напримѣръ, на островѣ Teneriffъ, на вершинахъ господствуетъ антипассатъ. Въ областяхъ высокаго давленія онъ постепенно спускается къ поверхности земли (уровню моря).

436. Съ объясненіемъ явленій внѣ тропиковъ до середины XIX столѣтія дѣло обстояло плохо. Былъ распространенъ взглядъ, что огромная разница въ условіяхъ вѣтра въ тропической зонѣ и внѣ ея въ сущности состоитъ въ томъ, что два большихъ теченія, пассатъ и антипассатъ, въ умѣренныхъ странахъ идутъ не другъ надъ другомъ, какъ въ тропикахъ, а рядомъ другъ около друга и притомъ постоянно мѣняютъ свое положеніе, такъ что мы попадаемъ то въ полярный сѣверовосточный вѣтеръ, то въ экваторіальный югозападный. Тому, какъ эти вѣтры вытѣсняють другъ друга, давали чрезвычайно странныя объясненія.

Такъ какъ было замѣчено, что иногда восточный вѣтеръ сначала наблюдается въ Англіи, затѣмъ въ Даніи и, наконецъ, въ Петербургѣ, что онъ, такъ сказать, отступаетъ назадъ, то ввели удивительное понятіе о „всасывающихъ вѣтрахъ“.

Всѣ эти взгляды были устранены и замѣнены очень простой вещью благодаря установленію закона Байсъ-Балло.

437. Различные метеорологи, какъ, напримѣръ, американецъ Коффинъ (род. 1815), нашли, что вѣтеръ дуетъ не изъ мѣста высокаго давленія (максимума) въ мѣсто низкаго давленія (минимумъ), какъ слѣдовало бы думать. Эти соотношенія были вполнѣ объяснены голландцемъ Байсъ-Балло. Онъ жилъ съ 1817 до 1890 года и былъ профессоромъ математики и директоромъ метеорологическаго института въ Утрехтѣ.

Байсъ-Балло былъ однимъ изъ тѣхъ естествоиспытателей, которые прежде всего вопрошаютъ самоё природу. Онъ съ большимъ усердіемъ собиралъ большое количество метеорологическихъ наблюденій. Онъ наносилъ полученные въ одно и то же время наблюденія на карту и такимъ образомъ нашель, что вѣтеръ направляется къ мѣсту наименьшаго давленія лишь приближительно, а не вполнѣ точно и при этомъ (въ сѣверномъ полушаріи) отклоняется вправо, нерѣдко отходя отъ направленія къ минимуму давленія на 60° — 80° . Такимъ образомъ, если идти по вѣтру или обратиться къ вѣтру спиной, то мѣсто низкаго давленія (барометрической минимумъ) находится влѣво и притомъ довольно далеко.

438. Такое направленіе вѣтра является слѣдствіемъ того, что всякое движущееся тѣло въ сѣверномъ полушаріи имѣетъ стремленіе уклониться вправо отъ первоначальнаго направленія движенія.

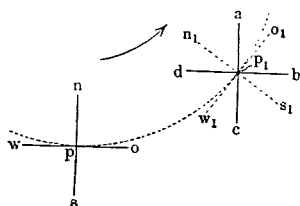
Для того чтобы возможно проще объяснить это явленіе, мы прежде всего должны представить себѣ, какъ дѣйствуетъ вращеніе земли на тѣло, находящееся въ покоѣ. Можно вообразить себѣ, что это тѣло плаваетъ на спокойной водѣ, напри-

мѣръ, на поверхности маленькаго озера. Центробѣжная сила, конечно, стремится удалить его отъ земной оси въ сторону экватора и, слѣдовательно, стремится перемѣстить его къ южному берегу озера. Но поверхность озера также приняла форму, соотвѣтствующую дѣйствию центробѣжной силы. Южный берегъ какъ разъ настолько дальнѣе отъ центра земли, чѣмъ сѣверный, что вода уже не устремляется къ южному берегу. Поэтому и плавающее на поверхности воды тѣло не имѣетъ стремленія двигаться къ югу.

Но если тѣло обладаетъ собственнымъ движеніемъ, то можно найти то мѣсто, куда оно приходитъ, если приложить это движеніе просто въ томъ мѣстѣ, котораго тѣло достигло бы черезъ данный промежутокъ времени, не обладая оно собственнымъ движеніемъ.

Пусть o (рис. 370) будетъ ось земли, видимая съ сѣвернаго полюса, p мѣсто, гдѣ тѣло находится зъ данный моментъ, p_1 мѣсто, гдѣ оно находится спустя нѣсколько времени вслѣдствіе вращенія земли въ направленіи стрѣлки. Представимъ себѣ, что мы изъ p двинули одно тѣло въ направленіи къ сѣверу n , другое къ востоку o , третье къ югу s и четвертое къ западу w . Когда мы затѣмъ перемѣстимся въ точку p_1 эти тѣла будутъ находиться въ точкахъ a , b , c и d . Такимъ образомъ a удалится отъ сѣвера n_1 вправо; такимъ же образомъ b отклонится вправо отъ востока o_1 , c отъ юга s_1 и d отъ запада w_1 .

Рис. 370



Еслибы мы смотрѣли на земную ось съ южнаго полюса, то стрѣлка должна была бы имѣть обратное направленіе и движеніе тѣла должно было бы уклоняться влѣво.

Примѣръ такихъ отклоненій представляютъ большія морскія теченія. Въ сѣверной части Атлантическаго и въ Тихомъ океанѣ преобладаютъ такія отклоненія вправо, въ южныхъ моряхъ влѣво. Въ болѣе ограниченныхъ частяхъ морей, конечно, берега и мелкія мѣста вызываютъ значительныя отступленія отъ этого.

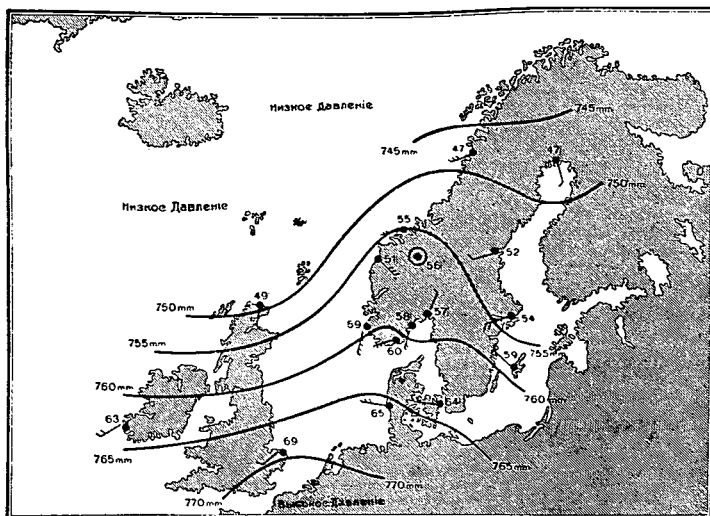
439. Законъ Байсъ-Балло по существу имѣетъ мѣсто только для распредѣленія давленій въ данный моментъ и для опредѣляемаго этимъ направленія вѣтра; но его можно приложить также и къ среднему расположенію давленій и, соотвѣтственно этому, къ господствующимъ направленіямъ вѣтровъ. По ходу изобаръ для января и іюля можно сдѣлать довольно надежное заключеніе, какіе вѣтры должны быть господствующими въ эти мѣсяцы въ любомъ мѣстѣ.

Пассаты и муссоны, какъ показываетъ одинъ взглядъ на карту, также находятъ объясненіе въ законѣ Байсъ-Балло. Здѣсь состояніе длится извѣстное время. Но и внѣ тропиковъ, гдѣ состояніе атмосферы перемѣнчиво, изобары указываютъ преобладающее направленіе вѣтра. Напримѣръ, въ Даніи господствуетъ въ январѣ юго-западный вѣтеръ, а въ іюлѣ западный. Выраженная въ процентахъ частота вѣтровъ слѣдующая:

	Январь	Февраль	Мартъ	Апрѣль	Май	Июнь	Июль	Августъ	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
С	5	5	8	7	8	8	5	5	5	5	7	6
СВ	9	10	10	14	10	7	4	5	6	9	11	9
В	11	14	13	19	10	9	5	8	8	14	10	11
ЮВ	12	15	12	14	10	9	9	10	13	14	13	12
Ю	13	13	9	8	8	7	9	10	12	11	13	11
ЮЗ	22	18	15	11	15	14	17	17	19	18	20	20
З	17	15	17	12	19	22	26	23	19	14	14	19
СЗ	9	8	13	11	16	19	20	17	14	12	9	10
штиль	2	2	3	4	4	5	5	5	4	3	3	2

440. Но полную свою силу законъ Байсъ-Балло обнаруживаетъ только въ синоптическихъ картахъ, которыя показываютъ состояніе погоды въ данный моментъ для болѣе значительной части земной поверхности.

Рис. 371



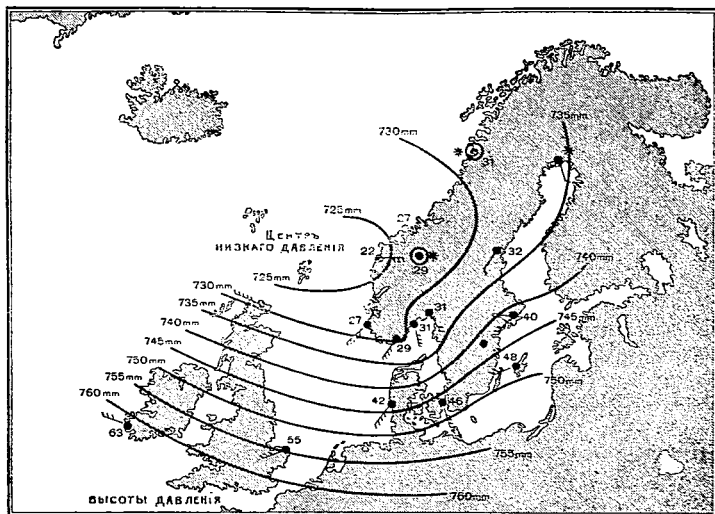
Карта погоды 15 декабря 1873 года.

Такого рода карты изготовляются ежедневно въ метеорологическихъ институтахъ на основаніи доставляемыхъ по телеграфу извѣстій. Датскій метеорологическій институтъ былъ основанъ въ 1872 году¹⁾. Рисунки 371, 372 и 373 указываютъ состояніе погоды для трехъ послѣдовательныхъ дней (въ 8 часовъ утра). Отдѣльныя наблюдательныя станціи обозначены небольшими кружками, которые зачернены со-

¹⁾ Въ Россіи такимъ институтомъ является Николаевская Главная Физическая Обсерваторія въ С.-Петербургѣ, основанная въ 1857 году.

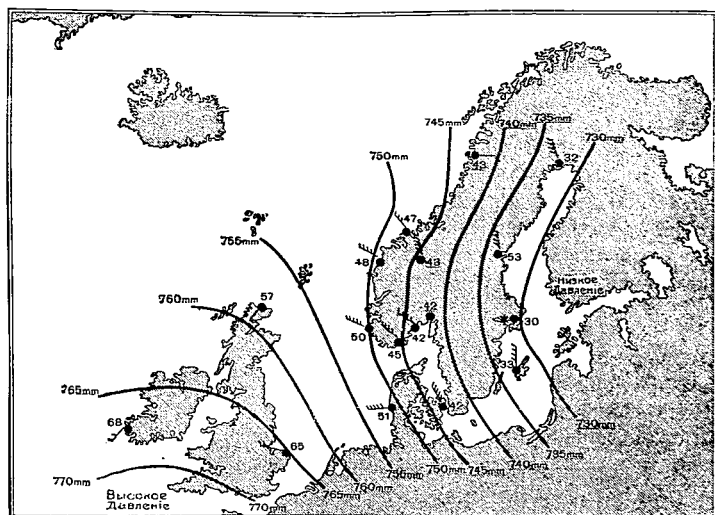
ответственно облачности (на четверть, на половину или совсѣмъ). Направление вѣтра на каждой станціи обозначено стрѣлкой (направленной по вѣтру). Число перьевъ на

Рис. 372



Карта погоды 16 декабря 1873 года.

Рис. 373



Карта погоды 17 декабря 1873 года.

стрѣлки даетъ силу вѣтра (1 означаетъ слабый вѣтеръ, 6 ураганъ). Штиль означаетъ кружкомъ вокругъ станціи, дождь точкой, снѣгъ звѣздочкой.

Если не всѣ стрѣлки на этихъ картахъ имѣютъ такое направленіе, какое слѣдуетъ по закону Байсъ-Балло, то причиной этого отчасти является то, что вѣтеръ испытываетъ отклоненіе со стороны горъ, отчасти же то, что изобары начерчены не съ такими большими кривизнами, какія были бы при большемъ числѣ наблюдательныхъ станцій. Поэтому эти отклоненія можно считать лишь кажущимися исключеніями изъ правила.

Восходящія и нисходящія теченія

441. Теченіе въ воздушномъ океанѣ обусловливается главнымъ образомъ тепло-тою. Но здѣсь условія иныя, чѣмъ при теченіяхъ въ жидкостяхъ.

Соотвѣтственно тому, холоднѣе ли нижше слои, такой же они температуры или теплѣ верхнихъ, жидкость находится въ устойчивомъ, безразличномъ или неустойчивомъ равновѣсіи. Если помѣстить наверху болѣе холодную жидкость, то въ силу своего большаго удѣльнаго вѣса она опустится внизъ. Если наиболѣе нагрѣтъ нижней слой жидкости, то равновѣсіе можетъ быть только въ томъ случаѣ, когда разделяющая поверхность между слоями различныхъ температуръ представляетъ горизонтальную плоскость. Отъ самаго ничтожнаго возвышенія на поверхности, разделяющей болѣе холодный и болѣе теплый слои, теплая жидкость подымается еще больше, получается прорывъ поверхности и вся остальная теплая жидкость уходитъ вверхъ. Такимъ образомъ, здѣсь равновѣсіе неустойчиво. Если жидкость имѣетъ одну и ту же температуру вездѣ, то, конечно, она находится въ безразличномъ равновѣсіи.

442. Напротивъ, если воздухъ перемѣщается съ поверхности земли вверхъ, его давленіе дѣлается меньше и онъ расширяется. Такимъ образомъ онъ производитъ работу и потому охлаждается. Это охлажденіе составляетъ около 1° на 100 м. Если же воздухъ, находящійся вверху, имѣетъ ту же температуру, съ какой до него восходитъ поднимающійся воздухъ, то послѣдній перестаетъ подыматься и не опускается обратно. Слѣдовательно, воздухъ находится въ безразличномъ равновѣсіи, если температура уменьшается на 1° на каждые 100 м. поднятія.

Если воздухъ внизу холоднѣе того, какимъ онъ долженъ былъ бы быть соотвѣтственно указанному отношенію, то онъ находится въ устойчивомъ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ, если бы онъ былъ перемѣшенъ вверхъ, то онъ былъ бы холоднѣе воздуха, находящагося вверху, и потому долженъ былъ бы снова опуститься. Если же воздухъ внизу теплѣе, чѣмъ слѣдовало бы по указанному отношенію, то онъ находится въ неустойчивомъ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ, будучи перенесенъ на высоту, онъ былъ бы теплѣе находящагося тамъ воздуха и потому долженъ былъ бы продолжать подыматься.

443. На эти условія оказываетъ большое вліяніе содержаніе въ воздухѣ водяныхъ паровъ.

Если воздухъ у поверхности земли не насыщенъ водянымъ паромъ, то его условія незначительно отличаются отъ условій сухого воздуха. Но если онъ насыщенъ у поверхности или достигаетъ температуры насыщенія (точки росы) вслѣдствіе

охлажденія при поднятіи, то дальнѣйшій подъемъ долженъ вызывать конденсацію водяного пара. А такъ какъ это освобождаетъ теплоту, то насыщенный водянымъ паромъ воздухъ при поднятіи охлаждается не такъ сильно, каисъ сухой. Воздухъ, насыщенный водянымъ паромъ при 0°, охлаждается при поднятіи на 100 м только на 0.63°, а воздухъ, насыщенный при 20°, только на 0.45°. Такимъ образомъ, если воздухъ подымается отъ поверхности земли въ видѣ вертикальнаго столба, то его температура убываетъ съ высотой медленно. Такого рода столбъ часто будетъ на высотѣ теплѣе того воздуха, въ который онъ вступаетъ. Поэтому онъ нерѣдко будетъ удлиняться вверхъ и вслѣдствіе выдѣленія водяного пара будетъ наполняться туманомъ, т. е. будетъ способствовать образованію облаковъ.

Изъ сказаннаго легко понять, что при опусканіи воздушной массы ея температура подымается и притомъ довольно медленно, пока эта масса еще содержитъ облака, на испареніе которыхъ уходитъ тепло. Но какъ только облака исчезли, ея температура подымается на 1° на каждые 100 м. Это очень просто объясняетъ теплый вѣтеръ на сѣверномъ склонѣ Альповъ, который извѣстенъ подъ названіемъ фѣна и который раньше считали воздушнымъ теченіемъ, идущимъ изъ Африки. Такимъ же образомъ объясняется и существованіе теплыхъ восточныхъ вѣтровъ на западномъ берегу Гренландіи, которые вызвали у нѣкоторыхъ предположеніе, что внутренность Гренландіи имѣетъ райскій климатъ.

444. Въ различныхъ мѣстностяхъ земли можно найти много примѣровъ малыхъ и большихъ быстро восходящихъ воздушныхъ теченій, которыя обнаруживаются обыкновенно съ гораздо большей интенсивностью, чѣмъ нисходящія. Первыя обыкновенно сопровождаются образованіемъ облаковъ и осадками, послѣднія яснымъ небомъ.

Образованію восходящихъ и нисходящихъ воздушныхъ теченій могутъ способствовать возвышенности земной поверхности. Напримѣръ, въ Норвегіи западный вѣтеръ является восходящимъ теченіемъ въ западной части страны, и нисходящимъ въ восточной. Въ первой части наблюдаются облака и осадки, вторая получаетъ болѣе теплую погоду. Съ восточнымъ вѣтромъ происходитъ обратное.

Дождь бываетъ, конечно, тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе влаженъ воздухъ и чѣмъ выше подымается воздушный столбъ. Такъ какъ въ сѣверной Европѣ западные вѣтры чаще и влажнѣе восточныхъ, то на западномъ склонѣ горъ въ Норвегіи выпадаетъ гораздо больше дождя (1000—2000 мм), чѣмъ на восточномъ склонѣ (300—600 мм).

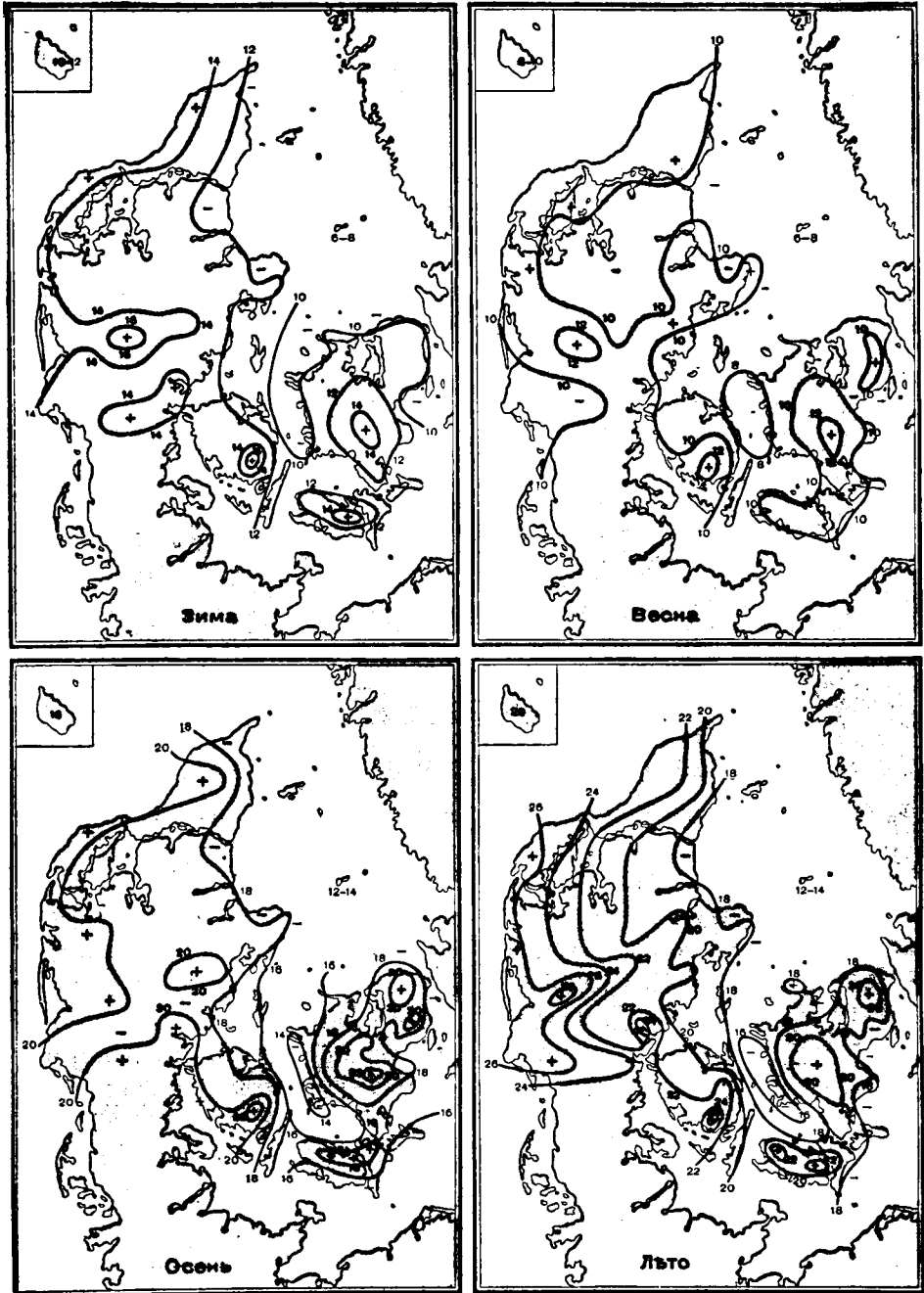
Даже незначительное поднятіе на возвышенностяхъ Даніи отчетливо отражается на количествѣ дождя, особенно осенью, когда воздухъ бываетъ ближе всего къ точкѣ насыщенія и когда облака образуются на незначительной высотѣ (рис. 374).

Подобнымъ же образомъ объясняются и страшные проливные дожди во время юго-западнаго муссона въ Передней Индіи, напримѣръ, на Малабарскомъ берегу (6000 мм) и на склонѣ Гиммалаевъ (до 14000 мм за нѣсколько мѣсяцевъ).

445. Но и въ открытомъ воздушномъ океанѣ наблюдается много примѣровъ восходящихъ воздушныхъ теченій. Одно изъ нихъ, а именно, восходящее теченіе на экваторѣ, уже было упомянуто. Принявъ въ себя большое количество водяного пара, пассатъ подымается вверхъ и производитъ страшные дожди. Это происходитъ въ удлиненной полосѣ, притомъ главнымъ образомъ надъ открытымъ океаномъ. Въ другихъ случаяхъ восходящія воздушныя теченія легко образуютъ болѣе или менѣе крупныя вихри, направленіе движенія которыхъ опредѣляется закономъ Байсъ-Балло

(въ сѣверномъ полунарії въ направленіи навстрѣчу движенія часовой стрѣлки). Характеръ этихъ вихрей въ значительной степени обусловливается мѣстными условіями и временемъ года.

Рис. 374

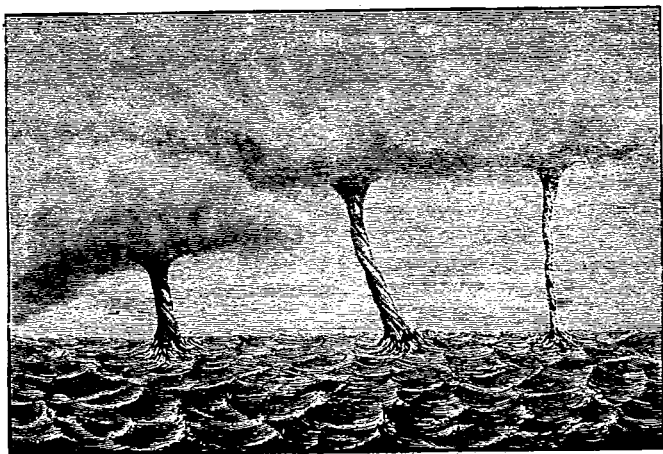


Распределение осадковъ въ Даніи по четыремъ временамъ года.

446. Въ Сахарѣ, гдѣ солнечные лучи нагрѣваютъ песокъ почти до температуры кипѣнія воды, нижній сильно нагрѣтый слой воздуха можетъ сразу понестись

вверхъ, увлекая съ собою песокъ и дѣлаясь отъ того еще болѣе теплымъ. Образующійся такимъ образомъ вѣтеръ носить название самума. Воздухъ въ этихъ случаяхъ бываетъ такъ сухъ, что его вдыханіе можетъ вызвать смерть отъ высыхания легкихъ. Въ отношеніи силы онъ значительно уступаетъ тропическимъ вихрямъ, несущимъ влажный воздухъ, каковы Вестъ-Индскіе ураганы, Остъ-Индскіе и китайскіе тайфуны. Благодаря теплотѣ, освобождающейся при конденсаціи пара, такой вихрь достигаетъ огромной высоты, а потому и такой силы, что можетъ производить на своемъ пути страшныя опустошенія.

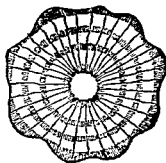
Рис. 375



Смерчи на Боденскомъ озерѣ.

447. Мы часто можемъ наблюдать такое явленіе въ малыхъ размѣрахъ лѣтомъ, когда вихрь проходитъ надъ пыльной дорогой и наполняется пылью, или когда онъ приводитъ въ движеніе колосья хлѣбнаго поля, или разбрасываетъ сложенное на лугу сѣно. Двигаясь надъ поверхностью воды, онъ также обнаруживаетъ замѣтное всасывающее дѣйствіе.

Рис. 376



Поперечное сѣченіе
градины.

Не что иное, какъ то же явленіе въ большемъ масштабѣ съ прибавленіемъ молніи, грома, дождя и града, представляетъ собою и гроза. Что касается образованія града, то уже давно извѣстно, что въ градинѣ можно иногда различить нѣсколько слоевъ, поочередно болѣе похожихъ то на ледъ, то на снѣгъ (рис. 376).

Отсюда вывели заключеніе, что при своемъ образованіи градина поочередно бываетъ то въ болѣе холодномъ, то въ болѣе тепломъ воздухѣ. А такъ какъ градъ обыкновенно сопровождается электрическими разрядами, то думали, что градины подъ дѣйствіемъ притяженія и отталкиванія двухъ облаковъ, изъ которыхъ одно заряжено положительнымъ электричествомъ, а другое отрицательнымъ, движутся вверхъ и внизъ, пока, наконецъ, не становятся такими тяжелыми, что должны упасть на землю сквозь нижнее облако. Правильность этой теоріи, предложенной Вольтой, весьма мало вѣроятна. Но если подумать, съ какой

силой вихри могутъ подымать на высоту тяжелые предметы, то не покажется удивительнымъ, что они могутъ увлекать съ собою и градины. На высотѣ воздухъ расходится по всѣмъ направленіямъ, вѣтеръ слабѣетъ и градины начинаютъ падать внизъ. Но прежде чѣмъ достигнуть земли, онѣ, быть можетъ, снова подхватываются восходящимъ теченіемъ въ вихрѣ и это можетъ, пожалуй, повториться нѣсколько разъ. Поэтому градъ выпадаетъ не въ серединѣ вихря, а на окружности большихъ размѣровъ и, когда градовая буря проходитъ надъ мѣстностью, то наибольшее количество града обыкновенно бываетъ на двухъ полосахъ по сторонамъ пути, пройденнаго серединой вихря.

448. Разсматривая карты погоды, часто можно замѣтить, что область низкаго давленія окружена довольно правильно идущими кольцеобразными изобарами, а потому и вѣтрами, которые располагаются по кругу около этого мѣста и медленно приближаются къ нему. Такимъ образомъ, мы здѣсь встрѣчаемся съ большимъ вихремъ, поперечникъ котораго можетъ достигать сотенъ миль. Около мѣстъ съ высокимъ давленіемъ изобары обыкновенно не имѣютъ формы круговъ и располагаются не такъ густо другъ около друга, какъ вокругъ мѣстъ съ низкимъ давленіемъ. Въ мѣстахъ съ низкимъ давленіемъ, надо думать, мы имѣемъ восходящее, въ мѣстахъ съ высокимъ давленіемъ нисходящее воздушное теченіе. Въ первыхъ небо облачно, во вторыхъ ясно.

Распределеніе давленія постоянно измѣняется, притомъ быстрѣе всего обыкновенно въ мѣстѣ минимума. Послѣдній мѣняетъ свое положеніе со дня на день. Въ нашихъ странахъ онъ обыкновенно движется съ запада на востокъ (см. рис. 371—373). Такой вихрь сначала приноситъ намъ южный вѣтеръ. Если вихрь проходитъ къ сѣверу отъ насъ, то вѣтеръ поворачиваетъ отъ юга къ западу и дальше. Если же вихрь проходитъ къ югу отъ насъ, напримѣръ, надъ Франціей и Германіей, то вѣтеръ у насъ поворачиваетъ съ юга на востокъ. Въ этомъ случаѣ наблюдается восточный вѣтеръ сначала въ Англии, затѣмъ въ Даши и, наконецъ, въ Петербургѣ, т. е. мы имѣемъ то явленіе, которое раньше обозначалось именемъ всасывающаго вѣтра (ср. § 436).

449. Прежде думали, что передвиженіе этихъ вихрей является слѣдствіемъ того, что въ нашихъ странахъ воздушное теченіе, въ которомъ вихри какъ бы пьлвуть, направлено по преимуществу съ запада на востокъ. Но не такъ давно профессоръ Монъ (род. 1835) въ Христианш доказалъ, что это перемѣщеніе вихря есть слѣдствіе постоянно продолжающагося новообразованія. Въ томъ мѣстѣ вихря, гдѣ въ послѣдній поступаетъ теплый и влажный воздухъ, образуется, такъ сказать, новый центръ вихря. Въ нашихъ странахъ особенной теплотой и влажностью отличается южный вѣтеръ, а такъ какъ этотъ вѣтеръ дуетъ въ восточной части вихря, то послѣдній и движется въ направленіи къ востоку. Такимъ образомъ восточная часть вихря есть его „передняя“ часть. Напротивъ, холодные сѣверные вѣтры, дующіе въ „задней“ половинѣ вихря, уничтожаютъ здѣсь вихрь. Съ этимъ согласуется и то, что въ передней части вихря господствуетъ дождливая погода, въ задней же, напротивъ, ясная.

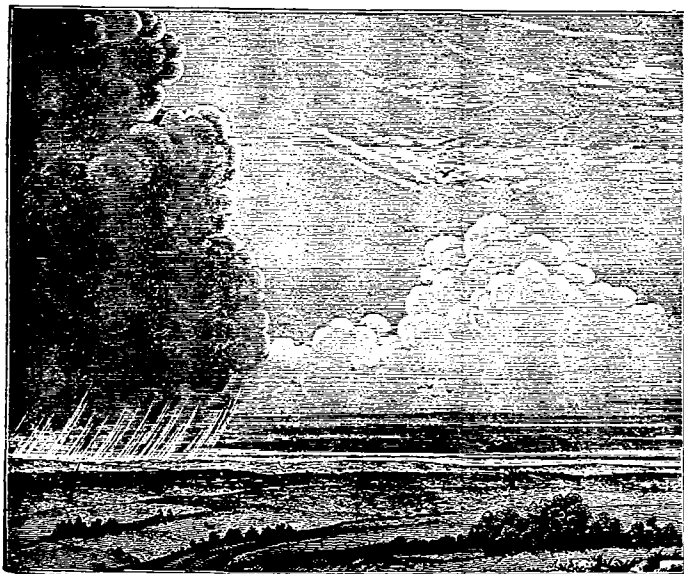
Совершенно то же происходитъ и съ движеніемъ грозъ. Какъ извѣстно, онѣ идутъ не по направленію вихря, а часто даже въ противоположномъ, такъ какъ онѣ перемѣщаются туда, гдѣ находятъ пищу для новаго образованія, а именно, гдѣ есть много водяныхъ паровъ. Равнымъ образомъ извѣстно, что во многихъ мѣстахъ грозы

часто идутъ по совершенно определенному пути, а именно надъ болотистыми и обильными влагой мѣстностями.

450. Помимо той важной роли, какую играетъ связываніе и освобожденіе тепла водяныхъ паровъ въ качествѣ движущей силы въ воздушномъ океанѣ, водяной паръ и его конденсація являются наиболѣе важнымъ факторомъ состоянія погоды и вида неба.

Безконечно разнообразныя формы облаковъ пытались привести въ систему. Англійскій метеорологъ Люкъ Говардъ (1772—1864) ввелъ обозначеніе, которое въ существенныхъ чертахъ остается во всеобщемъ употребленіи и теперь.

Рис. 377



Главныя формы облаковъ.

Главными формами являются перистое облако (*cirrus*), кучевое (*cumulus*), слоистое (*stratus*) и дождевое (*nimbus*), рис. 377. Кромѣ этихъ главныхъ формъ есть много видоизмѣненій и переходовъ между ними.

§ 3451. Прежде считали удивительнымъ, что несмотря на свой тяжеловѣсный видъ облака могутъ висѣть въ воздухѣ, не опускаясь. Особенно тяжелыя формы имѣютъ кучевыя облака, непрозрачныя и отбрасывающія густыя тѣни. Эти облака, плоскія внизу и имѣющія куполообразныя формы въ верхней части, плаваютъ въ голубомъ небѣ, не обнаруживая ни малѣйшаго движенія по направлешию къ землѣ.

Раньше думали, что для объясненія этого явленія необходимо допустить, что плавающія въ воздухѣ частицы воды не сплошныя капли, а маленькіе пузырьки, которые опускаются только очень медленно, какъ мыльные пузыри. Но не говоря уже о томъ, что такіе маленькіе пузырьки не могли бы существовать въ силу того огромнаго давленія, которое дѣйствовало бы на ихъ поверхности по направлешию внутрь,

допущеніе ихъ существованія совершенно излишне, такъ какъ можно представить себѣ столь малыя капли, что сопротивление, которое оказываетъ ихъ паденію воздухъ, уже и при самыхъ незначительныхъ скоростяхъ можетъ равняться ихъ тяжести. Такимъ образомъ, если существуетъ еще восходящее теченіе такой же скорости, то капли вовсе не падаютъ. Въ самомъ дѣлѣ, если вообразить себѣ, что капли дѣлаются все меньше и меньше, то ихъ поверхность, а съ нею и сопротивление воздуха, уменьшается пропорціонально только квадрату діаметра, вѣсь же капли уменьшается пропорціонально кубу діаметра. Такимъ образомъ, допустивъ достаточно малую величину капель, можно получить и сколь угодно малое значеніе для скорости ихъ паденія.

При образованіи кучевыхъ облаковъ имѣетъ мѣсто медленное восходящее теченіе, которое именно и является причиною образованія облака. Въ самомъ дѣлѣ, передъ полднемъ нагрѣтый воздухъ начинаетъ подыматься въ различныхъ мѣстахъ. На извѣстной высотѣ начинается конденсація (§ 443) и здѣсь-то и получается нижняя горизонтальная граница кучевого облака.

Причина того, что такое облако производитъ впечатлѣніе массивнаго, лежитъ именно въ незначительности капель. Нерѣдко въ горлышкѣ только откупоренной бутылки пива можно замѣтить такой густой туманъ, что нельзя даже видѣть поверхности жидкости. Этотъ туманъ образуется, когда воздухъ подъ пробкой сильно сжатъ, вслѣдствіе его расширенія и связаннаго съ этимъ охлажденія. Совершенно такъ же, какъ и этотъ туманъ, кучевое облако состоитъ изъ массы безчисленныхъ капелекъ, сквозь которую лучъ свѣта не можетъ пройти по прямой линіи, тогда какъ масса дождевыхъ капель не представляетъ для него замѣтнаго препятствія.

Если массы облаковъ плаваютъ очень высоко, то мелкія капельки успѣваютъ соединиться въ большія. Таюя капли падаютъ быстрѣе, соединяются съ другими и увеличиваются до извѣстнаго предѣла. Этотъ предѣлъ не можетъ быть значительно превзойденъ, такъ какъ затѣмъ капля подъ вліяніемъ сопротивленія воздуха разбивается на болѣе мелкія капельки.

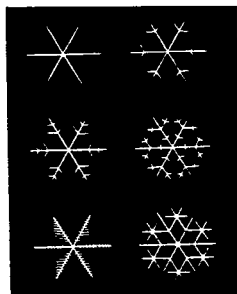
Другою причиною, по которой водяныя частички облаковъ считали пузырьками, было то обстоятельство, что въ кучевомъ облакѣ вообще не бываетъ видно радуги, хотя бы солнце и глазъ занимали надлежащее положеніе. Въ настоящее время допускаютъ, что водяныя капельки могутъ быть настолько малы, что не дѣйствуютъ на свѣтовые лучи такъ, какъ это необходимо для образованія радуги (ср. I, § 387). Свѣтовые лучи могутъ такъ интерферировать другъ съ другомъ, что они будутъ выходить изъ капель не такъ, какъ это требуется для возникновенія радуги.

452. При смѣшеніи воздушныхъ массъ различной температуры, насыщенныхъ водянымъ паромъ, получается пересыщенная смѣсь. Количество водяного пара, содержащееся, напримѣръ, въ кубическомъ метрѣ воздуха при 0° и въ кубическомъ метрѣ воздуха при 20° будетъ $4.6 + 17.4 = 22$ г (ср. таблицу стр. 403) и оно не можетъ содержаться въ двухъ кубическихъ метрахъ воздуха съ температурой 10° , такъ какъ это количество воздуха можетъ содержать только $2 \times 9.2 = 18.4$ г водяного пара. Такимъ образомъ, при смѣшеніи должна произойти конденсація водяного пара. Такого рода смѣшеніе происходитъ въ природѣ часто, напримѣръ, когда воздухъ вокругъ плавающего айсберга смѣшивается съ морскимъ или когда теплый влажный воздухъ надъ болотистой страной послѣ жаркаго лѣтняго дня смѣшивается съ холоднымъ ночнымъ воздухомъ. Безъ сомнѣнія, подобнымъ же образомъ часто возникаетъ

ють и облака, когда приходятъ въ соприкосновеніе и смѣшиваются воздушныя массы различныхъ температуръ.

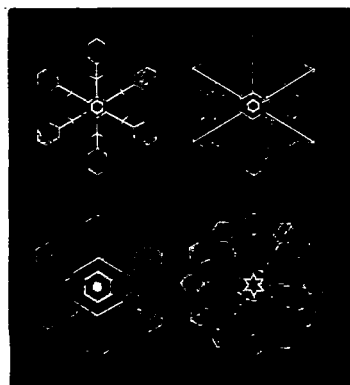
453. Однако, объяснить выпаденіе дождя исключительно этимъ способомъ образованія облаковъ едвали возможно. Даже еслибы смѣшеніе воздушныхъ массъ различной температуры было совершеннымъ, чего, конечно, въ большинствѣ случаевъ не бываетъ, и еслибы оно, кромѣ того, происходило на достаточной высотѣ, то выдѣленное количество воды могло бы составить только незначительную часть всего количества дождя, какое выпадаетъ, напримѣръ, во время грозы. Напротивъ, конденсація, которая происходитъ, когда вверхъ подымается въ извѣстной мѣрѣ насыщенное теченіе воздуха, вполне достаточна для объясненія количества выпавшаго дождя, тѣмъ болѣе, что при этомъ вверхъ подымаются постоянно новыя массы воздуха, отдающія при поднятіи свой водяной паръ въ формѣ капель дождя.

Рис. 378



Снѣжные кристаллы.

Рис. 379



Снѣжные кристаллы.

454. Если въ томъ мѣстѣ, гдѣ происходитъ конденсація, температура воздуха лежитъ ниже точки замерзанія, то образуются, конечно, не капли, а ледяныя кристаллики, которые при дальнѣйшей конденсаціи становятся больше и приобретаютъ развѣтвленные формы. Эти сложныя кристаллы вообще имѣютъ форму шестиугольной звѣзды. Разнообразіе ихъ формъ обусловливается вѣроятно различіемъ температуры, давленія, силы вѣтра и т. д.

Когда эти кристаллики сталкиваются, ихъ правильная форма нарушается и, попадая во время паденія въ болѣе теплыя слои воздуха, они собираются въ болѣе замѣтныя хлопья снѣга.

455. Такъ называемыя ложныя солнца и круги около солнца и около луны обусловливаются присутствіемъ въ верхнихъ слояхъ воздуха ледяныхъ кристалликовъ. Ихъ не слѣдуетъ смѣшивать съ интерференціонными кольцами, производимыми легкими облаками, сквозь которыя бываетъ видимо солнце или луна, и имѣющими поперечникъ отъ 2" до 6".

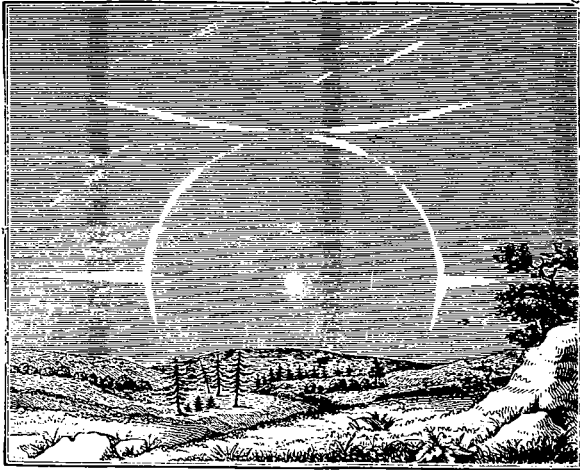
Большіе круги около солнца или луны имѣютъ въ поперечникѣ 22°. Другое кольцо, которое наблюдается рѣже, имѣетъ приблизительно вдвое болѣшій діаметръ. Первый уголъ есть тотъ уголъ, на который отклоняется свѣтовой лучъ, проходя сквозь ледяную призму такъ, что преломляющій уголъ равенъ 60°, а послѣдній—тотъ уголъ, на который отклоняется лучъ свѣта, когда преломляющій уголъ равенъ 90°. Если воздухъ наполненъ ледяными кристалликами, занимающими всевозможныя положенія, то тѣ изъ нихъ, которые находятся въ надлежащемъ положеніи относительно лучей

которое наблюдается рѣже, имѣетъ приблизительно вдвое болѣшій діаметръ. Первый уголъ есть тотъ уголъ, на который отклоняется свѣтовой лучъ, проходя сквозь ледяную призму такъ, что преломляющій уголъ равенъ 60°, а послѣдній—тотъ уголъ, на который отклоняется лучъ свѣта, когда преломляющій уголъ равенъ 90°. Если воздухъ наполненъ ледяными кристалликами, занимающими всевозможныя положенія, то тѣ изъ нихъ, которые находятся въ надлежащемъ положеніи относительно лучей

солнца и глаза, посылають глазу свѣтъ. Такъ какъ красныя лучи отклоняются меньше всѣхъ, то въ обоихъ упомянутыхъ кольцахъ внутренней край красный, а внѣшній фіолетовый.

Такъ какъ кристаллы снѣга имѣють различныя формы и при паденіи могутъ принимать опредѣленное положеніе, то иногда, кромѣ двухъ главныхъ колецъ, замѣчаются и другія кольцообразныя и прямолинейныя полосы свѣта, обусловленныя

Рис. 380



Круги около солнца.

отраженіемъ свѣта отъ граней ледяныхъ кристалликовъ. Тамъ, гдѣ пересѣкаются различныя свѣтлыя полосы, замѣчается и наибольшій блескъ. Въ этихъ мѣстахъ образуются такъ называемыя ложныя солнца, чаще всего именно тамъ, гдѣ внутреннее кольцо пересѣкается горизонтальной полосой.

Это явленіе не представляетъ рѣдкости, но часто его не замѣчаютъ, такъ какъ небо въ этомъ мѣстѣ сильно освѣщено и глазъ ослѣпленъ этимъ свѣтомъ. Для того чтобы видѣть его, нужно прикрыть рукою то мѣсто неба, гдѣ находится солнце. Это явленіе часто представляетъ первый признакъ приближенія грозы или вихря. Конденсація водяного пара, которая начинается въ верхнихъ слояхъ воздуха, распространяется и на нижніе, небо дѣлается все болѣе бѣлымъ, затѣмъ сѣрымъ и наконецъ начинается дождь.

Приложеніе

нѣмецкаго переводчика Г. Зиберта

Радіоактивностъ

Открытія Крукса, Ленарда и Рѣнтгена вызвали на свѣтъ массу изслѣдовацій, имѣвшихъ цѣлью прежде всего разъясненіе природы открытыхъ Рѣнтгеномъ X-лучей. Но затѣмъ они повели къ поразительнымъ открытіямъ, давшимъ намъ цѣлую новую область физики, область радіоактивности.

Въ 1896 году Анри Беккерель въ Парижѣ сдѣлалъ открытіе, что нѣкоторыя вещества обладаютъ свойствомъ испускать своеобразные лучи непрерывно и безъ всякаго внѣшняго вліянія. Беккерель изслѣдовалъ различныя флуоресцирующія вещества для провѣрки предположенія, что флуоресценція стекла въ Круксовой трубкѣ подъ вліяніемъ ударовъ катодныхъ лучей является причиной X-лучей. Для этой цѣли онъ заставлялъ дѣйствовать флуоресцирующія соединенія урана на фотографическую пластинку, обернутую въ непроницаемую для свѣта бумагу; чтобы получить флуоресценцію, онъ выставлялъ взятое соединеніе урана подъ дѣйствіе солнечнаго свѣта и ожидаемое дѣйствіе дѣйствительно получалось. Но при дальнѣйшихъ опытахъ сейчасъ же обнаружилось, что такой же эффектъ получается и въ темнотѣ, даже если пользоваться соединеніями урана, которыя приготовлялись и сохранялись въ темнотѣ. Оказалось далѣе, что такой же эффектъ можно получить и съ нефлуоресцирующими соединеніями урана. Такимъ образомъ, здѣсь проявлялось какое-то совершенно новое свойство урана, не имѣвшее ничего общаго съ флуоресценціей. Это свойство теперь обозначаютъ именемъ радіоактивности. Лучи, испускаемые соединеніями урана, оказываются во многомъ сходными съ X-лучами. Это открытіе, конечно, наводило на вопросъ, нѣтъ ли кромѣ урана еще и другихъ „радіоактивныхъ“ элементовъ. Подробное изслѣдованіе, которому госпожа Кюри ¹⁾ подвергла всѣ извѣстные элементы, привело къ заключенію, что между этими элементами еще только одинъ торій обладаетъ свойствомъ радіоактивности. Главныя свойства, которыми отличаются невидимые лучи, исходящіе изъ радіоактивныхъ элементовъ, состоятъ въ томъ, что они дѣйствуютъ на фотографическую пластинку и ионизуютъ воздухъ и другіе газы, сквозь которые они проходятъ, т. е. обращаютъ эти газы временно въ проводники электричества.

Что касается природы различнаго рода лучей, то обширныя изслѣдованія, въ подробности которыхъ здѣсь нѣтъ возможности входить, привели къ слѣдующимъ результатамъ. Катодные лучи производятся не колебаніями ээтра, какъ свѣтовые, а

¹⁾ S. Curie, Recherches sur les substances radio-actives, Paris 1903 (есть русскій переводъ).

вещественны по своей природѣ, т. е. производятся тѣмъ, что изъ катода выбрасываются частицы, которыя меньше наименьшихъ извѣстныхъ атомовъ и которыя можно назвать атомами отрицательнаго электричества (отрицательными іонами). Удалось также опредѣлить скорость и массу этихъ частицъ. Первая равна десятой части скорости свѣта, а послѣдняя въ семьсотъ разъ меньше массы атома водорода. X -лучи, какъ и свѣтъ, суть волны въ эфирѣ. Разница между ними состоитъ, въ томъ, что X -лучи имѣють характеръ толчковъ, тогда какъ обыкновенный свѣтовой лучъ состоитъ изъ правильно слѣдующихъ другъ за другомъ одинаковыхъ колебаній. Что же касается лучей, испускаемыхъ радиоактивными веществами, то они распадаются на три различныхъ рода, обозначаемыхъ названіями α , β и γ -лучей.

Лучи α обладаютъ способностью проникать въ тѣла въ небольшой степени. Ихъ задерживаетъ листокъ бумаги или слой воздуха отъ 2 до 3 см толщиною. Они отклоняются магнитомъ, но въ меньшей степени, чѣмъ β -лучи, и въ противоположную сторону сравнительно съ послѣдними и съ катодными лучами. Частицы, изъ которыхъ они состоятъ, имѣють массу, приблизительно равную массѣ водороднаго атома, и выбрасываются радиоактивными веществами съ громадною скоростью 30 000 км въ секунду. Лучи β принадлежатъ къ тому же типу, какъ и катодные, но обладаютъ меньшей скоростью и бѣльшей проникающей способностью, чѣмъ послѣдніе. Они отклоняются магнитомъ одинаково съ катодными лучами и, подобно X -лучамъ, проходятъ сквозь тонкій металлическій листикъ и сквозь стекло, но задерживаются металлической пластинкой, имѣющей толщину обыкновенной монеты. Изъ всѣхъ трехъ родовъ лучей они обладаютъ наибольшей фотографической силой. Лучи γ , наконецъ, обладаютъ проникающей способностью въ наибольшей степени. Они проходятъ сквозь столбикъ изъ 12 монетъ, не поглощаясь еще вполне. Магнитъ на нихъ не дѣйствуетъ и они находятся въ такомъ же отношеніи къ β -лучамъ, въ какомъ X -лучи находятся къ катоднымъ.

Между многочисленными изслѣдованіями въ области радиоактивности нужно особенно отмѣтить тѣ, которыя повели къ открытію радія и къ выясненію его химической природы. Г-жа Кюри замѣтила, что многіе минералы, содержащіе уранъ и торій, а особенно смоляная урановая руда, обладаютъ гораздо бѣльшей активностью, чѣмъ самъ уранъ и чистыя урановыя соединенія. Такъ, смоляная руда изъ Іоганнгеоргенштадта, содержащая около 70% урана, почти вчетверо активнѣе, нежели самое активное соединеніе урана. Эти наблюденія заставили предполагать, что радиоактивность вызывается неизвѣстнымъ еще элементомъ. Надо было выдѣлить этотъ элементъ. Для этой цѣли супруги Кюри подвергли смоляную руду основательному химическому анализу и имъ удалось получить чистый хлористый радій, который послужилъ для опредѣленія атомнаго вѣса и изученія спектра радія. Первое слѣлала г-жа Кюри, послѣднее Демарсэ. Для полученія хлористаго радія въ нужномъ при такихъ изслѣдоваціяхъ количествѣ пришлось переработать огромныя количества смоляной руды, такъ какъ изъ одной тонны этого матеріала получается только нѣсколько десятыхъ долей грамма хлористаго радія. Для атомнаго вѣса радія г-жа Кюри нашла величину 225. Такимъ образомъ послѣ торія (232) и урана (238) радій имѣетъ наибольшій атомный вѣсъ изъ всѣхъ извѣстныхъ элементовъ. По своимъ химическимъ свойствамъ и особенно по строешію своего спектра радій принадлежитъ къ группѣ земельно-щелочныхъ металловъ.

Обладая цѣлымъ рядомъ свойствъ, дающихъ ему, такъ сказать, особое мѣсто въ періодической системѣ элементовъ, радій имѣеть еще и другія свойства, дѣлающія его однимъ изъ самыхъ удивительныхъ веществъ, какія только извѣстны. Излученіе радія очень сильно, даже когда количество этого вещества составляетъ всего нѣсколько миллиграммовъ. Его α -лучи мгновенно разряжаютъ электроскопъ и возбуждаютъ сильное мерцаніе, когда падаютъ на экранъ сѣрнистаго цинка (спинтарископъ Крукса). Эти лучи являются главной причиной выдѣляемаго радіемъ тепла. Съ одной стороны они обладаютъ огромной кинетической энергіей, а съ другой, незначительной способностью прониканія, такъ что бѣльшая часть ихъ поглощается твердыми соединеніями радія, вслѣдствіе чего ихъ энергія превращается въ теплоту. Температура соединенія радія всегда превышаетъ на нѣсколько градусовъ температуру среды, а выдѣляемаго въ теченіе часа количества тепла хватило бы на то, чтобы нагрѣть такое же количество воды отъ точки замерзанія до точки кипѣнія. Лучи β пронизываютъ металлическія пластинки, имѣющія толщину визитной карточки, сильно дѣйствуютъ на фотографическую пластинку и заставляютъ флуоресцировать платиновосинеродистый барій. Они уносятъ отрицательный зарядъ, вслѣдствіе чего радій заряжается положительно. Было замѣчено, что запаянныя трубки, въ которыхъ сохранились соединенія радія, постепенно заряжались такъ сильно, что, наконецъ, разрывались и этотъ взрывъ сопровождался электрической искрой. Лучи γ дѣйствуютъ на фотографическую пластинку, проходитъ сквозь пластинки металла въ нѣсколько сантиметровъ толщиной и заставляютъ флуоресцировать экранъ съ платиновосинеродистымъ баріемъ. Наконецъ, нужно отмѣтить между свойствами радія и то, что онъ постоянно выдѣляетъ радиоактивный газъ, такъ называемую эманацию радія. Эта эманация принадлежитъ къ весьма распространеннымъ веществамъ.

Смоляная руда содержитъ кромѣ радія еще два другихъ радиоактивныхъ элемента, полоній и актиній, свойства которыхъ, впрочемъ, еще мало изслѣдованы.

Одинъ изъ самыхъ интересныхъ фактовъ, открытыхъ въ области радиоактивности, представляетъ соотношеніе между радіемъ и геліемъ. Присутствіе радія въ минералахъ, содержащихъ уранъ и торій, а также и то обстоятельство, что газообразная эманация торія и радія при извѣстныхъ обстоятельствахъ накапливается въ видѣ соединеній, а не уходитъ, привели Рётгерфорда и Содди къ предположенію, что между радіемъ и геліемъ существуетъ извѣстное соотношеніе. И, дѣйствительно, Рамзю и Содди (1903) удалось установить, что эманация радія превращается въ гелій.

Для теоретическаго объясненія явленій радиоактивности упомянутые изслѣдователи предложили теорію распада атомовъ. По этой теоріи элементы, обладающіе свойствами радиоактивности, находятся въ состояніи развитія, благодаря которому они постоянно обращаются въ болѣе легкія и болѣе устойчивыя формы, лучи же, испускаемые этими элементами, производятся тѣмъ, что извѣстная часть атомовъ первоначальнаго вещества постоянно распадается.

Желающій подробнѣе ознакомиться съ явленіями радиоактивности и особенно съ тѣмъ, какъ были получены упомянутые результаты, долженъ обратиться къ спеціальнымъ работамъ по этому предмету¹⁾.

¹⁾ См. *Ветзмъ*, Современное развитіе физики (Одесса, Матезисъ 1908) и особенно *Риги*, Современная теорія физическихъ явленій (Одесса, Матезисъ 1908).

Указатель II тома

Августъ, August 401.
Авиценна 302.
Авогадро, Amedeo Avogadro 317.
Альбертъ Магнусъ 303, 319.
Accademia del Cimento 12, 23, 29, 34, 35.
Аккумуляторъ 366.
Аль Хацини 7.
Амонтонъ, Guillaume Amontons 30.
Амперъ, André Marie Ampère 337, 339, 341.
Анаксагоръ 294.
Анаксимандръ 293.
Анаксименъ 293.
Андрусъ, Th. Andrews 299.
Анемометръ 404.
Анерондъ 398.
Антеміи 48.
Антинори, Antinori 13, 17.
Апианъ, Peter Apian 190.
Араго 338, 342, 351.
Аристотель 46, 165, 219, 295.
Аррениусъ, Svante Arrhenius 328.

Базилій Валентинъ 304.
Байанъ, Pierre Bayen 311.
Байлакъ 167.
Байсъ-Балло, Vuijs-Ballot 409.
Банка измѣрительная 254.
 лейденская 232, 236.
Банксъ, Joseph Banks 283.
Барометръ 397.
Батарея электрическая 238.
Бауръ, K. Baur 145.
Бевисъ, Bevis 233.
Веккариа, Giovanni Beccaria 246, Giacomo 264.
Беккерель, A. C. Becquerel 330.
Белль, Henry Bell 96, Graham 390.
Беннетъ, Abraham Bennet 253, 281.
Бернулли, Daniel Bernoulli 91, 97.
Берто, Berthelot 67.
Бертолле, Berthollet 321.
Вершеліусъ, Jakob Berzelius 322, 324.
Бехеръ, Johann Joachim Becher 309.

Био 132, 338.
Блакеттъ, Blackett 101.
Блэкъ, Joseph Black 39, 42, 43, 63
Бозе, Bose 229.
Бойль 17, 34, 35, 53, 68, 223, 307, 319.
Бонпланъ, Bonpland 207.
Борелли 12.
Борда, Borda 203.
Браге, Тихо 395.
Бранка, Giovanni Branca 49.
Бранли, Branly 388.
Бреге, Breguet 27.
Бриссо, Brissot 93.
Бугеръ 21, 128.
Бультонъ, Matthew Boulton 78.
Буоно, Candido e Paolo del Buono 13
Буравъ для добыванія огня 3.
Бэконъ Р. 303.
Бэконъ Ф. 108.

Вагнеръ, J. Ph. Wagner 343.
Валентность 318.
Вались 189, 307.
Вальшъ, John Walsh 271.
Варли, Cromwell Varley 389.
Ватсонъ, William Watson 233, 270.
Ваттъ, James Watt 66, 68 и сл., 89.
Веберъ, Wilhelm Eduard Weber 206, 208, 338; Ernst Heinrich 206.
Вивесъ, Ludovico Vives 220.
Вивіани, Vincenzo Viviani 11, 13.
Вивіанъ, Vivian 100.
Вилеръ, Wheeler 225.
Вильде, Wilde 356.
Вильке, Johann Karl Wilcke 42, 189, 239.
Вильсонъ, Benjamin Wilson 247.
Вимсгёрстъ, Wimshurst 266.
Винклеръ, J. H. Winckler 229, 238, 267.
Вптрувій 47.
Витстонъ 267, 383.
Влажность воздуха 400.
Вольтъ, Wall 223, 242, 267.
Вольтъ, Alessandro Volta 264, 279, 290, 360.

- Вольфъ X., Chr. Wolf 19, 62; P. 210.
 Врублевскій 300.
 Вьюэлль, W. Whewell 365.
 Въсь атомный 315; молекулярный 317.
 Въсы крутильные 180, 255.
- Гагеманнъ, Hagemann 404.
 Гадлей, George Hadley 408.
 Галень 302.
 Галилей 8, 18, 33.
 Галлей 62, 187, 408.
 Гальвани, Luigi Galvani 275 и сл., 282.
 Гальванопластика 329.
 Гальваностегія 329.
 Гамбергеръ, Georg E. Hamberger 62.
 Ганстенъ, Christoffer Hansteen 191.
 Гарай, Blasco de Garay 49.
 Гаррисонъ, John Harrison 26.
 Гартманъ, Georg Hartmann 171.
 Гассенди 108.
 Гассиотъ, Gassiot 332, 375.
 Гаузенъ, Christian August Hausen 229.
 Гауксби, Francis Hawksbee 223, 267.
 Гауссъ 205, 208.
 Геберъ, Geber 301.
 Гёдсонъ, Hudson 174.
 Гейсслеръ, Geissler 375.
 Геллибрандъ, Henry Gellibrand 187, 198.
 Гельмонтъ, Johann Baptist van Helmont 62'
 305.
 Генли, William Henley 232, 268.
 Гёнтеръ, Edmund Gunter 187.
 Гольтенъ, C. Holten 337.
 Гольцъ, Holtz 265.
 Гербертъ (Сильвестръ II), Gerbert 48.
 Герике 9, 221, 267.
 Гермесъ Трисмегистосъ 296.
 Геронъ 6, 33, 46, 108.
 Геру, Heroult 330.
 Гершель Ф. 124, 130.
 Герцъ, Heinrich Hertz 378.
 Гигрометръ 401.
 Гильбертъ, William Gilbert 173, 195, 213, 220.
 Гирнъ, G. A. Hirn 156.
 Гитторфъ, Wilhelm Hittorf 328, 375.
 Гиу-Чинъ 166.
 Гмелинъ, Gmelin 323.
 Говардъ, Luke Howard 418.
 Готро, Nicolas Gautherot 288.
 Готье, Gauthier 91.
 Градь 416.
 Гралатъ, Daniel Gralath 232, 238, 267, 270.
 Граммъ, Zénobe Gramme 359.
 Гринингеръ, Wilhelm Griesinger 145.
- Гровъ W. R., Grove 332.
 Грозы 243, 417.
 Громоотводъ 244, 248.
 Гротгустъ, Grotthuss 321, 327.
 Грэй, Stephan Gray 44, 224.
 Грэмъ, George Graham 189.
 Гукъ 28, 58, 397, 405.
 Гульсъ, Jonathan Hulls 90.
 Гумбольдтъ, Alexander v. Humboldt 206 и сл.
 Гьортеръ, Olaf Hjorter 190.
 Гьортъ, Sören Hjorth 358.
 Гэльсъ, Stephan Hales 310.
 Гэ-Люссакъ, Gay-Lussac 31, 317.
 Гюйгенсъ 18, 53, 397.
 Гюльхеръ, Gülcher 345.
- Давленіе пара 72, 83, 160
 Далансе, Dalencé 18.
 Далибаръ, D'Alibard 243.
 Дальтонъ, John Dalton 70, 149, 314, 316.
 Даниэля элементъ 331.
 Дезагюлье, Jean Desagulier 228.
 Делабоэ, Sylvius de la Boë 307.
 Деларивъ, De la Rive 371.
 Делоръ, Delor 243.
 Делюкъ 20, 29, 39,
 Демокритъ 294, 319.
 Дергемъ, Derhem 62.
 Дестилляція см. Перегонка.
 Джауль, James Prescott Joule 149 и сл., 155,
 368.
 Джойа, Flavio Gioja 169, 213.
 Динамомашинна 358.
 Дитрихъ, Dietrich 185.
 Диаграмма индикатора 88.
 Диаманитизмъ 343.
 Діэлектрики 263.
 Дождемѣръ 404.
 Доска Франклинова 235.
 Дреббель, Cornelius Drebbel 7.
 Дубликаторъ 281.
 Дьюоръ, Dewar 300.
 Дэви, Humphrey Davy 110, 111, 135, 143,
 322, 371.
 Дюбуа-Реймонъ, Emil Du Bois-Reymond
 271.
 Дюгамель, Duhamel 183.
 Дюлонгъ и Пти, Dulong et Petit 28.
 Дюма, Dumas 352.
 Дютеръ, Emile Duter 263.
 Дюфэ, Charles François de Cisternay Dufay
 227.
- Емкость 260.

Жамень, Jamin 299.

Жолли 147.

Законъ Ома 348; Байсъ-Балло 409.

Замерзание воды 34.

Звонокъ электрическій 343.

Зеебекъ 125, 127, 344.

Зёммерингъ, Sömmering 382.

Зенонъ 48.

Золотникъ 80.

Зосима 296.

Ивансъ, Oliver Evans 100.

Измѣреніе сопротивленій 347.

Изобары 407.

Изогоны 195.

Изодинами 204.

Изоклины 201.

Изотермы 407.

Ингенгусъ, Jan Ingenhuss 131.

Индикаторъ 87.

Индукторъ искровой 373; цилиндрическій 356.

Индукція вольтаическая 354; магнитная 353.

Искра электрическая 268.

Йёргенсенъ, Urban Jörgensen 27.

Йэтсъ, S. Yates 389.

Кабель телеграфный 387.

Кабото Дж. и Себ., Caboto 171.

Кавалло 252.

Калій 322.

Калориметръ 43.

Кальете, L. Cailletet 299.

Камень магнитный 165; философскій 302.

Кантонъ, John Canton 231, 239.

Карлейль, Anthony Carlisle 286, 320.]

Карно, Sadi Carnot 139, 153.

Карре, E. Carré 66.

Кассини Д. 14.

Кастелли, Castelli 8.

Катетометръ 44.

Катушка Румкорфа 373.

Каули, Sawley 58.

Кельвинъ, Lord Kelvin (William Thomson)
37, 213.

Кеплеъ 167.

Кинмайеръ, Franz von Kienmayer 231.

Киннерсли, Ebenezer Kinnersey 269.

Киннуиль, Earl of Kinnouil 116.

Кипълие 65.

Кирванъ, Richard Kirwan 183.

Кирхеръ 31.

Кислородъ 311.

Кламонъ, Ciamond 345.

Клапанъ предохранительный 54.

Клапейронъ, Clapeyron 141.

Кларкъ 356.

Клаузиусъ, Rudolf Clausius 155, 157, 160
328.

Клейстъ, E. G. v. Kleist 232.

Ко, Salomon de Caus 49, 62.

Когэрерь 388.

Колесо маховое 80.

Колумбъ 170.

Коллинсонъ, Peter Collinson 235.

Кольдингъ, Ludvig August Colding 147, 152.

Компасъ судовой 213.

Конденсаторъ 77, 280.

Кондукторъ 228.

Котель паровой (Папиновъ) 53; трубчатый 103.

Коффинъ, Coffin 409.

Кратценштейнъ 62, 270.

Круксъ, William Crookes 375.

Кукъ, Cook 383.

Кулень, Cullen 39, 66.

Кулонъ, Charles Augustin Coulomb 180, 255.

Кунэусъ, Cunaeus 232.

Куперь, Cooper 332.

Кэвендишъ 256, 260, 310.

Кюньо, Cugnot 99.

Лавуазье, Lavoisier 24, 312.

Ладдъ, Ladd 358.

Лакуръ, Paul la Cour 389.

Ламбертъ, Johann Heinrich Lambert 114, 128
131.

Ламонтъ, Johann Lamont 210.

Лампа безопасная 136; дуговая 371; накаливанія 369.

Ландряни, Landriani 287.

Лапласъ 24.

Левкиппъ 294.

Ледники 38.

Лекланше 332.

Лемери, N. Lemery 309.

Лемонье, Le Monnier 234.

Ленардъ, Ph. Lenard 378.

Ленцъ 355, 368.

Леруа, Charles le Roy 62.

Лесли, John Leslie 116, 128.

Либау, Andreas Libau (Libavius) 305.

Либри, Guglielmo Libri 17.

Ливингстонъ, Robert Livingstone 95.

Линіи силовыя 260, 339.

Литцендорфъ, Litzendorf 229.

Лодка весельная паровая 93.

Локателли, Locatelli 126.

- Локомотивъ 104.
 Лонгомонтанъ 396.
 Лорети, Heinrich Loreti 171.
 Лукрецій 165.
 Лучи катодные 376; Рѣнтгеновскіе 379.
 Лэнъ, Timothy Lane 254.
- Магалотти, Lorenzo Magalotti** 14, 52.
Магиусъ, Magius 404.
 Магнитизмъ 165; вращенія 352; земли 171, 173, 187, 195, 209; судовой 214.
 Магнитъ подковообразный 185.
Магнусъ, Olaus Magnus 171.
Магнюсъ, Magnus 135.
Майеръ P., Robert Mayer 143, 152; T., Tobias 191.
Майовъ, John Mayow 307.
Максвелль, James Clerk Maxwell 366, 378.
 Максимумъ и минимумъ-термометръ 22.
Мариоттъ 114.
Маркони, G. Marconi 388.
Марсили, Alessandro Marsili 13.
Матиасъ, Mathias 299.
 Манина водоподъемная 50, 56; высокаго давленія 60, 84; Грамма 359; для приговленія льда 67; магнитоэлектрическая 355; низкаго давленія 83; паровая 51, 56, 58, 78, 80; солнечная 98; электрическая 221, 229 и сл., 251; электрофорная 265.
Маятникъ рѣшетчатый 26; электрическій 227.
Медичи, Леопольдъ 11.
Меллони, Macedonio Melloni 118, 121, 130.
 Мельничка электрическая 242.
Микрофонъ 392.
 Минимумъ барометрическій 409, 417.
Молейнсъ, Moleyns 369.
Молоточекъ Вагнеровскій 343.
Монъ, Mohn 417.
Морзъ, Samuel Morse 384.
Моріани, Moriani 16.
Мостикъ Витстоновъ 347.
 Мультипликаторъ 338.
Мунке, Muncke 337.
Муссонъ, Mousson 37.
Муссонъ 408.
Мусхенбрукъ, Pieter Musschenbroek 232.
- Наклоненіе магнитной стрѣлки** 172, 201.
 Насосъ паровой 56, 58.
Натрій 323.
Наттереръ, Natterer 298.
Нѣррембергъ, Nörremberg 147.
Никольсонъ 286, 320.
- Нобили, Leopoldo Nobili** 122, 337.
 Нолле 229, 233, 252, 270.
Норманъ, Robert Norman 171, 187.
Ноэ, Ноэ 345.
Ньюкоменъ, Newkomen 58.
- Облака** 418.
 Объемъ пара 49.
Олива, Antonio Oliva 14.
Олимпіадоръ 296.
Ольневскій 300.
Омъ, Georg Simon Ohm 345.
Оррери, Lord Orrery 190
Оствальдъ, Wilhelm Ostwald 328.
Остроконечій дѣяствіе 241.
Осциляторъ 388.
Отопленіе водяное 33.
- Папенъ, Denis Papin** 53, 60, 63.
Парацельсъ, Paracelsus 304.
Пароходъ 90.
Паръ 45, 62, 63.
Пассаты 408.
Паульсенъ, Adam Poulsen 197.
Пачинотти, Luigi Pacinotti 358.
Перегонка 297, сухая 300.
Передвиженіе юновъ 327.
Переохлажденіе 37.
Печь электрическая 330.
Пикаръ 223.
Пикси, Pixii 355.
Пикте M., M. A. Pictet 114; P., Raoul 299.
Пиргеліометръ 128.
Плавленіе 34.
Планте, Gaston Planté 366.
Платонъ 165.
Пливій 166.
Повозка паровая 99, магнитная 167.
Поггендорффъ, J. C. Poggendorff 337.
Поглощеніе теплоты 119.
Подуники натирающія въ электрической машинѣ 229.
Порта 7, 35, 49, 113, 175.
Потенціалъ 258.
Поттеръ, Humphrey Potter 59.
Прево, Pierre Prevost 115.
Превращеніе металловъ 296.
Пристлей, Joseph Priestley 310.
Провенъ, Guyot de Provins 169.
Проводники дурные и хорошіе 226.
Процессъ круговой 139.
Пулье, Claude Pouillet 128, 327, 338.
- Развѣтвленіе тока** 350.

Разложение воды 287, 320.
 Разрядникъ 234, 268.
 Рамсденъ, Jesse Ramsden 231.
 Распределение магнитизма 185.
 Расширение 86; воды 29; воздуха 7, 31; жидкостей 25; линейное 25; руги 28; твердыхъ тѣлъ 23.
 Реди, Francesco Redi 14.
 Рей, Jean Rey 11.
 Реймарусъ, Johann Reimarus 246.
 Рейсъ, Philipp Reis 389.
 Рёмзи, Rumsey 93.
 Ренальдини, Carlo Renaldini 13, 18.
 Рентгенъ, W. K. Röntgen 379.
 Реньо 45, 73.
 Реомюръ, René de Réaumur 19.
 Рётгерфордъ, Daniel Rutherford 22.
 Риги, Righi 388.
 Риттеръ, J. W. Ritter 287.
 Риссъ, P. Riess 269.
 Рихмачнъ 131, 244.
 Ричи, William Ritchie 119.
 Робёкъ, Roebuck 78.
 Розе, G. Rose 207.
 Россъ, John Ross 197.
 Royal Society 308.
 Румкорфъ, Ruhmkorff 373.
 Румфордъ 29, 108, 116, 153.
 Рунгъ, Rung 404.
 Саваръ, Savart 338.
 Саймингтонъ, William Symington 92, 94.
 Санкториусъ 8.
 Сегенъ, Marc Séguin 103.
 Сжижение газовъ 298.
 Сиксъ, Six 23.
 Сила задерживательная 183; электродвижущая 286, 291.
 Симмеръ, Robert Symmer 179, 240.
 Сименсъ, Werner von Siemens 347, 357.
 Спнезий 296.
 Склонение магнитной стрѣлки 170 и сл., 195.
 Смерчь 416.
 Смѣси охладительныя 35.
 Снѣгъ 420.
 Соленоидъ 341.
 Солнца ложныя 420.
 Сомерсетъ, Edward Somerset, Marquis of Worcester 50.
 Соссюръ, H. V. Saussure 401.
 Спектръ тепловой 124.
 Спенсеръ 329.
 Стаканный приборъ 284.
 Стангопъ, Lord Stanhope 246.

Станокъ Амперовъ 341.
 Старръ, Stag 369.
 Стенсенъ, Nils Stensen 14.
 Стёрджонъ, W. Sturgeon 332, 342.
 Стефанъ, Joseph Stefan 135.
 Стефенсонъ Дж., George Stephenson 101 и сл., 136; Роб. 107.
 Столбикъ термоэлектрический 122; Ноз 345.
 Столбъ Вольтовъ 283; зарядный 288.
 Стрёмеръ, Martin Strömers 21.
 Стрѣлка направляющая 166.
 Сэверн, Thomas Savery 56.
 Тангенсъ-гальванометръ 338.
 Телеграфія 381 и сл.
 Телеграфъ пишущій 385; со стрѣлкой 383 сь циферблатомъ 384.
 Телефонъ 389.
 Температура критическая 299.
 Теорія атомная 314; механическая теплоты 144, 157.
 Теофрастъ 219.
 Теплоёмкость 42.
 Теплопроводность 130; газовъ 135; жидкостей 133; металловъ 133.
 Теплота лучистая 113; плавленія 40; скрытая 41; пара 64.
 Термометръ 7, 16, 399; воздушный 8, 21; дифференциальный 117; металлическій 27; электрический 269.
 Термомультипликаторъ 122.
 Термоскопъ 30.
 Термоэлектричество 344.
 Тилорье, Thilorier 298.
 Тиндаллъ 39, 127.
 Томасъ Аквинскій 303.
 Томпсонъ, Tompion 189.
 Томпсонъ В., см. Румфордъ.
 Томсонъ В., см. Кельвинъ.
 Томсонъ Дж., James Thomson 37.
 Точка плавленія и давленія 37.
 Траллесь, J. G. Tralles 29.
 Тревиттикъ, Trevithick 100.
 Трубки Гейссера 375.
 Трубка паровая 49.
 Ударъ возвратный 246.
 Фарадэй 110, 112, 257, 260, 261, 298, 325, 343, 351, 364, 374.
 Фаренгейтъ 19, 36, 42.
 Феддерсенъ, V. W. Feddersen 268.
 Фердинандъ II. 11, 31.
 Фине, Finée 171.

Фичъ, John Fitch 93.
 Флемлѣзе, Peder Jakobsen Flemlöse 395.
 Флогистонъ 309.
 Фонотелеграфъ 389.
 Форстеръ, Samuel Forster 308.
 Форхгаммеръ, Forchhammer 363.
 Форъ, Camille Faure 367.
 Франклинъ, Benjamin Franklin 131, 234, 238,
 241 и сл., 250, 269.
 Френель 130.
 Фуко 371.
 Фультонъ, Robert Fulton 93.
 Фуркруа, Fourcroy 321.
 Фьордъ, Fjord 137.

Жолодъ при испареніи 66.
 Христансенъ, C. Christiansen 133.
 Хронометръ 28.

Цельзіи, Anders Celsius 20, 190.
 Циглеръ, J. H. Ziegler 70.

Чезаріано, Cesare Cesariano 47.

Шаппъ, Claude Chappe 381.
 Швейггеръ, J. S. C. Schweigger 337.
 Шееле, Karl Wilhelm Scheele 113, 312.
 Шеллингъ, Schelling 333, 363.
 Шёнбейнъ, Schönbein 269.
 Шиллингъ-Каннштаттъ 383.
 Шоттъ, Kaspar Schott 9.
 Шталь, Georg Ernst Stahl 309.
 Штейнгейль 383, 387.

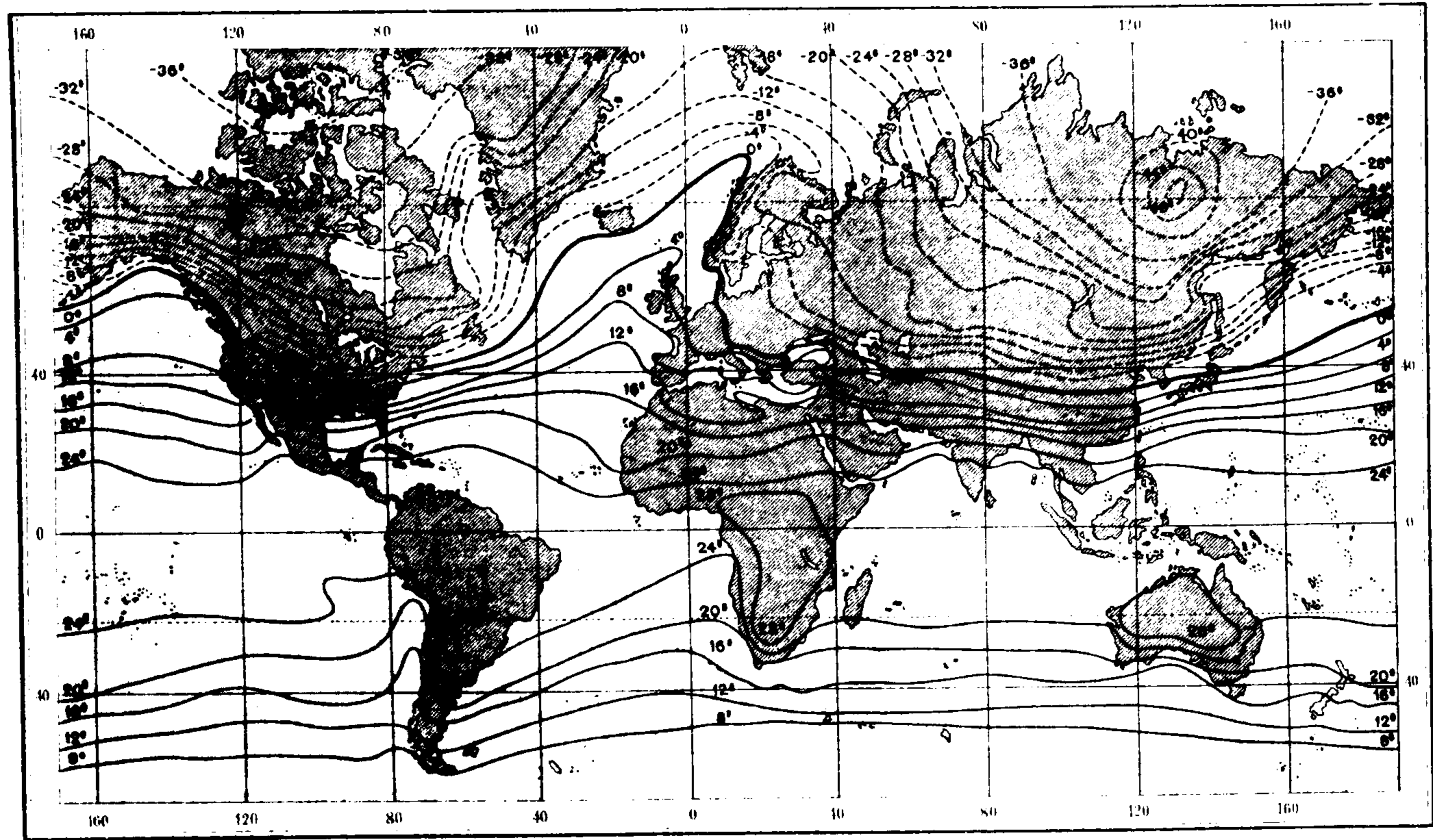
Эдисонъ 369.
 Эйлеръ 190.
 Эквивалентъ механической теплоты 147.
 Эксцентрикъ 81.
 Электризація чрезъ вліише 240, 262.
 Электричество животное 271.
 Электродинамика 340.
 Электролизъ 325.
 Электромагнитизмъ 333, 365.
 Электрометръ квадрантный 232.
 Электроскопъ 252; съ золотыми листочками
 253.
 Электрофоръ 264.
 Элементъ Бунзена 332; Грова 332; Лекланше
 332.
 Элементы гальваническіе 331 и сл.; химическіе
 295, 308, 315.
 Эленшлегеръ, Oehlenschläger 363.
 Элликотъ, John Ellicott 252.
 Эндриель, Andriel 96.
 Эолипиль 47.
 Эпинусъ, Franz Aepinus 179, 225, 239.
 Эренберзь, Ehrenberg 207.
 Эриксонъ, Wallerius Ericson 63.
 Эрикссонъ, John Ericsson 97, 105.
 Эрстедъ, Hans Christian Oersted 191, 333,
 342, 362.

Юзь, Hughes 386, 392.

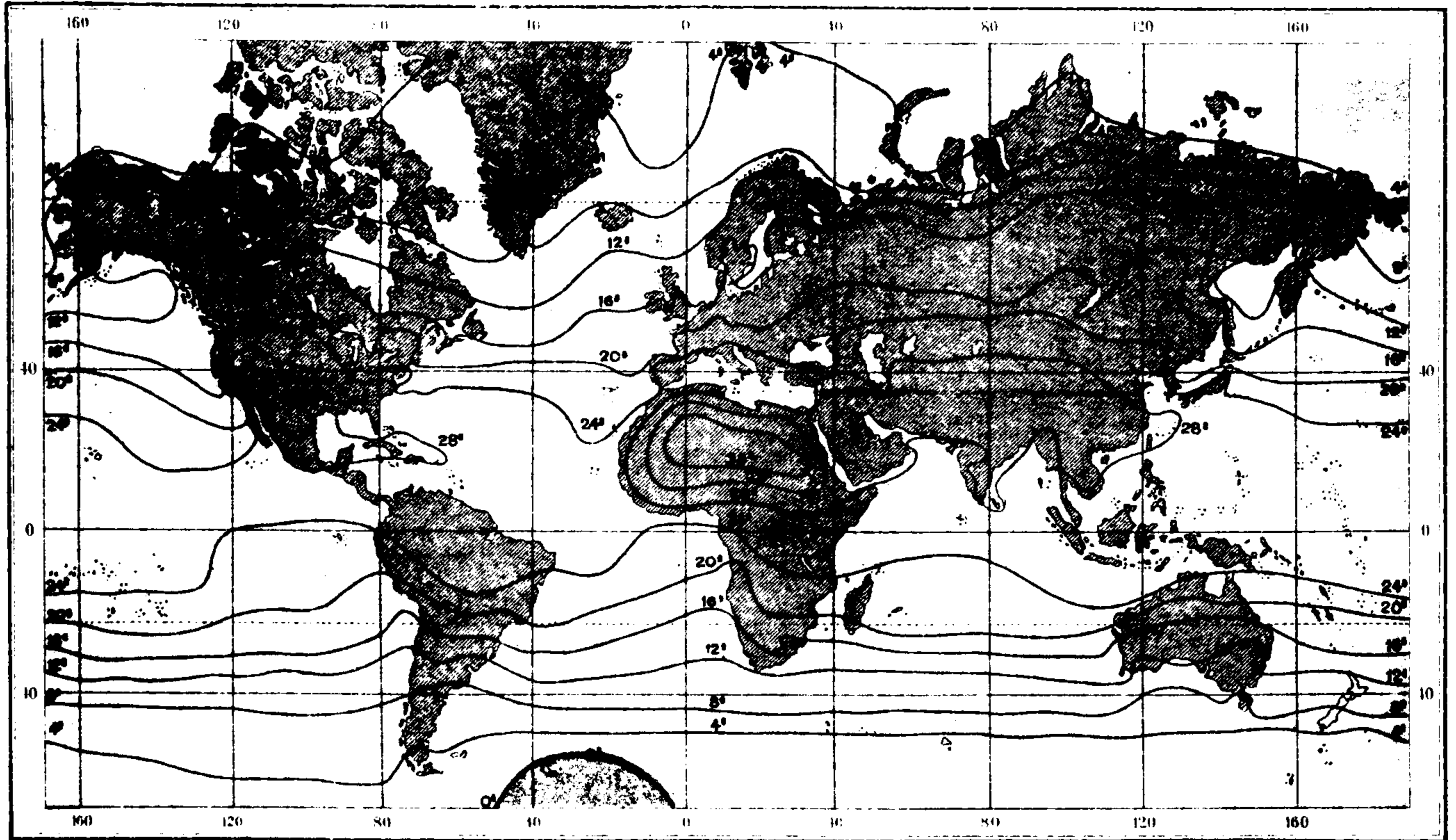
Якоби 329, 347.

Ѳалесь 165, 293.

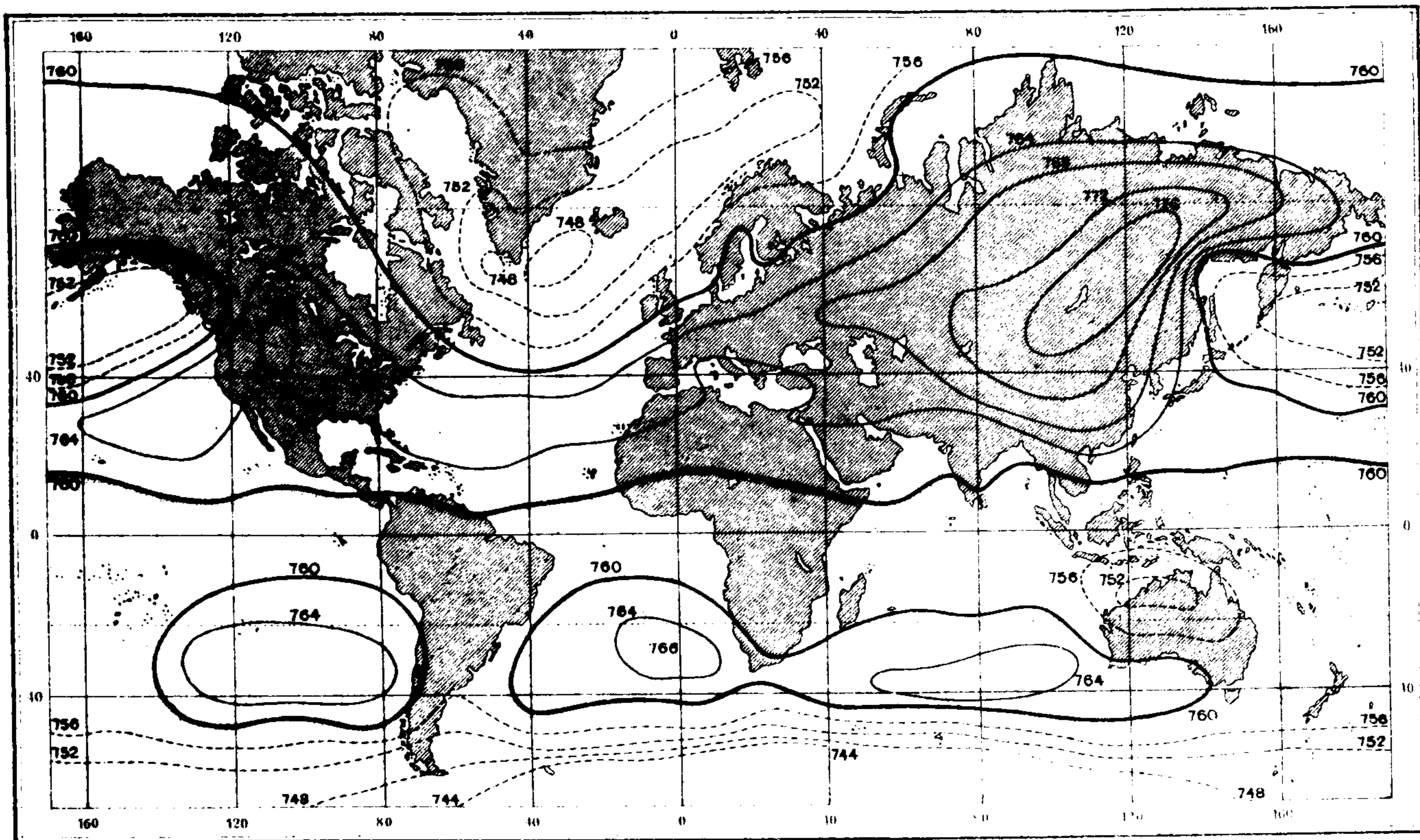
Изотермы Января



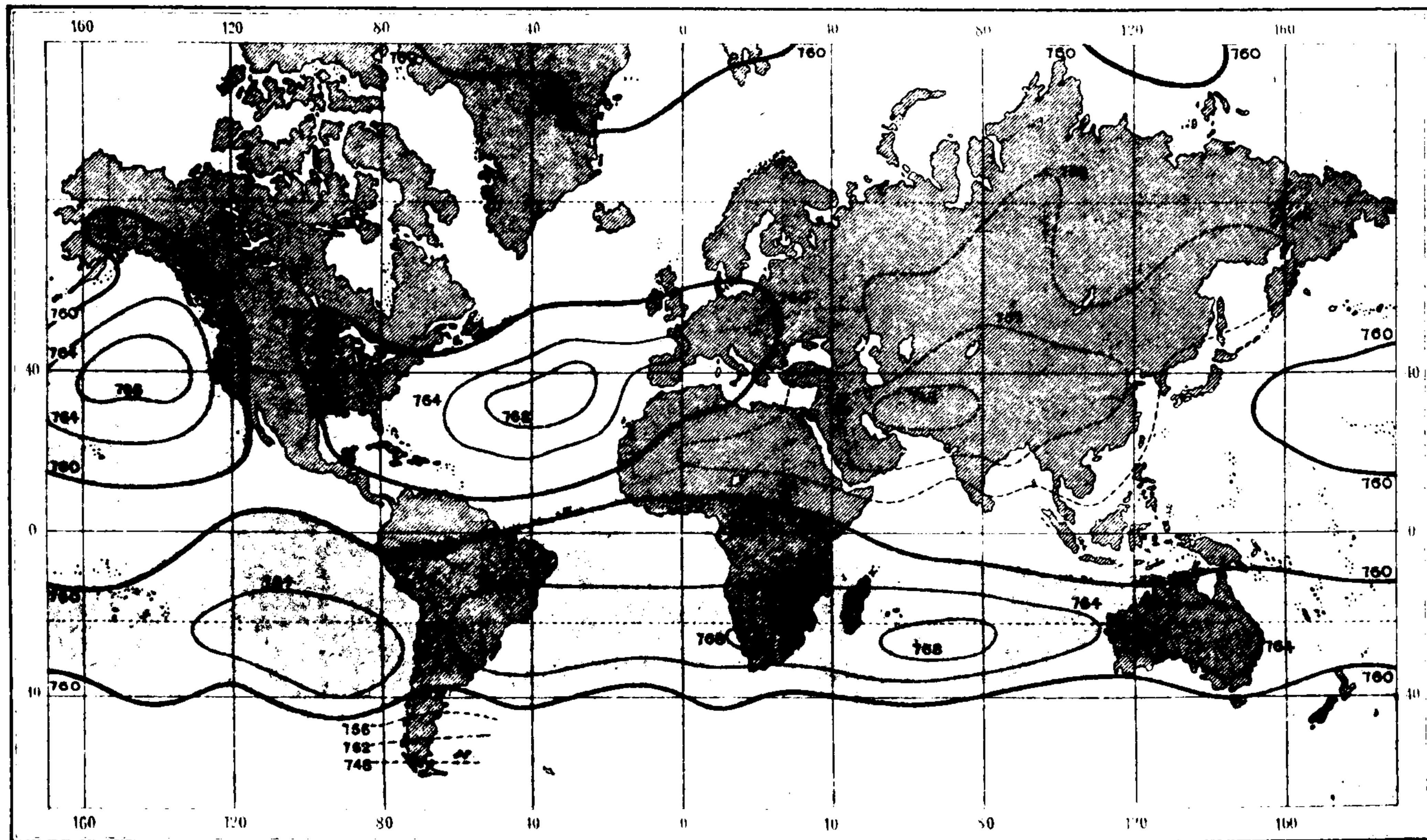
Изотермы Июля



Изобары Января



Изобары июля



ОПЕЧАТКИ

И Т О М Ъ.

<i>стран.</i>	<i>строк.</i>	<i>напечатано:</i>	<i>должно быть:</i>
11	14 сн.	не болѣе	менѣе
11	7 "	Линія	Линію
26	12 св.	его	перваго
28	16 сн.	Гиппархъ	Гиппархъ
40	17 св.	ближе	какъ будто ближе
53	5 "	З и З	З и З'
64	7 сн.	75	73
83	3 св.	Брюстеромъ	Брустеромъ
90	1 "	076	1:076
90	2 "	088	1:089
105	4 сн.	Брюстеромъ	Брустеромъ
137	17 св.	воздухъ не могъ проникнуть	струя воздуха не проникала
138	6 "	130	103
174	12 сн.	157	151
199	4 св.	оставить	оставивъ
224	23 сн.	захватила въ	захватила
232	14 "	Денисъ Папинъ	Дени Папенъ
234	19 "	203	243
243	8 "	затопившихъ	затонувшихъ
243	3 "	Почему бы	Почему
250	5 св.	204	104
263	21 сн.	278	279
264	9 "	282	283
269	7 "	Брюстеръ	Брустеръ
269	1 "	Эвклида	Евклида
270	15 св.	Брюстеръ	Брустеръ
271	11 сн.	225	255
280	19 "	147	176
289	21 св.	225	227
296	15 "	241	243
300	23 сн.	книзу	назадъ
301	13 св.	18	18 $\frac{1}{4}$
304	19 сн.	Брюстеръ	Брустеръ
317	3 св.	83	82
332	9 "	оно	тѣло
333	19 "	воздуха	изъ этого вещества
348	11 сн.	335	336
351	8 "	самое низшее	наиболѣе низкое

<i>страни.</i>	<i>строк.</i>	<i>напечатано:</i>	<i>должно быть:</i>
354	20 сн.	языка	язычка
357	1 св.	й	й (у)
380	8 "	красные	и красные
386	11 сн.	168	169
393	6 "	<i>sabcd</i>	<i>sabcd</i>
409	3 св.	382	383
І І Т О М Ъ.			
31	22 сн.	(¹ / ₇₇₃)	(¹ / ₇₇₃ Законъ Гэ - Лю - са ка, ср. § 342)
72	12 св.	10° С	100°С
90	20 "	Весминстерскомъ	Вестминстерскомъ
118	20 "	134	135
119	2 сн.	130	131
121	5 св.	130	132
124	7 "	1880	1800
130	4 "	137	138
142	5 сн.	174	176
143	6 св.	156	157
159	23 "	имѣть	испытывать
159	15 сн.	силы сѣпленія твердаго даго тѣла	силъ сѣпленія въ твердомъ тѣлѣ
167	11 св.	216	217
170	9 "	190	191
183	14 сн.	188	186
190	9 "	226	227
198	2 "	225	226
207	5 "	бахомъ	бергомъ
209	10 "	216	221
245	23 "	298	300
332	4 св.	Стурджономъ	Стёрджономъ.



ВЫШЛИ ВЪ СВѢТЪ СЛѢДУЮЩІЯ ИЗДАНИЯ:

N. Weber u J. Wellstein

ПРОФ. УНИВ. ВЪ СТРАСБУРГѢ. ПРОФ. УНИВЕР. ВЪ ГИССЕНѢ.

ЭНЦИКЛОПЕДІЯ

ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ.

Руководство для преподающихъ и изучающихъ элементарную математику.

Томъ I. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ АЛГЕБРА и АНАЛИЗЪ

обработ. проф. Веберомъ.

Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціей и съ примѣчаніями
приватъ-доцента В. Ф. КАГАНА.

Учен. Ком. М. Н. Пр. признана заслуживающей вниманія при пополненіи учебн. запаса, возр. библ. средн. учебн. заведеній, а также рекомендована для выдача въ награду ученикамъ, интересующимся математикой.

СОДЕРЖАНІЕ: Книга I. Основанія арифметики. Гл. I. Натуральные числа. Гл. II. Арифметическія дѣйствія. Гл. III. Дѣленіе и введеніе дробей. Гл. IV. Иррациональные числа. Гл. V. Отношенія. Гл. VI. Степени и логарисмы. Гл. VII. Уравненія первой степени. Гл. VIII. Квадратныя уравненія и мнимыя числа. Гл. IX. Перестановки и сочетанія. Гл. X. Различныя приложенія.

Книга II. Алгебра. Гл. XI. Алгебраическія уравненія. Гл. XII. Основныя теоремы алгебры. Гл. XIII. Неопредѣленныя уравненія первой степени. Гл. XIV. Неопредѣленныя уравненія второй степени. Гл. XV. Непрерывныя дроби. Гл. XVI. Алгебраическое рѣшеніе уравненій третьей и четвертой степени. Гл. XVII. Приближенное вычисленіе корней численныхъ уравненій. Гл. XVIII. Дѣленіе окружности на равныя части. Гл. XIX. Доказательства невозможности. Гл. XX. Изъ исторіи алгебры.

Книга III. Анализъ. Гл. XXI. Безконечныя ряды. Гл. XXII. Безконечныя ряды съ положительными и отрицательными членами. Гл. XXIII. Безконечныя сходящіеся ряды для показательной и тригонометрическихъ функцій. Гл. XXIV. Биноміальный рядъ. Гл. XXV. Логарисмическіе ряды. Гл. XXVI. Безконечныя произведенія. Гл. XXVII. Трансцендентность чиселъ e и π . Гл. XXVIII. Функцій, дифференціалы и интегралы.—Дополненія. 650 стр. Цѣна 3 р. 50 к.

Изъ озывовъ. „По поводу лежащаго предъ нами труда можно цитировать слова г. редактора русскаго изданія: „Книга содержитъ, на нашъ взглядъ, мастерское изложеніе элементовъ арифметики, алгебры и анализа“. Присоединяясь вполне къ этому озыву, мы прибавимъ, что въ настоящее время болѣе, чѣмъ когда либо, чувствуется недостатокъ въ трудѣ подобнаго рода, и выходъ въ свѣтъ „энциклопедіи“ несомнѣнно будетъ одобренъ всеми, занимающимися вопросами математики. Книга издана прекрасно, какъ вообще всѣ изданія книгоиздательства „Mathesis“.

Русская Мысль, декабрь 1907 г.

А. Лѣтнякъ.

„... Настоящимъ своимъ сочиненіемъ авторъ [Weber] показать, что онъ не только глубокой мыслитель, но и блестящій педагогъ и популяризаторъ. Во всемъ сочиненіи красной нитью проходитъ спокойная увѣренность и стройность изложенія... вы все время видите предъ собой мастера своего дѣла, который съ любовью показываетъ великія творенія человѣческой мысли, известныя ему до тончайшихъ подробностей, гдѣ каждая мелочь въ его глазахъ гармонично связана съ цѣлымъ.

Выдающіяся достоинства этой книги, широко развинувшей обычныя рамки элементарной математики, безъ сомнѣнія, обезпечатъ ей полный успѣхъ въ Россіи, какъ и за границей; и въ интересахъ правильнаго развитія подростовающаго поколѣнія математиковъ слѣдуетъ пожелать, чтобы „Энциклопедія элементарной математики“ Вебера получила возможно болѣе широкое распространеніе“.

Педагогическій Сборникъ, мартъ 1908 г.

Прив.-доц. С. Бернштейнъ.

Непрерывность и иррациональные числа.

Переводъ Приватъ-доцента С. Шатуновскаго. Съ присоединениемъ его статьи:

Доказательство существованія трансцендентныхъ чиселъ.

40 стр. Цѣна 40 коп.

Учен. Ком. М. Н. Пр. признала заслужив. вниманія при пополн. библи. средн. учебн. завед.

СОДЕРЖАНІЕ: Отъ переводчика—*Непрерывность и иррациональные числа*. Предисловіе автора—Свойства рациональных чиселъ—Сравненіе рациональныхъ чиселъ съ точками прямой—Непрерывность прямой линіи—Созиданіе иррациональныхъ чиселъ—Непрерывность области вещественныхъ чиселъ—Вычисленія съ вещественными числами—Анализъ безконечныхъ—*Доказательство существованія трансцендентныхъ чиселъ*. Предварительныя замѣчанія—Опредѣленіе трансцендентнаго числа—Понятіе объ ичислимомъ комплексѣ—Комплексъ веществен. алгебраич. чиселъ.

Изъ отзыва. „...Занимающая насъ брошюра Дедекинда принадлежитъ къ числу классическихъ работъ глубокомысленнаго германскаго геометра. Проникнутыя современными взглядами на иррациональные числа, не обративши къ такимъ первоисточникамъ, какъ изданный въ переводѣ г. Шатуновскаго трудъ Дедекинда, едва-ли возможно. Въ этомъ смыслѣ не представляется никакой надобности въ какой-либо рецензій на этотъ небольшой по объему, но такъ сказать, законодательный по содержанию трудъ Дедекинда.

Въ занимающемъ насъ русскомъ переводѣ, превосходно и съ величайшей любовью къ дѣлу исполненномъ г. Шатуновскимъ, заслуживаютъ вниманія и предисловіе переводчика, и составленное имъ, по Георгу Кантору, приложение, содержащее въ себѣ теорему о существованіи трансцендентныхъ чиселъ, и даже примѣчанія переводчика, хотя и краткія, но чрезвычайно полезныя для читателя, впервые читающаго Дедекинда. Приложение доказательства, по Георгу Кантору, теоремы о существованіи чиселъ трансцендентныхъ тѣмъ особенно цѣнно, что на ясныхъ примѣрахъ иллюстрируетъ взгляды этого геометра на природу чиселъ вообще и въ формѣ, доступной даже для лицъ, необладающихъ большимъ досугомъ и значительными математическимъ образованіемъ, популяризуетъ введенныя этимъ геометромъ въ обиходъ математическаго изслѣдованія понятія объ ичислимомъ комплексѣ, о комплексѣ ичислимомъ, о „мощности“ комплекса и т. п.

Желаемъ интересующему насъ переводу работы Дедекинда объ иррациональномъ числѣ возможно больш. успѣха“. С. Шохоръ-Троцкій. *Рус. Шк.*, окт. 1907.

В. НАГАНЪ, прив-доп.

Задача обоенанія геометріи

ВЪ СОВРЕМЕННОЙ ПОСТАНОВКѢ.

Рѣчь, произнесенная при защитѣ диссертациі на степень магистра чистой математики.

35 страницъ. Съ 11 рисунками. Цѣна 35 коп.

Проф. В. ЦИММЕРМАНЪ

ОБЪЕМЪ ШАРА, ШАРОВОГО СЕГМЕНТА И ШАРОВОГО СЛОЯ

34 страницъ. Съ 6 рисунками. Цѣна 25 коп.

Отъ автора. „Желая найти простое доказательство предложеній объ объемѣ шара, шароваго сегмента и шароваго слоя, я пришелъ къ одной теоремѣ, изъ которой могутъ быть выведены весьма несложныхъ выкладокъ извѣстныя выраженія для объема шара, сегмента и слоя. Возможно, что эта теорема, или теорема аналогичная, была уже кѣмъ-либо доказана и опубликована. Но такъ какъ указанія, которые подтверждали бы такое предположеніе, я не встрѣчалъ, найденная же мною теорема не лишена, какъ мнѣ кажется, извѣстнаго интереса, то я и рѣшилъ опубликовать ее... съ болѣе или менѣе полнымъ доказательствомъ и съ выводомъ изъ нея предположеній объ объемѣ шара, сегмента и слоя.“

НОВОЕ СОЧИНЕНИЕ АРХИМЕДА.

Посланіе Архимеда къ Эратосмену о вѣкоторыхъ теоремахъ механики.

Пер. съ нѣмецкаго подъ редакціей „Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики“. Съ предислов. приватъ-доцента И. Ю. Тимченко.

XVI+32 стр. Цѣна 40 коп.

Изъ предисловія прив.-доц. Тимченко. „Архимедъ—величайшій математикъ древности, одинъ изъ величайшихъ гениевъ всѣхъ временъ. Древніе передавали чудесные рассказы о его открытіяхъ и изобрѣтеніяхъ, и слава его пережила многіе вѣка и, нисколько не померкнувъ, дошла до нашего времени...“

Сочиненіе, вновь открытое Гейбергомъ въ палимпсестѣ на Константиновскомъ подворьѣ монастыря Св. Гроба Господня въ Герусалимѣ, носитъ заглавіе, которое по русски могло бы быть переведено такъ: книга Архимеда, содержащая изложеніе метода, связаннаго съ механическими теоремами... Эфодикъ, какъ я буду называть новое сочиненіе Архимеда, близко подходит по содержанію своему, съ одной стороны, къ книгамъ о равновѣсіи плоскихъ фигуръ и о квадратурахъ параболъ, съ другой—къ книгамъ о шарѣ и цилиндрѣ и въ особенности оконцоидлахъ и сфероидлахъ...“

Имѣется на складѣ:

НОВАЯ ГЕОМЕТРІЯ ТРЕУГОЛЬНИКА

Составилъ кандидатъ физико-математическихъ наукъ,
преподаватель школы при Иваново-Вознесенскомъ реальномъ училищѣ Д. Ефремовъ.

334+XIII страницъ Цѣна 2 руб.

СОДЕРЖАНІЕ: О трансверсалахъ и прямыхъ Чевы—О рядахъ и пучкахъ—О полнѣрахъ и радикальныхъ осяхъ—Объ обратныхъ фигурахъ—Антипараллельныя, изогональныя и птоломическія прямыя треугольника—Медианы и симедианы треугольника—О подобныхъ фигурахъ—О иодарныхъ треугольникахъ—Метаполисы и вѣлоторыя замѣчательныя окружности треугольника—Гармоническіе четырехугольники и многоугольники—Алфавитный указатель.

Г. АБРАГАМЪ.

преподаватель высшей нормальной школы въ Парижѣ.

СБОРНИКЪ

ЭЛЕМЕНТАРНЫХЪ ОПЫТОВЪ ПО ФИЗИКЪ

Составленный по порученію Французскаго Физическаго Общества при участіи многихъ профессоровъ и преподавателей физики.

Переводъ съ французскаго подъ редакціей приватъ-доцента Б. П. Вейнберга.

Часть I. Работы въ мастерской—Различныя рецепты—Геометрія. Механика—Гидростатика. Гидродинамика. Капиллярность—Теплота—Числовыя таблицы.

Стр. XVI+272. Свыше 300 рисунк. Изд. 2-е Цѣна 1 р. 50 к.

Допущено Уч. Ком. М. Н. Пр. съ учен. библ. средн. уч. зав., учит. семин. и городск., по положенію 31 мая 1872 г., училищъ, а равно и съ безплатн. народн. читальни и библіотеки.

Часть II. Акустика—Оптика—Электричество и магнетизмъ—Числовыя таблицы—Алфавитный указатель.

Стр. 434+LXXV. Свыше 400 рисунковъ. Цѣна 2 р. 75 к.

Изъ отзывовъ о I части: „... кромѣ того составитель пользовался 64-мя сочиненіями, такъ что разсматриваемый сборникъ имѣетъ, кромѣ составителя, какъ бы 218 сотрудниковъ, на которыхъ и даны указанія въ соответственныхъ мѣстахъ текста... Нѣтъ сомнѣнія, что содержаніе книги вполне соответствуетъ ея назначенію и что она можетъ принести большую пользу тому дѣлу, которому она назначена служить. Русскій переводъ, просмотрѣнный весьма опытнымъ въ этомъ дѣлѣ ре-

актором, никаких замѣчаній не вызываетъ". Проф. О. Хвольсонъ.

Ж. М. Н. Пр. апр. 1905 г.

"Переводъ сдѣланъ очень тщательно, рисунки выполнены превосходно, вообще книга можетъ служить прекраснымъ руководствомъ въ физической лабораторіи".

Русская Мысль, апрѣль 1905 г.

Изъ отзывовъ о II части: „Предъ нами теперь 2-ая часть этого труда, заключающая въ себѣ опыты по наиболѣе интереснымъ отдѣламъ физики: звуку, свѣту, электричеству и магнетизму. Мы не можемъ не указать на богатый подборъ материала по этимъ важнымъ отдѣламъ физики; не говоря о томъ, что всѣ наиболѣе извѣстныя работы находятъ себѣ мѣсто на страницахъ этой чрезвычайно полезной книги, но мы встречаемъ здѣсь цѣлый рядъ опытовъ, до сихъ поръ не введенныхъ въ кругъ занятій опытной физикой, которые несомнѣнно представляютъ, каждый, выдающийся интересъ. Къ числу такихъ опытовъ принадлежитъ: синхронизація и резонансъ медленныхъ колебаній (акустика), изученіе фотографическаго объектива и чувствительность фотографическихъ пластинокъ (оптика), электрическая конвекція въ газахъ, переменныя токи (электричество) и т. д. Мы вдѣмся, что разбираемый трудъ станетъ настольной книгой каждой физической лабораторіи въ Россіи“.

Русская Мысль, августъ 1906 г.

"Сочувственные отзывы о „Сборникѣ“ Абрагама уже появились въ нѣмецкой литературѣ, которая признаетъ появленіе его выдающимся событіемъ, объединившимъ физиковъ почти всей Европы“. А. Н. Образованіе, февраль 1906 г.

УСПѢХИ ФИЗИКИ.

Сборникъ статей о важнѣйшихъ открытіяхъ послѣднихъ лѣтъ въ общедоступномъ изложеніи. подъ редакціей „Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики“.

СОДЕРЖАНІЕ: Проф. Вигнеръ, Расширеніе нашихъ чувствъ—Проф. Пильчикова, Радіи и его лучи—Проф. Дебьернъ, Радіи и радиоактивность—Проф. Рихардъ, Электрическія волны—Проф. Слаби, Телеграфированіе безъ проводовъ—Проф. Шмидтъ, Задача объ элементарномъ веществѣ (основаніи теоріи электроновъ).

ПГ+148 стр. съ 41 рис. и 2 табл. Изданіе 2-е. Цѣна 75 коп.

Допущено Уч. Ком. М. П. П. въ учен. старш. возр. библиотекъ средн. учебн. заведеній, а равно и въ белг. народн. библиотекы и читальни.

"Книга начинается рѣчью проф. Вигнера, дающей ясное представленіе о тѣхъ успѣхахъ, которыхъ достигли за послѣднее время самые методы физическаго изслѣдованія. Книга раздѣляется на 6 статей... Всѣ эти вышеприведенныя имена (авторы статей) достаточно отвѣчаютъ за научность и достоинство лежащаго предъ нами сборника“.

Русская мысль, апрѣль 1906 г.

"Выборъ статей въ этомъ сборникѣ главнымъ образомъ палъ на радіи и электрическія волны,—что безъ сомнѣній, соответствуетъ общему интересу. Хотя въ нашей научно-популярной литературѣ появилось немало статей и брошюръ на эти темы, но компетентное редактированіе переводныхъ статей и удачный выборъ авторовъ дѣлаютъ рассматриваемую книгу полезной и интересной“...

„Физикъ-Любитъ. янв. 1905 г.

"Изячно изданный и недорогой сборникъ прочтется каждымъ интересующимся съ большимъ интересомъ...“

Вѣстникъ законъ, май 1906 г.

Ф. АУЗРБАХЪ. Проф. Іенскаго университета.

ЦАРИЦА МІРА И ЕЯ ТѢНЬ

Общедоступное изложеніе основаній ученія объ ЭНЕРГІИ и ЭНТРОПИИ.

Переводъ съ нѣмецкаго. Съ предисловіемъ Ш. Э. Гильома, Вице-Директора Меядународнаго Бюро Мѣръ Вѣсомъ.

VIII+56 стр. Изданіе 3-е. Цѣна 40 к.

Допущено Уч. Ком. М. Н. Пр. въ учен. старш. возр. библиотекы средн. учебн. заведеній, а равно и въ белг. народн. библиотекы и читальни.

СОДЕРЖАНІЕ: Предисловіе—Законъ сохраненія энергіи. Энергіи—царица міра. Законъ сохраненія вещества. Количество вещества неизмѣнно, но его качества видоизмѣняются—Работа—Запасы работы. Энергія и ея различныя формы. Измѣреніе работы—Кинетическая энергія. Потенціальная энергія—Преобразованія энергіи. Механическій эквивалентъ тепла—Явленія природы представляютъ преобразованія энергіи—Измѣненіе является характерной особенностью всѣхъ явленій природы—Явленія въ природѣ стремятся къ выравниванію—Разсѣянiе энергіи.

Интенсивность и экстенсивность ее. Неполная обратимость. Изнашивание—Энтропия есть степень разяния энергии—Слѣдствія энтропій—Примѣчанія—Библиографія.

„Давно намъ не приходилось читать столь увлекательно и ясно написанной научно популярной брошюры... Нѣтъ въ философіи физики болѣе глубокихъ и въ то же время болѣе трудно усваиваемыхъ понятій, какъ энергія и особенно энтропія; они трудны даже для научнаго изложенія и тѣмъ удивительнѣе искусство проф. Ауэрбаха, сумѣвшаго въ краткой брошюрѣ выяснить для самой широкой публики сущность и значеніе этихъ двухъ основныхъ принциповъ современной физики. Особенно оригинальны по методу доказательствъ и блестящи по изложенію тѣ мѣста брошюры Ауэрбаха, гдѣ онъ выясняетъ „реальность“ энергіи, которую совершенно такъ же, какъ и вещество, мы можемъ покупать и продавать, накоплять и расточать; и даже воровать. Еще труднѣе для популярнаго изложенія понятіе объ энтропій; до того, какъ мы прочли статью проф. Ауэрбаха, намъ, по крайней мѣрѣ, казалось, что это понятіе не поддается такому изложенію“....

Міръ Божій, сент. 1905.

Проф. ДН. ПЕРРИ.

ВРАЩАЮЩИЙСЯ ВОЛЧОКЪ

публичная лекція, содержащая популярное изложеніе теоріи волчна.

Переводъ съ англійскаго.

VIII+96 страницъ. Съ 63 рисунк. Изд. 2-е. Цѣна 60 коп.

Учен. Ком. М. Н. Пр. признана заслуживающей вниманія при пополненіи университетскихъ библиотекъ средн. учебн. заведеній.

Изъ отзывовъ. „Съ первой страницы своей книги профессоръ Дж. Перри овладѣваетъ вниманіемъ читателя и во всей книгѣ описываетъ и поясняетъ такъ много занимательныхъ опытовъ и явленій изъ области астрономіи, физики и механики, что читатель складываетъ книгу только тогда, когда прочтетъ послѣднія строки послѣдней страницы. Если бы,—говоритъ авторъ,—подробному изслѣдованію вращающагося волчна было уделено болыше вниманія, то успѣхи человѣчества въ области прикладной механики и во многихъ отрасляхъ промышленности были бы гораздо болѣе значительны. Общія астрономическія свѣдѣнія были бы лучшіе. Геологи не дѣлали бы ошибокъ въ мплліоны лѣтъ, а нанія знанія о свѣтѣ, о лучистой теплотѣ и о другихъ электромагнитныхъ явленіяхъ развивались бы много скорѣй, чѣмъ сейчасъ“. Справедливости своихъ словъ авторъ подтверждаетъ рядомъ положеній; онъ начинаетъ съ разбора теоріи вращательнаго движенія, переходитъ затѣмъ къ разбору механическихъ явленій и послѣ тщательнаго изложенія причинъ, вызывающихъ астрономическое явленіе—предвареніе равноденствій, заканчиваетъ свою лекцію разсмотрѣніемъ теоріи свѣта, электричества и магнитизма. Все изложено въ самой общедоступной формѣ и читается легко...

Лекціи, составляющая содержаніе книги, сопровождалась искусными опытами; въ книгѣ же они освѣщены многими рисунками, въ значительной степени помогающими чтенію. Многие изъ этихъ опытовъ извѣстны всѣмъ, но соединенные въ одной лекціи въ порядкѣ научной послѣдовательности, они захватываютъ широкіе научные горизонты и приносятъ несомнѣнную пользу...

Такой прекрасной книгѣ нельзя не пожелать широкаго распространенія“.

Новое Время, 15 ноября 1906 г. Проф. С. Глазенапъ.

„Вотъ книжка, воочію, показывающая, какъ люди истиннаго знанія, не цеховой только науки, умѣютъ распоряжаться научнымъ матеріаломъ при его популяризаціи... О томъ, что все научное міросозерцаніе проф. Дж. Перри насквозь проникнуто благороднѣйшимъ научнымъ идеализмомъ, говорить было бы бесполезно, и въ этомъ отношеніи его міросозерцаніе примыкаетъ къ міросозерцанію такихъ корифеевъ истиннаго знанія, какими были Леонардо да-Винчи, Галилей, Ньютонъ. „Подъ солнцемъ нѣтъ ничего дурнаго, чего не могло бы очистить и побѣдить знаніе, руководимое серьезной и твердой волей; и нѣтъ ни женщины ни мужчины, родившихся на этой землѣ, которымъ не была бы уделена способность не только усваивать знаній для собственнаго усовершенствованія и удовольствія, но также и прибавить нѣчто новое, хотя бы и въ самой малой степени, къ общему запасу научныхъ свѣдѣній, которыя являются лучшимъ богатствомъ міра“. Такимъ истинно благородными словами заканчиваетъ Дж. Перри свою блестящую лекцію о вращающемся волчкѣ.

Желаемъ ц этому изданію фирмы Mathesis полнаго и вполнѣ заслуживаемаго имъ успѣха“. С. Шохоръ-Троцкій.

Русск. Шк. июль-авг. 1907.

Проф. В. С. Д. ВЕТГЭМЪ

СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ

ПЕРЕВОДЪ СЪ АНГЛІЙСКАГО

подъ редакціей приватъ-доцентовъ Б. П. Вейнберга и А. Р. Орбинскаго.

СОДЕРЖАНІЕ: Введение—I. Философскія основы физики—II. Сжиженіе газовъ и абсолютный нуль температуры—III. Плавленіе и застываніе—IV. Задачи растворовъ—V. Прохожденіе электричества сквозь газы—VI. Радиоактивность—VII. Атомы и эфиръ—VIII. Астрофизика.

Съ приложеніемъ рѣчи Перваго Министра Англій (1902—1905) *А. J. Balfour*:

НѢСКОЛЬКО МЫСЛЕЙ О НОВОЙ ТЕОРИИ ВѢЩЕСТВА.

произнесенной въ Кэмбриджскомъ собраніи Британской Ассоціаціи для Преуспѣванія Наукъ, августа 1904.

VIII+319 стр. съ 5 портр., 6 табл. и 33 рис. въ текстѣ. Цѣна 2 руб.

Изъ предисл. проф. Ветгэма: „Обходясь по возможности безъ техническихъ выраженій, эта книга можетъ пригодиться... тому, кто интересуется всѣми болѣе важными выводами научной мысли... Онъ (авторъ) съ благодарностью отмѣчаетъ помощь нѣсколькихъ друзей. Такъ, г. Невилъ критиковалъ главы о философскихъ основахъ физики и о плавленіи и застываніи; лордъ Бёркли прочелъ изложеніе теоріи растворовъ; проф. Дж. Дж. Томсонъ просматривалъ оригинальную статью, изъ которой взяты главы о прохожденіи электричества сквозь газы и объ радиоактивности; проф. Ларморъ пересмотрѣлъ главу объ атомахъ и эфирѣ, а г. Ньюоллъ главу объ астрофизикѣ“.

Изъ отзыва .. Книгоиздательство „Mathesis“, давно уже зарекомендовавшее себя передъ русскимъ обществомъ съ лучшей стороны, выпустило теперь переводъ книги Ветгэма, представляющей собою громадную цѣнность какъ подборомъ статей, такъ и ихъ популярно-научнымъ изложеніемъ...

„Современное развитіе физики“ настолько интересно и захватываетъ своими широкими обобщеніями, что становится понятнымъ интересъ къ этой книгѣ, вызвавшейся въ ея двукратномъ (англійскомъ) изданіи въ теченіе двухъ мѣсяцевъ... Издана она, какъ вообще всѣ изданія „Mathesis“, безукоризненно, что не повлияло на цѣну книги“. А. Лѣтвикъ.

Русская мысль, апрѣль 1908 г.

„...Ветгэмъ старается представить въ стройной и глубокой системѣ всѣ явленія физическаго опыта и рисуетъ читателю дѣйствительно захватывающую картину грандіозныхъ завоеваній человѣческаго генія... Неожиданнымъ и мѣткимъ сближеніемъ явленій разнаго порядка, блестящая иллюстрація къ какому нибудь математическому символу и ясное физическое истолкованіе сложной математической теоріи позволяютъ войти въ курсъ труднѣйшихъ проблемъ современной физики. Несомнѣнно, что и самая манера изложенія, манера ученяго, страстно увлекающагося возникающими предъ его взоромъ образами и горизонтами, помогаетъ всецѣло овладѣть вниманіемъ читателя...“ Л. Б.

Современный Миръ, июль 1908 г.

Проф. О. ЛЕМАНЪ.

ЖИДКІЕ КРИСТАЛЛЫ И ТЕОРИИ ЖИЗНИ

Докладъ сдѣланный въ общемъ собраніи 78 съѣзда германскихъ естествоиспытателей и врачей.

Переводъ съ нѣмецкаго П. В. КАЗАНЕЦКАГО подъ редакціей „Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики“.

IV+43 стр. съ 30 рисунки. Цѣна 40 коп.

Отъ переводчика. „Не касаясь вопроса объ аналогіи явленій, наблюдаемыхъ въ жидкихъ кристаллахъ, съ явленіями, присущими живымъ существамъ, самое существованіе жидкихъ кристалловъ представляетъ въ высшей степени важное открытіе въ неорганическомъ мирѣ. Достаточно сказать, что кристаллическое строеніе вещества является первымъ и самымъ важнымъ базисомъ для рѣшенія вопроса объ индивидуальности химическаго соединенія. Но, съ другой стороны, изученіе свойствъ и явленій, характеризующихъ жидкіе кристаллы, затрагиваетъ вопросъ объ отсутствіи различія между кристаллическими и некристаллическими аморфными тѣлами“...

А. РИГИ.

Проф. универс. въ Болоньѣ.

Современная теорія физическихъ явленій.

(Радиоактивность, іоны, электроны).

XII + 156 стр. Съ 21 рисунк. Цѣна 1 руб.

Переводъ съ III-го (1907) дополнен. и переработаннаго итальянск. изданія.

СОДЕРЖАНІЕ. Введеніе. Гл. I. Электролитическіе іоны и электроны. Гл. II. Электроны и свѣтовые явленія. Гл. III. Природа катодныхъ лучей. Гл. IV. Іоны въ газахъ и въ твердыхъ тѣлахъ. Гл. V. Радиоактивность. Гл. VI. Атомныя измѣненія радиоактивныхъ тѣлъ. Гл. VII. Масса, скорость и электрической зарядъ іоновъ и электроновъ п строеніе матеріи.

Изъ предисловія автора. „Многочисленныя изслѣдованія электрическаго разряда, произведенныя въ послѣдніе годы, удачныя опыты, завершившіе электромагнитную теорію свѣта, наконецъ открытіе магнитно-оптическихъ явленій и радиоактивности пмѣли результатомъ созданіе новой п интересной отрасли науки и въ то же время привели къ новой теоріи, которая гармонически объединяетъ всѣ эти явленія; основныя идеи о непосредственной причинѣ электрическихъ и вообще физическихъ явленій кореннымъ образомъ измѣнились благодаря этимъ открытіямъ...

Въ настоящее время произошла новая эволюція въ нашихъ воззрѣніяхъ на эти явленія; хотя первичная причина ихъ все еще остается для насъ скрытой, но *электричеству приписывается атомистическое строеніе*. Эта новая точка зрѣнія, къ которой приводятъ упомянутыя выше изслѣдованія, повидимому, оказывается столь же плодотворной, какъ и аналогичная гипотеза, давно уже принятая относительно строенія вещества: она даетъ возможность установить тѣсную связь, часто даже количественную, между явленіями, которыя на первый взглядъ кажутся совершенно разнородными и независящими другъ отъ друга...

Мы изложимъ здѣсь главные факты, которые привели къ теоріи электроновъ и постараемся выяснитъ эту теорію, по крайней мѣрѣ, въ общихъ чертахъ“.

Изъ предисловія къ французскому изданію Г. Липмана,
члена Французской Академіи наукъ и профессора въ Сорбоннѣ.

„Профессоръ Риги поставилъ себѣ цѣлью изложить въ доступной формѣ теорію электроновъ, которая служить въ настоящее время для объясненія большаго числа явленій, недавно открытыхъ. Ему удалось въ небольшой брошюрѣ ясно изложить происхожденіе и развитіе этой плодотворной идеи...“

Риги показываетъ, какъ идея объ электронахъ возникла изъ гипотезы объ іонахъ. Онъ выясняетъ безъ большихъ вычисленій, какъ можно было опредѣлить массы и скорости электроновъ; онъ тщательно разпвваетъ каждую часть своего сочиненія сообразно тому значенію, которое онъ получили въ современной наукѣ. Нужно имѣть въ виду, что Риги и самъ своими талантливыми работами много содѣйствовалъ развитію теоріи іонизаціи газовъ“.

Проф. А. РИГИ.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИРОДА МАТЕРІИ.

Вступительная лекція, читанная 12 апрѣля 1907 г.

Переводъ съ итальянскаго подъ редакціей „Вѣтника Опытной Физики и Элементарной Математики“

28 стран. цѣна 30 к.

Имеется на складѣ.

Ф. ЛИНДЕМАНЪ.

ФОРМА И СПЕКТРЪ АТОМОВЪ

Рѣчь произнесенная на годичномъ англ. Мюнхенскаго университета въ 1905 г. его ректоромъ.

Переводъ съ нѣмецкаго. Цѣна 20 коп.

А. В. НЛОСОВСКИЙ
Заслуженный профессор.

Физическая жизнь нашей планеты

на основании современных воззрений

Второе исправленное и дополненное издание. 45 стр. Ц. 40 к.

Стр. 1. „Въ туманной дали истекшихъ эпохъ мы мысленно возсоздаемъ тотъ процессъ, при посредствѣ котораго планета наша получила самостоятельное существованіе. Отдѣлившись отъ болѣе могущественной космической туманности, первоначальная масса земли носилась въ холодномъ мировомъ пространствѣ. Въ этомъ юномъ космическомъ тѣлѣ, вслѣдствіе процессовъ сгущенія вещества къ центру, химическихъ воздѣйствій, а также деформаций, вызванныхъ тяготѣніемъ къ центральному тѣлу должны были происходить постоянныя перемѣщенія, отдѣльные взрывы, мѣстныя поверхностныя отвердѣванія, послѣдовательныя образованія коры и ея разрывы. Катастрофы слѣдовали за катастрофами. Это была элементарная жизнь грубой силы и простѣйшей матеріи.

Но, мало по малу, физическая жизнь нашей планеты стала осложняться....
...по мѣрѣ приближенія къ переживаемой нами эпохѣ, эти смутныя и неясныя намеки природы принимаютъ болѣе и болѣе опредѣленный характеръ. Природа, по удачному выраженію одного геолога, начинаетъ скоплять громадныя естественныя архивы, колоссальныя фоліанты, на скрижаляхъ которыхъ отмѣчена исторія земли. Скрижали эти скрыты въ недрахъ земли; это геологическія отложения и пласты... Правда, что многіе архивы природы намъ еще недоступны, многія страницы этихъ фоліантовъ истлѣли, разрознены или потеряны. Тѣмъ не менѣе, естествоиспытатель сумѣетъ разгадать языкъ природы и возстановитъ картину прошлаго. Но пройдемъ мимо этихъ фоліантовъ, задача наша иная. Мы раскроемъ лишь страницы, относящіяся къ современной физической жизни земли и къ тѣмъ методамъ и задачамъ ея изученія, которые прошлый XIX вѣкъ передалъ въ наслѣдіе текущему XX-му столѣтію“....

С. АРРЕНІУСЪ.

Профессоръ высшей школы въ Стокгольмѣ.

ФИЗИКА НЕБА.

Разрѣшенный авторомъ и дополненный по его указаніямъ

Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакціей приватъ-доцента А. Р. Орбинекаго.

VIII+250 стр. съ 66 черными и 2 цвѣтными рисунками въ текстѣ и 1 черной и 1 цвѣтной отдѣльными таблицами. Цѣна 2 руб.

Допущено Уч. Ком. М. Н. Пр. въ учен. старш. возр. библиотекки средн. учебн. завсѣдній, а равно и въ безпл. народн. библиотекки и читальни.

СОДЕРЖАНІЕ. I. неподвижныя звѣзды. II. Солнечная система. III. Солнце. IV. Планеты, ихъ спутники и кометы.

Отдѣльныя таблицы: Карта экваторіальной зоны звѣзднаго неба отъ 30° сѣв. склон. до 30° южн. склон. по Г. Впттгу.

Таблица спектровъ (въ краскахъ): сѣвернаго сіянія, туманности въ Драконѣ, протуберанцы, Т. Вьнца, Сиріуса, α Оріона, атмосферы, солнца, этилена, кометы II 1868.

Изъ отзывать—„Являясь весьма полезнымъ пособіемъ для студентовъ физико-математическаго факультета, эта книга должна немедленно занять свое мѣсто въ спискахъ книгъ, рекомендуемыхъ для самообразованія. Она вполне доступна для лицъ съ подготовкою приблизительно средней школы. Съ другой стороны эта книга не есть обычный учебникъ, ограничивающійся кругомъ установленныхъ и общепринятыхъ положеній: автору принадлежатъ нѣсколько смѣлыхъ мыслей, которыя дѣлаютъ книгу особенно интересной, такъ какъ здѣсь мы встречаемся съ попыткой привлечь на службу астрофизики новѣйшіе факты и теоріи изъ области физическихъ ученій. Какъ бы не измѣнились построенія Аррениуса въ дальнѣйшемъ развитіи науки, во всякомъ случаѣ уже тѣ результаты, которые онъ достигъ, показываютъ плодотворность и законность такихъ попытокъ... Переводъ выполненъ очень хорошо. Издана книга очень хорошо, настолько хорошо, что цѣну—2 рубля за книгу въ 250 стр.—нужно признать невысокой. Мы надѣемся, что книга встрѣтитъ самый сочувственный приемъ“. А. Т. *Миръ Вожій*, апрѣль 1905 г.

„Попытка популяризировать астрофизику сама по себе может быть встречена с благодарностью; настоящая же книга, в которой научность содержания, ясность и простота изложения и превосходный перевод соперничают друг с другом, может еще более увеличить интерес къ этому новому отдѣлу современной астрономіи“.

Русская мысль, июль 1905 г.

„Проф. Аррениусъ, всемірно извѣстный творецъ теоріи электролитической диссоциаци въ ея современномъ видѣ, является однимъ изъ остроумнѣйшихъ современныхъ физиковъ и астрофизиковъ. Его „Физика неба“ принадлежитъ къ лучшему, что имѣется въ области элементарныхъ сочиненій по физической астрономіи или какъ онъ выражается, „по космической физикѣ“. Почти всѣ научныя пріобрѣтенія послѣдняго времени приняты во вниманіе авторомъ и употребляются въ качествѣ объяснительныхъ принциповъ при разсмотрѣнн небесныхъ явленій“.

Вѣсти, мартъ 1905 г.

СВАНТЕ АРРЕНИУСЪ.

Проф. высшей школы въ Стокгольмѣ.

ОБРАЗОВАНИЕ МІРОВЪ

Разрѣшенный авторомъ, переводъ съ нѣмецкаго

подъ редакціей К. Д. Токровскаго, профессора Юрьевск. Университета.

VIИ+200 стр. съ 60 рисунками. Цѣна 1 р. 75 к.

Краткое содержаніе. Вулканическія явленія и землетрясенія—Небесныя тѣла и въ особенности земля, какъ мѣста обитанія живыхъ существъ—Лучеиспусканіе солнца и его строеніе—Лучевое давленіе—Солнечная пыль въ атмосферѣ земли; полярныя снѣга и измѣненія земного магнетизма—Гибель солнца. Возникновеніе туманностей—Состояніе туманностей и солнца—Распространеніе жизни въ мировомъ пространствѣ.

Изъ предисловія автора. „Когда я, около шести дѣтъ тому назадъ, былъ занятъ обработкой своего „Учебника Космической Физики“,*) я не могъ не чувствовать, какъ трудно съ точки зрѣнія господствующихъ теперь взглядовъ объяснить многія явленія, особенно тѣ, которыя находятся въ связи съ вопросами космогоническими. Но я понималъ, что давленіе свѣтовыхъ лучей, которое до сихъ поръ оставалось незамѣченнымъ, можетъ быть съ успѣхомъ примѣнено для уясненія значительной части тѣхъ явленій, которыя раньше съ трудомъ поддавались объясненію. Поэтому я примѣнилъ эту рѣше пренебрегающую силу природы въ своемъ учебникѣ въ широкомъ масштабѣ для объясненія названныхъ явленій... мои попытки объясненія... были встрѣчены научнымъ міромъ съ необычайнымъ интересомъ и весьма благосклонно. Это ободрило меня искать дальше объясненій наиболѣе важныхъ изъ многочисленныхъ загадокъ, которыя мы всюду встрѣчаемъ въ этой области...“

Говорятъ, и не безъ основанія, что научные взгляды должны обсуждаться и быть признаны раньше въ кругу специалистовъ, и затѣмъ только предлагаться широкой публикѣ. Но нельзя отрицать, что, если бы подобное условіе исполнилось, то большая часть мыслей, которыя были высказаны по вопросамъ космогоническимъ, никогда не появилась бы въ печати, и трудъ, потраченный на ихъ печатаніе, могъ бы найти себѣ лучшее примѣненіе. Семь лѣтъ, протекшихъ съ тѣхъ поръ, какъ я сообщалъ ученому міру первые опыты своихъ объясненій, благосклонный пріемъ, оказанный имъ, а также полная возможность, которую я имѣлъ въ теченіе этого времени, точно проверить и исправить мои объясненія—все это представляется мнѣ болѣе, чѣмъ достаточнымъ, для того, чтобы я имѣлъ право изложить свои взгляды широкому кругу читателей.

Проблема развитія міра, въ самомъ дѣлѣ, всегда возбуждала особенный интересъ въ мыслящей части человѣчества. Безъ сомнѣнія, она будетъ занимать самое главное мѣсто среди всѣхъ вопросовъ, которые не имѣютъ прямого практическаго значенія....

Руководящей идеей въ предлагаемой обработкѣ космологическихъ вопросовъ является взглядъ, что вселенная по существу своему была всегда такова, какъ и теперь. Матерія, энергія и жизнь мѣняли только форму и мѣсто въ пространствѣ“.

*) Переводъ первой части „Учебника Космической Физики“, которую имѣеть въ виду главнымъ образомъ авторъ, былъ изданъ нами подъ названіемъ „Физика Неба“; (см. пред. стр.). *Математика.*

АСТРОНОМІЯ ДЛЯ ВСѢХЪ

Переводъ съ англійск. съ предисловіемъ приватъ-доцента А. Р. Орбинскаго. XXIV+286 стр. съ портр. автора, 64 рис. въ текстѣ и 1 отдѣльная таблица. Ц 1 р. 50 к. *Допущена Уч. Ком. М. Н. Пр. въ учен. стат. возр. библиотеки средн. учебн. заведеній, а равно и въ безпл. царск. библиотеки и читальни.*

СОДЕРЖАНІЕ. I. Небесныя движенія. II. Астрономическіе инструменты. III. Солнце, земля и луна. IV. Планеты и ихъ спутники. V. Кометы и метеоры. VI. неподвижныя звѣзды. Указатель.

Изъ отзывовъ. „Астрономія для всѣхъ“—одна изъ лучшихъ популярныхъ книгъ по астрономіи. Это въ одно и тоже время и вполне научно, и совершенно доступно, и изящно написанная книга. Она можетъ служить пособіемъ для самообразованія и учебнымъ пособіемъ при прохожденіи курса космографіи.. Вездѣ даются самыя послѣднія свѣдѣнія, свѣжіе факты, но лишь одна строго пробѣренные факты... Книга переведена и издана очень хорошо. Рекомендуемъ ее особому вниманію преподавателей и учащихся“. *Л. С. Вѣсти. Вост. Мартъ 1906 г.*

„Рѣдко попадаются въ русской литературѣ столь удачныя популярныя руководства, какъ книжка Ньюкома, а еще рѣже попадаются такіе хорошіе переводы, какъ переводъ А. Р. Орбинскаго... изложеніе Ньюкома отличается большою „картинностью“... В. Лермантовъ. *Морской Сборникъ, май 1906 г.*

„...по ее доступности широкому кругу публики рецензентъ счптаеъ „Астрономію для всѣхъ“ лучшей книгой изъ существующихъ съ этой задачей курсовъ астрономіи на русскомъ языкѣ...“ В. Стратоновъ.

Вѣсти. Опъти. Физ. и Элем. Мат. № 6 XXXV Сем. 1906 г.

„Книгоиздательство „Mathesis“ успѣло заявить себя съ самой лучшей стороны, подбирая для изданія наиболее интересныя и выдающіяся книги; неудивительно поэтому, что „Астрономія для всѣхъ“, представляющая строго научную и наиболее ясно изложенную теорію современной астрономіи, вышла въ этомъ изданіи. *Русская Мысль, сент. 1905 г.*

„Авторъ обнимаетъ своимъ сочиненіемъ всѣ вопросы, которые составляютъ содержание описательной астрономіи... Вообще „Астрономія для всѣхъ“ прекрасная книга, написанная очень интересно и совершенно на уровнѣ современной науки, чему гарантіей служитъ уже самое имя автора...“ *Д. Ц. Русская школа, октябрь 1906.*

„Желаемъ полного успѣха этой книгѣ—результату соединеннаго труда талантливѣйшаго автора, прекраснаго переводчика и добросовѣстнаго издателя“.

Естественное и Географіа, мартъ 1906 г.

Проф. Э ВИХЕРТЪ.

ВВЕДЕНІЕ ВЪ ГЕОДЕЗИЮ.

Лекціи для преподавателей средн. учебн. заведеній.

Переводъ съ нѣмецкаго. 80 стр. съ 41 рисунк. Цѣна 35 коп.

Учен. Ком. М. П. Пр. признана заслужив. вниманія при пополненіи учебн. библ. средн. уч. завед.

СОДЕРЖАНІЕ: Предисловіе—Низшая геодезія. О точкахъ и прямыхъ линіяхъ—Измѣреніе длинъ въ горизонтъ—Измѣренія въ горизонтальной плоскости и въ прямоугольныхъ координатахъ—Введеніе различныхъ линій абсциссъ; ходовыя линіи—Изготовленіе наброска и ситуационнаго плана—Болѣе крупныя съемки; триангуляція—Измѣренія въ полярныхъ координатахъ; тахиметрія—Менаульныя съемки—Неровности—Нивелированіе линій и поверхностей—Непрямыя измѣренія высотъ; одновременныя съемки въ горизонтъ и высотъ, фотограмметрія—*Прибавленія.* Высота надъ нормальнымъ нулемъ—Замѣчанія объ измѣренія высотъ—Государственная съемка и измѣреніе земли—Литература—Списокъ приборовъ.

Изъ отзывовъ. „Эта книжка представляетъ главу изъ сборника лекціи для преподавателей средней школы „Ueber angewandte Mathematik u. Physik“ въ Геттингенѣ, изданнаго профессорами Клейпомъ и Рике. Авторъ излагаетъ основы низшей геодезіи, имѣя въ виду пользование ею въ школѣ въ качествѣ практическаго пособия при преподаваніи. По мнѣнію Вихерта, „въ средней школѣ геодезія достигнетъ полностью своей цѣли, когда къ ней будутъ обращаться при преподаваніи математики, физики и географіи, а также при учебныхъ экскурсіяхъ, когда при всякомъ удобномъ случаѣ будутъ приводиться примѣры и задачи изъ геодезіи и, наконецъ, когда нѣсколько часовъ, посвященныхъ теоретическому преподаванію математики въ классѣ, будутъ замѣнены практическими занятіями подъ открытымъ небомъ.“

Изложение очень сжато, но полно и послѣдовательно.... Издана книга очень хорошо". Д. Вязюкинъ. *Вопросы Физики*. Вып. I. 1908.

... Въ этихъ лекціяхъ авторъ изложилъ въ сжатомъ видѣ весь курсъ высшей геодезіи. Принимая во вниманіе составъ его аудиторіи, онъ ограничивался краткими объясненіями, а потому ему удалось втиснуть въ небольшой объемъ богатый матеріалъ. Преподаватель средней школы найдетъ въ книгѣ профессора Вихерта и описание геодезическихъ приборовъ и изложение всѣхъ приемовъ, употребляемыхъ при съемкѣ мѣстности, а также при нивелировкѣ, однимъ словомъ, все то, что ему нужно будетъ знать, если онъ пожелаетъ вести съ учениками практическія занятія по геодезіи.

Переведена книга вообще хорошо... К. Фохтъ. *Жур. Мин. Нар. Пр.*, февр. 1908.

Ищется на складъ:

Проф. Ф. Р. МУЛЬТОНЪ.

ЭВОЛЮЦІЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.

Перев. съ англійск. IV+82 стр. Съ 12 рисунк. Цѣна 50 к.

СОДЕРЖАНІЕ: Эволюція солнечной системы—Историческія свѣдѣнія—Райтъ и Каятъ—Кольцевая теорія Лапласа—Приливная эволюція—Факты, подтверждающіе гипотезу Лапласа—Факты, противорѣчащіе гипотезѣ Лапласа—Гипотеза спиральной туманности—Гипотеза о предшествующихъ условіяхъ нашей солнечной системы—Возможное происхожденіе спиральныхъ туманностей—Развитіе солнечной системы изъ спиральной туманности.

Къ русскому переводу. „Эта небольшая книжка представляетъ переводъ одной главы книги проф. F. R. Mutton, *Introduction to Astronomy* (Введеніе въ Астрономію), вышедшей въ 1906 г., и содержитъ изложеніе одной изъ наиболѣе важныхъ и интереснѣхъ космогоническихъ гипотезъ, которая вызвала на свѣтъ все болѣе выясняющаяся неудовлетворительность теоріи Лапласа. То обстоятельство, что мы получаемъ его изъ первыхъ рукъ, не можетъ не повышать его цѣнности—тѣмъ болѣе, что авторъ даже сложныя вещи умѣетъ представлять ясно и отчетливо“...

Н. ШЕЙДЪ.

ХИМИЧЕСКІЕ ОПЫТЫ

ДЛЯ ЮНОШЕСТВА.

Переводъ съ нѣм. подъ ред. лаборанта Нов. Унив. Е. С. Ельчанинова.

192 стр. Съ 79 рисунк. Цѣна 1 р. 20 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. признана заслуживающей вниманія при пополненіи библиотекъ народн. читальн. и библиотекъ.

Изъ предисловія автора. „Предлагаемые опыты расположены и выбраны прежде всего такъ, что они не требуютъ никакихъ предварительныхъ знаній. Съ переходомъ отъ легкаго къ трудному уже приобретаемыя въ опытахъ знанія постоянно снова примѣняются къ дѣлу и становятся глубже. Самымъ тщательнымъ образомъ авторъ избѣгалъ всего, что можетъ дать экспериментирующему ложное представленіе о сущности химіи“.

Изъ предисловія редактора русскаго изданія. „Трудъ проф. Шейда слѣдуетъ разсматривать не какъ учебникъ или специальное руководство, а лишь какъ пособие для первоначальнаго ознакомленія съ весьма труднымъ предметомъ. Съ этой точки зрѣнія книга Шейда представляется весьма цѣнной и полезной. Несомнѣнно опытный и талантливый педагогъ, онъ сумѣлъ такъ подобрать и распределить матеріалъ, что молодой химикъ безъ особеннаго труда, но съ большимъ интересомъ станетъ знакомиться съ химическими явленіями и приучается къ самостоятельному экспериментированію. Для дальнѣйшаго химическаго образованія такимъ образомъ закладывается солидный базис“.

Изъ отзавовъ. „...Счастлирое соединеніе учителя и химика въ лицѣ автора даетъ книгѣ свой отпечатокъ и дидактическую цѣнность. Авторъ не только старательно просѣиваетъ и распределяетъ матеріалъ, какъ опытный педагогъ, представляя его въ единственно подходящей для юношества формѣ—общедоступно, но и научно—но, какъ опытный химикъ, онъ владѣетъ искусствомъ экспериментированія, которое умѣетъ проникать въ тайны природы съ самыми простыми средствами, вмѣстѣ съ тѣмъ увлекая и убѣждая...“ *Monatschrift für höhere Schulen*

„Эта маленькая книга составлена для указанной цѣли необыкновенно искусно. Она избѣгаетъ безполезнаго баловства и открываетъ молодому экспериментатору прежде всего наиболѣе важныя вещи обыденной жизни“.

Beiblätter zu den Annalen der Physik.

„Превосходная книга, какой намъ давно не хватало... Авторъ основательный знатокъ химіи и въ то же время въ совершенствѣ владѣть умнѣемъ обращаться методически съ столь неподатливымъ часто матеріаломъ. Всюду въ книгѣ сохраняешь благоворное чувство, что находишься въ совершенно надежныхъ рукахъ... Авторъ мастерски показываетъ, что могутъ рассказать эти „обыденныя“ вещи, если понимать ихъ языкъ. Онъ учитъ не салонному фокусничеству, а серьезной наукѣ въ болѣе легкой формѣ. Мальчикъ, усвоившій всю книгу, узнаетъ не только массу химическихъ фактовъ и законовъ,—онъ ознакомится и съ источниками благосостоянія, съ жизнью въ бытѣемъ тѣль природы. Мы должны признаться, что намъ давно уже не попадала въ руки книга, которая бы разрѣшила свою задачу такъ искусно, основательно и увлекательно...“

Zeitschrift für Lehrmittelwesen und pädagogische Literatur.

„...Новая книга, очень заслуживающая рекомендаціи... Опыты интересны, почтительны и выполнимы съ небольшими средствами... Прекрасная вѣнщина позволяетъ рекомендовать книгу для подарковъ“. *Literarische Beilage zur „Schulpflege“.*

Б. ШМИДЪ.

Философская хрестоматія

ПОСОБІЕ ДЛЯ СРЕДНИХЪ УЧЕБНЫХЪ ЗАВЕДЕНІЙ.

Пер. съ нѣм Ю. А. Говсѣва подъ ред. и съ предисл. проф. Н. Н. Ланге.

VI—172 страницы. Цѣна 1 руб.

Учен. Ком. М. Н. Пр. признана заслуживающей вниманія при пополненіи ученическихъ библиотекъ среднихъ учебныхъ заведеній.

СОДЕРЖАНІЕ. I. А. Риль. Сущность и развитіе философіи—Б. Шмидъ. Къ вопросу о развитіи философіи—Б. Шмидъ. О матеріализмѣ—Ламетри. Человѣкъ какъ машина—Б. Шмидъ. О происхожденіи современнаго матеріализма—Эрнстъ Геккель. Душа—Эмиль Дюбуа-Реймондъ. О границахъ познанія природы—Б. Шмидъ. Объ идеализмѣ—Рене Декартъ. Размышленія объ основахъ философіи—Д. Локкъ. Нѣтъ врожденнаго принциповъ въ душѣ—Давидъ Юмъ. Элементы нашихъ выводовъ о причинѣ—И. Кантъ. Предварительное замѣчаніе объ особенностяхъ всякаго метафизическаго познанія—И. Кантъ. О пространствѣ—И. Кантъ. О времени—Людвигъ Бюссе. Безусловный скептицизмъ—Ф. Паульсенъ. Проблема сущности, или отношеніе познанія къ дѣйствительности.

II. А. Пуанкаре. Гипотезы въ физикѣ—Г. Оталло. Основныя начала механическаго мировоззрѣнія—В. Остаевъ. Сохраненіе энергіи—А. Пуанкаре. Границы принципа энергіи—Б. Шмидъ. О понятіи силы—М. Ферриери. Витализмъ—Ч. Дарвинъ. Борьба за существованіе—О. Либманъ. Логика фактовъ, или причинность и временная послѣдовательность—Б. Шмидъ. О развитіи понятій субстанціи и причинности—В. Вундт. Причинность въ волѣ—Х. Зигвартъ. Законъ логическаго основанія—Б. Шмидъ. Понятіе цѣлы.

III. Изъ отдѣльныхъ философскихъ дисциплинъ. Психологія и логика. Г. Вилла. Положенія психологіи въ системѣ наукъ. Отношеніе къ другимъ наукамъ—Г. Вилла. О сознаніи—В. Вундтъ. Принципы психофизическаго параллелизма—Г. Паульсенъ. Психологическое и грамматическое подлежащее—Дж. С. Милль. Отношеніе логики къ другимъ наукамъ—Х. Зигвартъ. Понятіе о числѣ—П. Фолькманъ. Индукціи и дедукціи.

Этика и эстетика. Г. Герффдингъ. Основныя предложенія этики—Фр. Паульсенъ. Проблемы этики—Фр. Раттель. Красота въ природѣ—Фр. Раттель. Элементы красоты въ природѣ—Г. Фолькманъ. Искусство, какъ творчество второго міра—О. Либманъ. Эстетическій идеаль.

Изъ отзывовъ. „Цѣль настоящей книги—дать возможность „молодымъ людямъ, изучающимъ въ послѣднихъ классахъ гимназій философскую пропедевтику“, ознакомиться въ подлинникъ хотя бы съ отрывками сочиненій виднѣйшихъ представителей философской мысли, ибо, какъ ни желательно, но почти невозможно чтеніе этихъ сочиненій цѣлостно широкому кругу. Съ другой же стороны, какъ говорить редактору русскаго перевода проф. Ланге, „никакое изложеніе второй руки не можетъ замѣнить подлиннаго философскаго творенія такъ же, какъ описаніе содержанія художественной поэмы не замѣнить послѣдней“.

Цѣль эта достигнута составителемъ очень удачно. Онъ умѣло соединилъ всѣ приводимые имъ отрывки сочиненій представителей различнаго философскаго мышленія въ одну плавную, правильную систему. „Для возбужденія критической мысли“, говоритъ Н. Н. Ланге: „составитель сопоставилъ взгляды мыслителей противоположнаго направленія“... читается книга легко. Переводъ очень хорошій и изданъ изящно“. Д. Бизюкинъ. *Вопросы Физики, Выпускъ I, 1908 г.*

„Необходимость изучения философских произведений по первоисточникам вряд ли нуждается в доказательствах: слишком очевидно, что никакие изложения не могут замѣнить подлинных сочинений Платона, Августина, Канта, Гегеля и др. Великие умы дѣйствуют на нас не только содержаніемъ своихъ системъ, но и формой ихъ, не только, такъ сказать, основнымъ тономъ своей философіи, но и обертонами ея... достоинства книги: аккуратное и тщательное отношеніе составителя къ дѣлу, сказавшееся въ бережномъ отношеніи къ приведеннымъ отрывкамъ, разнообразіе статей и современность ихъ. Философомъ эта хрестоматія не сдѣлается... по дѣлу человѣка, занятаго самообразованиемъ и немного знакомаго съ философіей и наукой, она даетъ разнообразный и интересный матеріалъ.

Русскій переводъ, въ общемъ, удовлетворителенъ и литературенъ...“ П. Блонскій. *Вопросы Философіи и Психологіи*, Ноябрь-дек. 1907 г.

...Отрывки по объему небольшие и выбраны, въ общемъ, довольно удачно... во всякомъ случаѣ слѣдуетъ признать, что эта книжка можетъ быть полезна для учащихся при первомъ знакомствѣ съ философскими проблемами, а потому на нее слѣдуетъ обратить свое вниманіе преподавателей философской преподавательки въ мужскихъ гимназіяхъ и педагогики (такъ называемой) въ женскихъ“.

Педагогическій сборникъ, февраль, 1908 г.

П. Каптеревъ

и. г. ушинскій. Проф. Имп. Нов. Универс.

Лекціи по бактериологіи.

Второе исправленное и дополненное изданіе.

VIII+135 стр. съ 34 рисунк. на 15 отдѣльныхъ цвѣтныхъ и черн. таблицахъ.

Цѣна 1 руб. 50 коп.

Краткосъ содержаніе: Предисловія — Сибиреязвенный бациллъ — Дифтеритный бациллъ — Вацпллъ столбняка — Имунитетъ и серотерапія — Холерный вибрионъ — Бактерія чумы — Туберкулезъ — Брюшинный тифъ — Кишечная палочка — Гонорея — Стафилококкъ — Стрептококкъ — Меннгококкъ — Пневмококкъ — *Bacterium influenzae* — Малярія — Руководства, пособия и источники.

Изъ предисловія къ II-му изданію. „Со времени выхода перваго изданія моихъ лекцій по бактериологіи я не замѣнилъ своихъ воззрѣній на строй и смыслъ университетскаго преподаванія. Потому и при второмъ изданіи лекцій я стремлюсь къ тому, чтобы дать учащимся по возможности краткую п дешевую книжку, не заключающую въ себѣ полнаго обзорія всего имѣющагося по бактериологіи матеріала, а содержащую лишь то, знаніе чего наиболѣе необходимо въ повседневной жизни, или что можетъ способствовать выясненію хода и направленія идей, господствующихъ въ наукѣ въ настоящее время...“.

Изъ предисловія къ I-му изданію. „Главная задача лекціоннаго способа университетскаго преподаванія состоитъ въ томъ, чтобы ввести слушателей въ кругъ идей, господствующихъ въ наукѣ въ данное время, и дать опорныя точки для *сознательнаго* изученія предмета. Представляя весьма важное подспорье при этомъ изученіи, лекціи, уже по самому существу своему, не могутъ, да и не должны давать мелкихъ подробностей; въ нихъ должны быть сосредоточены лишь основныя факты и лишь то, что иллюстрируетъ основную идею науки, способствуетъ развитію той или другой мысли или точки зрѣнія, проводимой лекторомъ; онѣ должны давать твердую основу для пониманія духа науки, систематизаціи ея, и тѣмъ облегчать ея усвоеніе; онѣ не должны быть изложены въ формѣ непреложныхъ положеній и истинъ, ибо таковыхъ за малыми исключеніями нѣтъ въ наукѣ. Поэтому лекціи отнюдь не должны носить чисто дидактическаго характера...“.

Въ лекціяхъ бактериологіи я не стремлюсь непременно успѣть описать по возможности всѣ виды патогенныхъ микроорганизмовъ, а стараюсь въ возможно полной... формѣ выяснить основныя положенія современной бактериологіи, причины необыкновенно сильнаго развитія этой отрасли науки и ея успѣховъ, и начертить путь, по которому идетъ и развивается она.

Наибольшее вниманіе отдается вопросамъ патолого-физиологическимъ, какъ наиболѣе интереснымъ, поучительнымъ и важнымъ... Наиболѣе мѣста въ курсѣ отводится выясненію вопросовъ объ имунитетѣ и серотерапіи. Отдѣльныя виды микробовъ въ началѣ берутся лишь какъ конкретныя примѣры для выясненія основныя трудныхъ вопросовъ имунитета...“.

ИГРЫ СО СПИЧКАМИ

ЗАДАЧИ и РАЗВЛЕЧЕНІЯ.

Переводъ съ нѣмецкаго 146 стр. свыше 250 черт. и рис. Цѣна 50 коп.

„Игры со спичками“ С. Тромгольта представляютъ собраніе задачъ и развлеченій при помощи обыкновенныхъ спичекъ. Не являясь книгой популярно-научнаго характера, „Игры со спичками“ даютъ, однако, въ своихъ задачахъ, составленныхъ въ высшей степени остроумно и оригинально, столько материала для геометрическихъ и арифметическихъ соображеній, что книгоиздательство „Матезисъ“ нашло появленіе этой книги въ ряду своихъ изданій весьма желательнымъ; издательство увѣрено, что книга эта можетъ заинтересовать не только учащихся, на которыхъ она главнымъ образомъ рассчитана, но и взрослога.

ПЕЧАТАЮТСЯ и ГОТОВЯТСЯ къ ПЕЧАТИ.

Прив.-доц. Б. П. ВЕЙНБЕРГЪ

СНѢГЪ, ИНЕЙ, ГРАДЪ, ЛЕДЪ и ЛЕДНИКИ.

Со многими рисунками.

СОДЕРЖАНІЕ. Вода въ твердомъ состояніи въ природѣ—Переходъ тѣлъ изъ одного состоянія въ другое—Вліяніе давленія на температуры кипѣнія и давленія—Тройная точка—Неустойчивое состояніе вещества—Пересыщенный водяной паръ; образованіе тумана—Туманъ, дождь, роса.

Непосредственный переходъ паровъ воды въ твердое состояніе—Снѣгъ и ограниченность нашихъ свѣдѣній о немъ. Кристаллографическая форма снѣжинокъ—Размѣры снѣжинокъ—Иней и изморозь—Законы паденія снѣжинокъ—Попытка объясненія генезиса различныхъ формъ снѣжинокъ—Оптическое явленіе въ атмосферѣ, вызываемая присутствіемъ въ ней кристалловъ снѣга.

Ледяной дождь—Градъ—Гипотезы о происхожденіи града—Искусственныя градины—Переходъ жидкой воды въ твердое состояніе—Кристаллизація переохлажденной воды; искусственныя снѣжинки—Рѣчной ледъ—Цвѣты Тиндалля—Донный ледъ—Практическое значеніе изученія доннаго льда—Сосульки, пещерный ледъ, искусственный ледъ—Ледниковый ледъ—Явленіе смерзанія (режеляція)—Скользкость льда.

Роль силы тяжести по отношенію къ снѣгу—Текущая твердыхъ тѣлъ вообще п льда, въ частности—Наледа (накипини)—Вопросъ о причинахъ пластичности льда—Коэффициентъ внутреннего тренія льда и его значеніе—Теченіе льда въ ледникахъ—Область питанія ледника и область таянія и связь между ними—Фирнъ, слоистость его и полосчатость ледниковаго льда—Линія тока въ ледникѣ—„Теорія теченія“ Финстервальдера—Ледопады, слияніе ледниковъ, образованіе моренъ съ точки зрѣнія теоріи Финстервальдера—Попытка физической теоріи движенія льда въ ледникахъ—Ледниковый покровъ полярныхъ странъ—Айсберги—Отступающіе и наступающіе ледниковъ—Ледниковые періоды въ жизни земнаго шара—Ледниковыя катастрофы.

Д-ръ ГЕРГАРДЪ КОВАЛЕВСКІЙ.

проф. математики боннскаго университета.

ВВЕДЕНІЕ ВЪ ИСЧИСЛЕНІЕ БЕЗКОНЕЧНО МАЛЫХЪ съ приложеніемъ историческаго очерка.

Перев. съ нѣмецк. подъ редакціей и съ примѣчан. прив.-доц. С. О. Шатуновскаго.

СОДЕРЖАНІЕ. Гл. I. Функции, предѣлы, ряды. Гл. II. Дифференціальное исчисленіе. Гл. III. Интегральное исчисленіе.—Историческій очеркъ.

Предисловіе автора. „Въ этой книжкѣ излагаются основныя понятія и главныя предложенія анализа приблизительно въ томъ видѣ, въ какомъ этого требуютъ современныя научныя воззрѣнія. Пытаясь сдѣлать изложеніе возможно точнымъ, авторъ все же старался не запугать читателя слишкомъ большими трудностями предмета. Совершенно строгое обоснованіе анализа безконечно малыхъ возможно лишь послѣ яснаго установленія понятія о числѣ, что слишкомъ расширило бы рамки этой работы. Вотъ почему отъ этого пришлось отказаться.“

Авторъ надѣется, что всякій образованный человѣкъ будетъ въ состояніи вынести изъ этой маленькой книжки понятіе о сущности анализа и что она окажется особенно полезной для студентовъ-математиковъ". Боннъ. Септѣбрь 1907 г.

Л. КУТЮРА.

АЛГЕБРА ЛОГИКИ.

Перев. съ франц. подъ редакціей и съ примѣчаніями и введеніемъ проф. И. В. Слешинскаго.

Изъ заключенія автора. „Предыдущее изложеніе... имѣетъ цѣлью лишь познакомить съ основаніями и элементарными теоріями этой науки. Алгебра логики есть алгоритмъ, имѣющій свои законы; она нѣкоторыми своими сторонами очень сходна съ обыкновенной алгеброй, но другими очень различна: она игнорируетъ, напримѣръ, различія степеней; законы тавтологіи и поглощенія вводятъ большія упрощенія въ нее и устраняютъ численные коэффициенты. Это—формальное исчисленіе, дающее мѣсто всякаго рода теоріямъ и задачамъ и способное развиваться почти безпредѣльно.

Но въ то же время это—замкнутая система, и можно показать, что она далеко не охватываетъ всей логики. Это, собственно говоря, алгебра классической логики; какъ эта послѣдняя, она остается заключенной въ области, установленной Аристотелемъ, т. е. въ области отношеній включенія понятій и отвлеченій вывода предложеній. Правда, классическая логика (если даже отвлечься отъ ошибокъ п многословія) была гораздо уже, чѣмъ алгебра логики; она почти совершенно замкалась въ теоріи силлогизма, границы котораго кажутся теперь болѣе тѣсными и болѣе искусственными. Тѣмъ не менѣе, алгебра логики разсматриваетъ, хотя значительно полнѣе и общѣе, задачи того-же порядка; она, въ сущности, ничто иное, какъ теорія многообразій, разсматриваемыхъ въ ихъ отношеніяхъ включенія и тождества... Алгебра логики отличается отъ чистой логики, какъ особенная математическая теорія, потому что она основана на принципахъ, которые мы постулировали неявно, которые не способны выразиться алгебраически или символически, потому что они служатъ основаніемъ всякаго символизма и всякаго исчисленія. Можно поэтому сказать, что алгебра логики есть математическая логика, по своей формѣ и по своему методу; но не слѣдуетъ принимать ее за логику математики“.

Проф. Ф. КЭДНОРИ.

ИСТОРІЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ.

Съ нѣкоторыми указаніями для преподавателя.

Переводъ съ англ. подъ ред. и съ примѣч. прив.-доц. И. Ю. Тимченко.

СОДЕРЖАНІЕ. ДРЕВНОСТЕ: Системы счисленія и числовые знаки—Ариеметика и алгебра: *Египетъ, Греція, Римъ*—Геометрія и тригонометрія: *Египетъ и Вавилонія, Греція, Римъ*. **СРЕДНЕ ВѢКА:** Ариеметика и алгебра: *Индусы, Арабы, Европа въ средніе вѣка*—Геометрія и тригонометрія: *Индусы, Арабы, Европа въ средніе вѣка*. **СОВРЕМЕННАЯ ЭПОХА:** Ариеметика: *Ея развитіе, какъ науки и искусства, Англійскіе мѣры и еса, Развитіе коммерческой школы въ Англій, Причины задержки развитія ариеметики въ Англій, Реформы въ обученіи ариеметики, Ариеметика въ Соединенныхъ Штатахъ, „Занимательная и интересная задачи“*. Алгебра: *Возрожденіе, Последние три вѣка*—Геометрія и тригонометрія: *Изданія Евклида, Первая издѣлованія, Начало современной синтетической геометріи, Современная элементарная геометрія*.

Изъ предисловія автора: „Способы и порядокъ воспитанія ребенка должны согласоваться съ историческимъ ходомъ воспитанія человѣчества; другими словами, развитіе знаній у отдѣльной личности должно слѣдовать по тому же пути, по которому развивались знанія у народа. Кажется, мы обязаны Канту формулировать этого ученія—ученія, которое мы можемъ принять, не связывая себя его теоріей происхожденія знаній ни относительно причинъ, ни относительно порядка“ (Гербертъ Спенсеръ). Если этотъ принципъ, котораго держались также Песталозици и Фребель, вѣрно, то, кажется, знаніе исторіи предмета должно оказывать существенную помощь изученію этого предмета. И вѣрно ли это ученіе или невѣрно, но опытъ многихъ учителей подтверждаетъ важность исторіи математики при обученіи. Надѣясь помочь товарищамъ-учителямъ, я и составлялъ эту книгу, вставляя иногда въ свое повѣствованіе замѣчанія и указанія на іриемы преподаванія. Не поддежитъ сомнѣнію, что вдумчивый читатель самъ извлечетъ полезныя указанія, но приведенныя непосредственно въ текстъ, изъ изученія исторіи математики“.

ЭНЦИКЛОПЕДІЯ
ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ

Руководство для преподающихъ и изучающихъ элементарную математику.

Томъ II. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ГЕОМЕТРІЯ

Составленная Веберомъ, Вельштейномъ и Якобсталемъ.

Переводъ съ нѣмецк. подъ редакціей и съ примѣч. прив.-доц. В. Ф. Кагана.

СОДЕРЖАНІЕ **Первая книга.** (проф. Вельштейна: Введеніе—Критика основныхъ понятій—Естественная геометрія, какъ одна изъ безчисленныхъ формъ геометріи, построенной на чистыхъ понятіяхъ (литанометріи)—Обоснованіе проективной геометріи—Планиметрия. **Вторая книга:** Плоская тригонометрія и полигонометрія (проф. Вебера)—Сферика и сферическая тригонометрія (В. Якобстала) **Третья книга** (проф. Вебера): Аналитическая геометрія на плоскости—Точки, плоскости и прямая въ пространствѣ—Объемы и поверхности—Группы вращеній и правильныя тѣла—Аналитическая геометрія пространства—Дополненіе къ основамъ геометріи.

Каждая изъ упомянутыхъ трехъ книгъ выйдетъ отдѣльнымъ выпускомъ.

Изъ предисловія проф. Вельштейна. „Второй томъ Энциклопедіи элементарной математики посвященъ исключительно геометріи.. и распадается на три книги. Первая книга содержитъ основы геометріи,— ту трудную промежуточную область, которая требуетъ, кромѣ математическаго пониманія, еще и философскаго... Ничто не можетъ такъ поднять внутренне учителя и исполнить его значеніемъ важности его призванія, какъ ясное сознаніе того, что обоснованіе геометріи представляетъ почти непреодолимо трудную задачу, надъ рѣшеніемъ которой онъ долженъ биться всю свою жизнь, стараясь постоянно согласовать требованія строгой логики съ еще только развивающейся способностью пониманія у ученика, научную строгость съ наивнымъ возрѣніемъ... Вторая книга даетъ плоскую и сферическую тригонометрію... Въ третьей книгѣ, отведенной аналитической геометріи и стереометріи, содержитсяъ ученіе о коническихъ сѣченіяхъ съ аналитической стороны“.

Къ русскому изданію. Эта книга не содержитъ систематическаго изложенія элементарной геометріи, какое мы встрѣчаемъ въ обыкновенныхъ учебникахъ геометріи. Авторы старались въ возможно ясномъ и доступномъ изложеніи освѣтитъ тѣ идеи, которыя лежатъ въ основѣ элементарной геометріи. Ученіе объ основаніяхъ геометріи, какъ вопросъ, стоящій на рубежѣ между геометріей и философіей, всегда сосредоточивало на себѣ вниманіе всѣхъ выдающихся геометровъ. Въ послѣднія же 25 лѣтъ этому отдѣлу знанія былъ посвященъ рядъ глубокихъ изслѣдованій, пролившихъ яркій свѣтъ на вопросы о синтетическомъ построеніи геометріи.

Читатель найдетъ въ этой книгѣ обстоятельное изложеніе всѣхъ этихъ изслѣдованій. Но и фактической части удѣлено здѣсь достаточно мѣста. Къ этому присоединяется краткое, но строго-научное изложеніе основъ проективной геометріи, система прямолинейной и сферической тригонометріи, и полигонометріи, и наконецъ, мастерски изложенный очеркъ аналитической геометріи.

Изложеніе отличается доступностью и часто значительно легче первой части энциклопедіи.

СУНДАРА РОУ.

Геометрическія упражненія въ куекомъ бумаги.

Съ 87 рисунками. Пер. съ англійскаго.

Изъ введенія автора. „На мысль о составленіи этой книги меня навело упражненіе № 8 Фребелевскаго дѣтскаго сада—складываніе бумаги... Эти упражненія не требуютъ чертежныхъ инструментовъ и единственное, что нужно, это—перочинный ножъ и куски бумаги... Я не пытался писать полное руководство или учебникъ геометріи, а пытался лишь показать, какъ можно получать складываніемъ бумаги правильныя многоугольники, круги и другія кривыя... Я старался не только помочь изученію геометріи въ школахъ, но и дать математическое разъясненіе малому и старому, въ привлекательной и доступной формѣ...“

СОДЕРЖАНІЕ: Введеніе—Квадратъ—Равносторонній треугольникъ—Ква-

драты и прямоугольники — Пятиугольник — Шестиугольник — Восмиугольник —
Десятиугольник — Десяти и двѣнадцатиугольник — Пятнадцатиугольник — Ряды —
Многоугольники — Общія начала — Коническія сѣченія — Смысленныя кривыя.

ТОМПСОНЪ, Сильванусъ.

ПРОИЗВОДСТВО СВѢТА.

Общедоступная лекція, прочитанная на собраніи Британской Ассоціаціи для
Преуслѣваній Наукъ.

Съ 28 рисунками. Переводъ съ англійскаго.

Общепонятное изложеніе современнаго состоянія вопроса объ искусственомъ освѣщеніи, видовъ на дальѣйшее развитіе его, стоимость и пр.

СОДЕРЖАНІЕ: Первобытныя источники свѣта — Изобрѣтеніе газоваго освѣщенія — Изобрѣтеніе электрическаго освѣщенія — Накаленность вообще — Накаленность твердыхъ частицъ — Накаленность отъ электричества — Свѣченіе — Свѣтовая полезность — Фотометрія — Фотометръ — Неравномѣрность распредѣленія свѣта различными источниками — Неоднородность свѣта — Чему учить спектръ — Спектры раскаленныхъ твердыхъ тѣлъ и паровъ — Чувствительность глаза къ лучамъ разныхъ цвѣтовъ — Поглощеніе и испусканіе — Измѣреніе лучеиспусканія — Неэкономичность обычныхъ источниковъ свѣта — Свѣтъ свѣтляка — Температура и качество излученія — Испускательная способность рѣдкихъ земель — Газокалильное освѣщеніе — Изслѣдованія Рубенса — Газокалильное освѣщеніе высокаго давления — Свѣтовая полезность лампъ накалыванія. Новые виды яампъ накалыванія — Новая дуговая лампа — Магнетровая дуговая лампа — Электрическая лампа съ ртутными парами — Сравненіе электрическихъ лампъ — Стоимость производства свѣта — Самое дешевое освѣщеніе — Вудущій прогрессъ — Радиевая лампа — Солнечный свѣтъ въ концѣ концовъ.

Проф. А. АДЛЕРЪ.

Теорія геометрическихъ построеній.

Пер. съ нѣмецк. подъ ред. прив.-доц. С. О. Шагуновскаго.

СОДЕРЖАНІЕ. Введеніе. Историческій обзоръ. — I. Методы рѣшенія геометрическихъ задачъ на построеніе. — II. Построенія, выполняемая съ помощью проведенія однихъ лишь прямыхъ линий при пользованіи данными фигурами. (Штейнеровскія построенія). — III. Построенія, выполняемая съ помощью описыванія окружностей. (Маскеронины построенія). — IV. Построенія съ помощью линейки о двухъ параллельныхъ краяхъ (двѣ параллельныя прямыя на постоянномъ разстояніи); построенія съ помощью подвижнаго прямого угла; построенія съ помощью произвольнаго подвижнаго угла; построенія съ помощью линейки и единицы длины; построенія съ помощью биссектора. — V. Задачи на построеніе первой и второй степени. — VI. Доказательство невозможности. — VII. Дѣленіе окружности. (Построеніе правильныхъ многоугольниковъ). — VIII. Геометрическая построенія третьей и четвертой степени. — IX. Историческія замѣчанія относительно квадратуры круга; приближенное выпрямленіе окружности; правила для возможно болѣе точнаго построенія. — X. Геометрографія.

Изъ предисловія автора. „Появленіе настоящей книги вызвано желаніемъ представить въ связанномъ изложеніи и съ нѣкоторой полнотой интересныя и особенно увлекательныя для начинающаго методы и теорія рѣшенія геометрическихъ задачъ на построеніе. Прп этомъ не предполагается никакихъ болѣе или менѣе подробныхъ свѣдѣній изъ высшей математики; всѣ необходимыя вспомогательныя теоремы будутъ приведены; доказательство ихъ, впрочемъ, часто будетъ лишь намѣчатся, такъ что свѣдущій читатель не утомится, а начинающій будетъ побуждаемъ доказать эти простыя предложенія.

Для того, чтобы книга удовлетворяла своему назначенію — быть учебникомъ, она снабжена многочисленными задачами для упражненія, рѣшеніе которыхъ по болѣе части вкратцѣ указывается. Часть учебнаго матеріала разбита по задачамъ, такъ что читатель, несмотря на умѣренный объемъ книги, будетъ освѣдомленъ во всѣхъ чисто геометрическихъ вопросахъ, относящихся къ геометрическимъ построеніямъ“.

Вѣстникъ Опытной Физики и Элементарной Математики

выходить 24 раза въ годъ отдѣльными выпусками не менѣе 24-хъ * подъ редакціей приватъ-доцента В. Ф. Кагана.
стр. каждый

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА: Оригинальныя и переводныя статьи изъ области физики и элементарной математики. Статьи, посвященныя вопросамъ преподаванія математики и физики. Опыты и приборы. Научная хроника. Разныя извѣстія. Математическія мелочи. Темы для сотрудниковъ. Задачи для рѣшенія. Рѣшенія предложенныхъ задачъ съ фамплиями рѣшившихъ. Упражненія для учениковъ. Задачи на премію. Библиографическій отдѣлъ: обзоръ спеціальныхъ журналовъ; замѣтки о новыхъ книгахъ.

Статьи составляются настолько популярно, насколько это возможно безъ ущерба для научной стороны дѣла.

Предыдущіе семестры были рекомендованы: Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. для гимн. муж. и жен., реальн. уч., прогимн., город. уч., учит. инст. и семинарій; Главн. Управл. Воен.-Учебн. Зав.—для воен.-уч. заведеній; Уч. Ком. при Св. Синодѣ для дух. семина. и училищъ.

Пробный номеръ высыдается БЕЗПЛАТНО по первому требованію.

Важнѣйшія статьи, помѣщенныя въ 1907 г.

Проф. Мультона. Эволюція солнечной системы.—Н. Агрономовъ. Задача Мальфатти.—Прив.-доц. В. Каганъ. Ученіе о непрерывности.—Проф. В. Оствальдъ. Къ современной энергетикѣ.—Проф. Рамзай. Эманация радіи.—Прив.-доц. В. Каганъ. Задача объ измѣреніи.—Проф. В. Оствальдъ. Преобразованіе элементовъ.—Жизнь и дѣятельность Леонарда Эйлера.—Проф. Дж. Кастельнуово. Дидактическое значеніе математики и физики.—Г. Андро. Къ системѣ Коперника.—А. Кириловъ. Къ геометріи треугольника.—Проф. А. Клоссовскій. Температура и давленіе въ болѣе высокихъ слояхъ атмосферы.—Проф. А. Риги. Атомныя измѣненія въ родіактивныхъ тѣлахъ.—Проф. Г. Гейбергъ. Новое сочиненіе Архимеда.—Д. Ефремовъ. О четырехугольникахъ.—Лордъ Кельвинъ.—Проф. А. Риги. Объ электрической природѣ матеріи.—А. Турчанinovъ. Къ великой теоремѣ Фермата.—Проф. Фёплъ. Задача о падающей кошкѣ.—Проф. О. Леманъ. Жидкіе кристаллы и теорія жизни.—Проф. Пеши. Задача изъ теорій соединеній, поставленная лордомъ Кельвиномъ.

УСЛОВІЯ ПОДПИСКИ:

Подписная цѣна съ пересылкой за годъ 6 руб., за полгода 3 руб. Учителя и учительницы низшихъ училищъ и всѣ учащіеся, выписывающіе журналъ непосредственно изъ конторы редакціи, платятъ за годъ 4 руб., за полугодіе 2 руб. Допускается разсрочка подписной платы по соглашенію съ конторой редакціи.

Отдѣльные номера текущаго семестра по 30 к., прошлыхъ семест. по 25 к.

Адресъ для корресп.: Одесса. Въ редакцію „Вѣстника Опытной Физики“.