Академик П. П. Лазарев.

Э. Вагнер

Физические основания

ПРИНЦИПА ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

„СЕВЕРНЫЕ ДНИ“
Москва
1922

Р. В. Ц. № 1555. Печ. 3000 экз.

Типография Т-ва „Книгоиздательство Писателей в Москве"
Москва у Троицких ворот. д, 1|16.

НОВАЯ МЕХАНИКА

А. Пуанкаре.

Из серии 6 лекций по анализу, математической физике, астрономии и математической философии, читанных с 22 по 28 апреля 1909 г. в Гёттингене.

Сегодня я принужден говорить по французски и я прошу мне это извинить. Правда на моих предыдущих лекциях я говорил, по немецки, на очень дурном немецком языке. Вы ведь согласитесь, что говорить на иностранных языхах, это все равно, что ходить, когда являешься хромым; необходимо иметь для ходьбы костыли; моими костылями до сих пор были математеческие формулы и вы не можете себе представить, какую помощь они могут оказать оратору, который не чувствует себя вполне твердым в языке. Сегодня я не хочу пользоваться формулами, я оказываюсь таким образом без костылей и поэтому я принужден буду говорить по французски.

Вы знаете, что в этом мире нет ничего окончательного, нет ничего неизменяемого. Наиболее могущественные, наиболее прочные империи не вечны. Эту тему наиболее часто развивают духовные ораторы. Научные теории, подобно империям, не обезпечены в своем существовании на завтрашний день. Если одна из теорий, как казалось, была защищена от превратностей времени, то это без сомнения была ньютоновская механика: она представлялась непоколебимым монументом: и вот в настоящее время, если нельзя еще сказать, что монумент повержен на землю, - это было бы еще преждевременным,—то во всяком случае он сильно поколеблен. Он подвергнут натиску со стороны двух разрушителей: один находится среди Вас — это Макс Абрагам, [1]) и другой — один голландский физик Лорентц. Я хотел бы сообщить Вам в нескольких словах о развалинах старого здания и о новой постройке, которую предположено возвести на месте старого здания.

Прежде всего можно задать вопрос, что характеризует старую механику.

Старую механику характеризует следующий простой факт: я рассматриваю тело, находящееся в покое, и сообщаю ему импульс, то есть я заставляю на него действовать в течение определенного промежутка времени данную силу, тело приходит в движение, приобретает некоторую скорость; когда эта скорость достигну-

[1]) В то время приват доцент в Геттингене, ныне профессор в Милане. (Ред.).

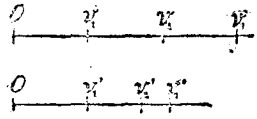
та, заставим действовать еще раз ту же силу в течение того же самого времени, скорость удвоится; если мы будем продолжать опыт дальше, то скорость утроится, после того, как мы дадим телу третий одинаковый импульс.

Если мы будем производить подобное действие достаточное число раз, тело в конце концов приобретет весьма большую скорость, которая может превзойти всякий предел, тело может получить безконечную скорость.

В новой механике, наоборот, доказывается, что невозможно сообщить телу, переходящему из покоя в движение скорость—большую скорости света. Что же при этом происходит? Я буду рассматривать то же тело в состоянии покоя; я даю ему первый импульс той же величины, как в предыдущем случае, тело получить ту же скорость; дадим второй раз ему тот же импульс, скорость еще увеличится, но она не удвоится; третий импульс произведет подобное же действие, скорость будет увеличиваться, но она будет возрастать все менее и менее, так что тело противопоставляет действию силы все большее и большее сопротивление. Это сопротивление изменению движения есть инерция, которую обычно называют массой тела. Таким образом в этой новой механике все происходит так, как будто масса тела не остается постоянной, но растет со скоростью.

Мы можем представить графически описанные явления: в старой механике тело получает, после первого импульса скорость, изобра-

жаемую отрезками Ov_1, (См. фиг. 1); после второго импульса скорость Ov_2 увеличивается на отрезок v_1v_2, который равен отрезку Ov_1, и при каждом дальнейшем импульсе, скорость увеличивается все время на ту же величину, так что отрезок, который изображает скорость, увеличивается все время на постоян-



ную величину; в новой механике отрезок, изображающий скорость, увеличивается на величины $v'_1v'_2$, $v'_2v'_3$, которые делаются все более и более малыми, так что мы не можем превзойти некоторой предельной скорости, именно скорости света.

Как же пришли к подобным заключениям. Были ли сделаны прямые опыты? Различия в массе могут сказаться только у тел, обладающих большими скоростями; только в этом случае указанные различия могут быть обнаружены опытом. Но, что нужно считать большой скоростью? Можно ли считать, что большой скоростью обладает автомобиль, делающий 100 километров в час; если автомобиль мчится с такой скоростью по улице, этим можно восхищаться; но с нашей точки зрения эта скорость

все же мала, это скорость улитки. Астрономия нам может доставить большие скорости: Меркурий самая скорая из планет пробегает по орбите около 100 киллометров, но не в час, а в секунду: и этой скорости, однако, не достаточно, такие скорости слишком незначительны, чтобы позволить обнаружить различия, которые мы предполагаем наблюдать. Я не буду говорить о полете наших пушечных снарядов; они обладают большей скоростью, чем автомобили, но они гораздо более медленны, чем Меркурий. Вы знаете, однако, что недавно была открыта артиллерия, ядра которой имеют скорость значительно большую, чем указанные выше скорости. Я подразумеваю радий, который посылает во все стороны энергию, посылает снаряды; быстрота полета этих снарядов гораздо значительнее, начальная скорость их около 100.000 километров в секунду, то есть она равна трети скорости света; правда калибр этих снарядов и их вес весьма незначительны и мы не можем расчитывать на эту артиллерию, если мы желаем увеличить боевую силу наших армий.

Является вопрос, можно ли экспериментировать с этими ядрами? Были сделаны попытки осуществить подобные опыты; под влиянием электрического поля и поля магнитного происходит отклонение вылетающей из радия частицы, причем эти отклонения позволяют заключить об инерции частицы и измерить ее массу. Таким путем можно было установить, что масса зависит от скорости и доказать закон, что

инерция тела растет со скоростью его движения, которая остается всегда меньше скорости света, равной 300.000 километров в секунду.

Я перехожу теперь ко второму принципу, принципу относительности. Я предполагаю, что наблюдатель перемещается с постоянной скоростью вправо; все происходит для него так, как будто бы он был в покое и окружающие его предметы перемещаются влево: нет никакого средства узнать перемещаются ли на самом деле предметы и является неподвижным наблюдатель или он находится в движении. Во всех курсах механики доказывается, что пассажир, находясь на пароходе, движущимся прямолинейно и равномерно, может думать, что он видит перемещение борегов реки, в то время, как он на самом деле безшумно увлекается движением судна.

При более близком рассмотрении это простое обстоятельство получает огромное значение; нет никакого средства разрешить вопрос об абсолютном движении, нет ни одного опыта, который мог бы показать ложность принципа, что нет абсолютного пространства, все перемещения, которые мы можем наблюдать, суть относительные перемещения. Эти соображения хорошо известны философам, я уже имел случай однажды их высказать: я даже получил в этом отношении известность, о которой я с удовольствием могу упомянуть: все реакционные французские журналы утверждали, что я доказываю, что солнце движется вокруг земли, что в знамени-

том процессе между Инквизицией и Галилеем, Галилей был совершенно неправ.

Возвратимся к старой механике: она допускала принцип относительности; законы механики вместо того, чтобы быть основанными на опытах, могли быть прямо выведены из этого основного принципа. Приведенные соображения были достаточны для чисто механических явлений, но этого было мало для некоторых важных отделов физики, например, для оптики. Как абсолютную величину в оптике можно рассматривать скорость света по отношению к эфиру.

Эта скорость могла быть измерена; таким образом теоретически имелась возможность сравнить перемещение движущегося тела с абсолютным перемещением, являлось средсто решить вопрос, находится ли тело в абсолютном движении или нет.

Наиболее тонкие опыты, крайне точные приборы, которых я не могу описывать Вам, позволили практически осуществить подобное сравнение движения тела: результат был нуль. Принцип относительности не допускает никаких ограничений в новой механике, он имеет, если можно так выразиться, абсолютное значение.

Чтобы понять роль, которую играет принцип относительности в новой механике, мы прежде всего должны сказать несколько слов о местном, относительном времени, весьма остроумно введенном физиком Лорентцом.

Мы предположим, что имеются два наблю-

дателя—один *A* находится в Париже и другой *B* в Берлине.

A и *B* имеют тождественные хронометры и желают их сравнить; при этом оба наблюдателя могут производить измерения так точно, как никогда еще не производились до сих пор; они желают сделать сравнение времени, показываемого хронометрами с чрезвычайной точностью: пусть точность будет, например, не секунды, но миллиардная доля секунды. Как они могут это сделать? *A* посылает из Парижа в Берлин сигнал, и, если хотите быть совершенно современными, он посылает сигнал по беспроволочному телеграфу.

B отмечает момент получения сигнала и это явится для обоих хронометров началом времени. Но сигнал затрачивает определенное время, чтобы из Парижа попасть в Берлин, он распространяется со скоростью света; часы *B* будут отставать, но *B* слишком образованный человек, чтобы не считаться с этим, он тотчас поправляет эту неточность. Дело на первый взгляд очень просто: изменяют направление движения сигналов; *A* получает сигнал и *B* его отправляет, берут среднее из полученных таким образом данных и находят точное время. Но верно ли все это. Мы предполагаем, что на прохожение от *A* до *B* сигнал употребляет то же время, как и для прохождения от *B* к *A*. Но *A* и *B* увлекаются при своем движении землей по отношению к эфиру, носителю электрической волны. Когда *A* посылает свой сигнал, этот последний

бежит перед наблюдателем, B удаляется от сигнала и время пробега сигнала будет больше, чем, если бы наблюдатели были в покое; если наоборот B посылает и A принимает, то время более коротко, так как A движется навстречу сигналу; для наблюдателей совершенно невозможно знать, показывают ли хронометры одно и то же время или нет.

Каков бы ни был примененный метод, затруднения остаются теми же самыми, наблюдение астрономического явления, любой оптический метод встречают те же трудности, наблюдатель может знать только кажущуюся разность своего времени и другого наблюдателя, своего рода местное время.

Принцип относительности приложим в этом случае вполне. Исходя из механического принципа относительности, в старой механике мы выводим все основные законы. Можно ли в настоящее время воспроизвести классические доказательства и рассуждать следующим образом. Пусть еще раз возьмем двух наблюдателей и назовем их A и B, как обычно называют наблюдателей в математике; предположим, что наблюдатели двигаются, удалясь друг от друга; ни один из них не может двигаться со скоростью большей скорости света: пусть A имеет скорость 200.000 километров в секунду направо и B 200.000 километров налево.

A может считать себя находящимся в покое и относительная скорость B будет для него 400.000 километров в секунду. Если A знает

новую механику, он скажет: B имеет по отношению ко мне скорость, которую он на самом деле не может получить, следовательно не только B движется, но и я нахожусь в движении. Может казаться, что A мог бы решить вопрос о своем абсолютном положении в пространстве. Но для этого было бы необходимо, чтобы он мог наблюдать движение B и свое собственное движение.

Чтобы сделать подобные наблюдения A и B начинают сравнивать свои часы, потом B посылает телеграммы A для того, чтобы сообщить ему о своих последовательных положениях; сопостовляя их, A может получить представление о движении B и может начертить кривую его движения. Но сигналы распространяются со скоростью света; часы, которые показывают кажущееся время, изменяют ход в каждый момент и все происходит так, как будто часы B идут медленнее. B будет думать, что он передвигается менее скоро и кажущаяся скорость, которую он будет иметь по отношению к A не превзойдет предела, которого не может достичь скорость движения тела.

Ничто не может показать A, находится ли он в движении или в абсолютном покое.

Необходимо далее сделать третью гипотезу, еще более поразительную, еще более трудно приемлемую, которая значительно осложняет наши обычные представления.

Тело находящееся в движении испытывает деформацию в том направлении, в котором те-

ло перемещается: шар, например, превращается в сплюснутый эллипс, малая ось которого параллельна перемещению. Если нельзя постоянно наблюдать подобных превращений, то это происходит вследствие малости их, которая делает подобные превращения почти неоткрываемыми.

Земля, увлекаемая в своем движении по орбите деформируется приблизительно на величину $\frac{1}{200\,000.000}$ своего радиуса: чтобы наблюдать подобное явление следовало бы иметь измерительные инструменты, обладающие поразительной точностью но в нашем случае, если бы даже наблюдатель имел приборы безконечной точности, он не получил бы существенных результатов, так как инструменты, увлеченные движением, испытали бы тоже самое изменение. Нельзя было бы в этом случае наблюдать ничего; метр, который был бы применен для измерения, сделался бы более коротким в том же отношении как и измеряемая величина. Можно было узнать в этом отношении что либо положительное, только сравнивая длину одного из движущихся тел со скоростью света. В этом и состоят тонкие опыты, осуществленные Майкельсоном, детали которых я не буду Вам излагать; они дали поразительные результаты; как бы это странно не казалось нам, но необходимо считать, что третья гипотеза совершенно подтвердилась.

Таковы основы новой механики. Мы видим, что

что опираясь на вышеприведенные гипотезы она находится в полном согласии с принципом относительности.

Нам остается только связать эту новую механику с новым представлением о материи.

Для современного физика, атом не представляет собой простого неразделимого тела; он сделался по истине миром, в котором ряд планет вращается вокруг мельчайших центральных светил. Солнце и планеты здесь представляют собою отрицательно и положительно наэлектризованные частицы [1]); физик назывет их элетронами и строит из них весь мир. Некоторые представляют себе нейтральный атом, как центральную положительную массу, вокруг которой вращается большое число заряженных отрицательно электронов, общий электрический заряд которых равен по величине заряду центрального ядра. Это представление о материи позволяет точно объяснить изменение массы тела со скоростью, как это доказывается новой механикой.

Так как любое тело представляет собрание электронов [2]), нам достаточно доказать изменение массы только дло электронов. Заметим, что отдельный электрон, перемещающийся в эфире, создает электрический ток, то есть электрома-

---

[1]) Более подробные данные можно найти в небольшой книге П. П. Лазарев „Строение вещества" Изд. Т-ва „Мир", Москва 1922 г. и в печатающейся в настоящее время книге П. П. Лазарев „Современное учение о строении вещества в связи с развитием атомистики. (Ред.).

[2]) И положительных ядер. (Ред.).

гнитное поле. Это поле соответствует определенному количеству энергии, локализованной не в электроне, но в эфире. Изменение в величине и направлении скорости движения электрона изменяет поле и сказывается изменением электромагнитной энергии эфира. В то время, как в ньютоновской механике количество энергии движущегося тела зависит от инерции тела, находящегося в движении, здесь энергия зависит от того, что называют инерцией эфира по отношению к электромагнитным силам. Инерция эфира увеличивается со скоростью и ее предел делается безконечным, когда скорость стремится к скорости света. Кажущаяся масса электрона увеличивается со скоростью; опыты Кауфмана показывают, что действительная масса, составляющая электрон, ничтожно мала по отношению к кажущейся массе и может быть рассматриваема как нуль.

При этом новом представлении постоянная масса материи исчезла. Только эфир, но никак не материя, является инертным. Только эфир обнаруживает сопротивление движению так, что можно даже сказать: нет материи—имеются пустоты в эфире. Для стационарных и квази-стационарных движений [1]) новая механика не отличается—в пределах точности наших наблюдений—от ньютоновской механики, с тем только различием, что масса не остается независимой от скорости, и от угла, который делает

[1]) То есть для движений с постоянной скоростью или со скоростью мало меняющейся со временем. (Ред.).

эта скорость с направлением ускоряющей силы. Если наоборот скорость получает значительное ускорение, например, в случае частых колебаний, имеется возникновение герцевских волн, представляющих потерю энергии, вызывающей затухание движения. Таким образом в безпроволочном телеграфе испускаемые волны обязаны своим происхождением колебаниям электронов при колебательном разряде.

Подобные же колебания имеют место в пламени и также в накаленном твердом теле. По Лорентцу внутри накаленного тела движется значительное количество электронов, которые, не будучи в состоянии выйти из него, летят во все стороны и отражаются у поверхности тела.

Их можно сравнить с роем мошек, заключенных в сосуде и ударяющих своими крыльями в стенки своей тюрьмы. Если температура делается выше, то движение электронов делается все быстрей и быстрей, все более, и более многочисленными становятся взаимные столкновения электронов и отражения их от стенки. При каждом соударении и при каждом отражении испускается электромагнитная волна, и восприятие этих волн делает видимым для нас лучеиспускающее тело.

Движение электронов становится почти осязаемым в трубке Крукса; в ней происходит настоящая бомбардировка электронов, вылетающих из катода. Эти катодные лучи ударяются с большой силой об антикатод, частично он него отражаются, давая при этом начало электро-

магнитному излучению, которое ряд физиков отожествляет с лучами Рентгена.

Нам остается рассмотреть отношения новой механики к астрономии. Если уничтожается понятие о постоянной массе тела, что же сделается в этом случае с законом Ньютона? Закон этот может существовать только для тел, находящихся в покое. Кроме того, приходится считаться с фактом, что притяжение не распространяется мгновенно. Можно совершенно основательно спросить себя, не осложнит ли новая маханика астрономии, не дав в то же время большего приближения, чем нам дает классическая небесная механика. Лоренц подошел и к этому вопросу. Исходя из закона Ньютона, предполагаемого верным для двух наэлектризованных тел в покое, он вычисляет электродинамическое действие токов, представляемых этими телами, когда они движутся; он получает, таким образом, новый закон притяжения, содержащий скорости двух тел как параметры. Прежде, чем рассматривать, как этот закон прилагается к астрономическим явлениям, заметим еще, что ускорение небесных тел имеет следствием электромагнитное излучение, так что рассеяние энергии сказывается при этом уменьшением скорости движения. В конце концов планеты упадут на солнце. Но эта перспектива не должна нас пугать, так как катастрофа может случиться только через миллионы миллиардов веков. Возвращаясь снова к закону притяжения, мы видим, что различие двух ме-

ханик будет тем больше, чем скорость планет будет больше. Если имеется определенная разница в этом отношении, то для Меркурия она должна быть наибольшей, так как Меркурий имеет из всех планет самую большую скорость. Как раз именно Меркурий представляет еще не объясненую аномалию: движение его перигилия более быстро, чем движение, вычисленное по классической теории. [1])

Разница составляет около 38″ в столетие: Леверрье приписал эту аномалию еще не открытой планете, и один астроном любитель думал, что он наблюдал прохождение этой планеты через диск солнца. С этих пор, однако, никто не видел ее еще раз и к сожалению весьма вероятно, что эта замеченная планета была птицей. Новая механика позволяет хорошо предсказать знак отклонения, относящегося к Меркурию, но она оставляет, однако, разницу в 32″ между теорией и наблюдением, которая пока еще не объяснена вполне. Новая механика не в состоянии вполне установить согласие теории движение Меркурия с наблюдениями. Если этот результат не является окончательно благоприятным для новой механики, он однако не является безусловно для нее неблагоприятным, так как поправка, вносимая в классическую теорию по своему знаку правильна. Теория остальных планет не изменяется существенно

---

[1]) Объяснение термина „движение перигелия“ читатель найдет на стр. 53 в статье П. П. Лазарева, помещенной ниже. (Ред.).

при новой теории и результаты ее совпадают в пределах погрешностей изменений с результатами классической теории.

В заключение нужно отметить, что несмотря на большое значение аргументов и фактов, выставленных против классической механики, еще преждевременно, как я думаю, рассматривать ее как окончательно погребенную. Как бы то ни было, эта механика остается механикой скоростей, малых по сравнению со скоростью света, остается, таким образом, механикой нашей практической жизни и нашей земной техники. Если тем не менее через несколько лет ее соперница новая механика восторжествует, я все же позволил бы себе указать на педагогический соблазн, которого не могут избежать многие преподователи, по крайней мере во Франции. Обучая элементарной механике своих учеников, эти преподователи не находят ничего лучшего, как указывать им, что эта механика уже сделала свое дело, что ее заменяет новая механика, где понятия массы и времени имеют другой смысл; они рассматривают свысока эту старую механику, преподавать которую их заставляют программы и внушают своим ученикам к ней презрение, которое они и сами чувствуют.

Я однако думаю, что эта презираемая классическая механика будет и в будущем также полезна нам как и теперь, и тот, кто ее не будет знать основательно, не будет в состоянии понять и новой механики.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ПРИНЦИПА ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.

П. П. Лазарев.

(Лекция, прочитаная для Комиссии по улучшению быта ученых врачей).

В последние годы в западно-европейской литературе как чисто научной, так и научно популярной все более и более выдвигается в качестве нового всебъемлющего принципа физики—принцип относительности Эйнштейна. Интерес к нему в европейских странах так велик, что не только специальные физические и философские журналы отводят значительное место обсуждению его, не только появляются в огромном количестве популярные книги, брошюры, но и общая газетная пресса, часто отражающая события в научном мире, помещает статьи как за, так и против принципа. Интерес читающей публики к этому принципу так велик, что небольшой обзор его был помещен даже в специальном медицинском еженедельнике. (Münchener Medizin. Wochenschrift № 44). стр. 1268,—1920 г.

Из этого обзора, написанного выдающимся немецким теоретиком Зоммерфельдом, мы заимствуем несколько цитат, чтобы выяснить лучше то положение, которое занимает вопрос о принципе и те причины, которые вызывают такой живой интерес к нему среди читающей публики.

„Еще никогда в истории науки“, пишет Зоммерфельд: „научное открытие не обсуждалось широкими кругами так, как это имеет место с принципом относительности Эйнштейна. Прежде всего является вопрос, лежит ли причина интереса, вызываемого теорией, в потребностях ума нашего больного времени, или эта причина заключается в необходимости отвлечься от ужасающей действительности, переходя в область отвлеченной науки, законы которой не могут диктоваться грубым произволом. Несомненно, мы имеем перед собою факт, что до осени 1919 года только специалисты физико-математических наук занимались принципом относительности и, что с этого времени принцип относительности начинает подвергаться обсуждении сначала в английских, а затем и в немецких газетах. До 1919 года теория относительности тщательно изучается на специальных курсах: в Мюнхене, например, с 1909 года почти ежегодно читались курсы, посвященные принципу. С 1919 года принцип относительности преподносится широкой публике как призванными для этого специалистами, так и непризванными, при этом самый принцип или превозносится или смешивается с политической грязью вместе с выда-

ющимся автором принципа, (как это было в известных берлинских собраниях). На наугеймском съезде естествоиспытателей и врачей, после того как председатель Ф. фон Мюллер в своей вводной речи жестоко порицал демагогический подход к принципу относительности в берлинских собраниях, удалось с большим трудом удержать дискуссии по принципу относительности на должной научной высоте".

Переходя далее к характеристике значения принципа, Зоммерфельд отмечает, что: „в противоположность широко распространенному взгляду—влияние принципа относительности на реальное изучение природы весьма ограниченное...

Его действительное значение, в противуположность теории квантов (теории атомов энергии), гораздо менее заметное, почти скрытое и все же идейное значение принципа и субъективные заслуги Эйнштейна чрезвычайно велики".

Мы видим из этих слов Зоммерфельда, что от принципа относительности мы не можем ждать тех изумительных экспериментальных последствий, которые дала современная атомная теория, доказав в опытах Рутерфорда распадение атамов простых тел и разрешив загадку о строении материи. Значение принципа лежит, главным образом, в установлении безукоризненной во всех деталях системы теории физических явлений, значение, которое придает принципу относительности большой интерес с точки зрения теории познания. В настоящей статье

мы попытаемся дать те опытные физические основания, которые привели к принципу относительности и, указав его простейшую формулировку, мы покажем к каким следствиям она приводит. Отметим здесь, что трудность понимания принципа относительности для широкой публики заключается по преимуществу в том, что почти невозможно абсолютно без математики дать те выводы, к которым приводит принцип. Мы дадим результаты некоторых из этих выводов и постараемся удовлетворить тех читателей, которые, не владея математикой, пожелали бы в общих чертах ознакомиться с принципом.

ГЛАВА I

Специальный принцип относительности

Если мы станем рассматривать старую классическую механику, то мы, пересмотрев законы, на которых базируются все выводы ее, найдем, что для всех явлений в материи все законы природы будут независимы от того, находится ли тело с наблюдателем, изучающим физические процессы, в покое или оно движется равномерно по прямой линии.

Если, например, наблюдатель будет находиться в равномерно движущемся пароходе, то все движения, брошенных наблюдателем, тел по отношению к подвижной палубе парохода будут

происходить так, как будто бы пароход находится в покое.

В этом и состоит принцип относительности старой классической механики, принцип относительности Галилея и Ньютона.

Пока дело идет только о материальных телах и их движении, не возбуждается никаких вопросов и принцип относительности удовлетворяется вполне.

При изучении световых явлений были высказаны две различные точки зрения. Ньютон предполагал, что световые лучи получаются от того, что светящееся тело испускает из себя мельчайшие частички, летящие по всем направлениям по прямой линии. Испускание света по теории Ньютона сводилось, таким образом, к чисто механическому процессу и отсюда прямо следовало, что если бы наблюдатель находился на движущемся равномерно и прямолинейно теле, и помимо механических процессов имел бы возможность наблюдать и световые явления, он все же не был бы в состоянии открыть, находится ли тело, с которым он связан, в покое или оно равномерно и прямолинейно движется.

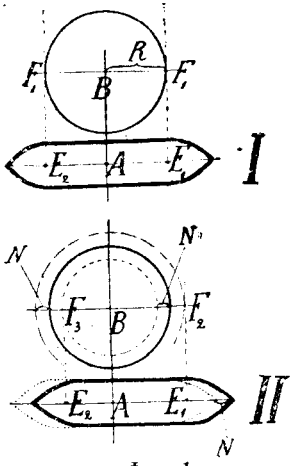
Другую точку зрения на процессы лучеиспускания высказал Гюйгенс, развивший теорию волнообразного распространения света, развитую далее трудами Юнга, Френеля и др. исследователей.

По этой теории свет является волнообразным процессом в особой мировой среде, назы-

ваемой эфиром и заполняющей все пространство, как занятое материей, так и лишенное ее (пустоту). В этой же среде, как показали дальнейшие работы Максвелла и Гертца, должны возникать элекрические и магнитные явления.

Таким образом на ряду с физикой весомой материи можно было с полным правом говорить о физике эфира, которому можно было, на основании опытов со светом электричеством и магнетизмом, приписать вполне определенные свойства.

Борьба двух воззрений на причину световых явлении окончилась в пользу теории волнений и тогда явился вопрос, нельзя ли воспользоваться световыми, электрическими и магнитными процессами для того, чтобы открыть равномерное, прямолинейное движение тела, находясь на нем.



Фиг. 1.

В самом деле, если бы эфир не был связан и увлекаем материей, находящейся в нем, то можно было бы представить себе эксперимент, при котором такое движение было бы можно обнаружить. Представим себе дирижабль, нахо дящийся в покое E_1AE_2 фиг. I(I) и вообразим, что в наружном воздухе, находящемся в покое произведен наблю-

ґателем, находящимся на дирижабле выстрел, дающий в воздух звуковые волны, аналогичные возникающим в эфире световым волнам. Тогда мы можем себе представить, что около точки B, где произведен в данный момент звук, возникает звуковая волна, изображенная кругом и, если бы наблюдатель с дирижаблем был в покое, то через определенный промежуток времени другой наблюдатель E_2 мог бы отметить прохождение волны через линию E_1F_1 перпендикулярную к борту дирижабля. Совершенно ясно, что третий наблюдатель E_2, находящийся от A на равном расстоянии по другую сторону от E, заметил бы в тот же момент прохождение волны через перпендикуляр E_2F_2.

Если тот же самый дирижабль двигался бы равномерно и воздух находился бы в покое, то после выстрела, произведенного в B, возникли бы в покоющемся воздухе такие же волны, как и в первом случае, причем пространство, на которое эти волны бы распространились за время t, было бы то же самое, как и в первом случае. (См. фиг. 1,II). Дирижабль за это время прошел бы пространство N и мы заметили, что за то же время до наблюдателя E_1 волна, изображенная непрерывном кругом, еще не дошла, а мимо наблюдателя E_2 эта волна уже прошла ранее. Таким образом наблюдатель E_2 заметил бы сигнал раньше, чем наблюдатель, находящийся в E_1, и таким образом можно было бы открыть абсолютное движение дирижабля по отношению к воздуху.

По отношению к эфиру можно бы было себе представить, что он или вполне увлекается материей, находящейся в движении (предположение Стокса) или наоборот остается в покое и материя движется сквозь покоющийся эфир (представление Френеля).

Так как скорость света чрезвычайно велика, она равна 300.000 километров в секунду, то ясно, что мы не можем пользоваться для опытов, имеющих целью решить вопрос об относительном движении земли и эфира, перемещением земных предметов.

Самые быстрые тела, на которых можно было бы производить наблюдения, достигают скорости в 100 километров в час, аэроплан может достигать правда больших скоростей, но и этой скорости, доходящей до сотен километров в час недостаточно для наблюдения явления. Эта скорость ничтожна по сравнению со скоростью света и поэтому единственным средством для наблюдения являются опыты при движении самой земли по орбите, отрезок которой за короткий промежуток времени может быть рассматриваем как прямолинейный. Эта скорость достигает уже довольно значительных величин именно около 30 километров в секунду и пользуясь землей, как местом наблюдения можно, казалось, в случае покоющегося эфира и движения земли по отношению к нему наблюдать эффекты того же рода, какие наблюдаются при движении дирижабля по отношению к воздуху; при этом при покое и при движении наблюда-

теля вместе с приборами эффекты должны бы были быть различными, причем эффект при движении должен был бы обладать определенной сторонностью. Если бы земля с ее воздушной оболочкой нацело увлекла бы эфир, находящийся около нее, другими словами материя целиком увлекла бы эфир, то все произошло бы так, как будто движения не существовало бы и различия между наблюдениями покоющегося и движущегося наблюдателя не имелось бы.

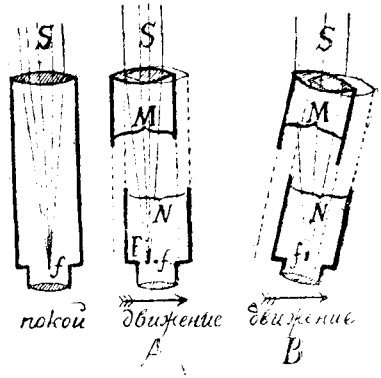
Так как при всех опытах этого рода земля является тем движущимся предметом, к которому мы относим наблюдения, то обычно называют опыты, произведенные на движущейся земле, опытами над „движением земли в эфире".

Какие же имеются данные, чтобы предполагать покоющийся или движущийся эфир.

Здесь имеются во первых опыты Физо, который показал, что если заставить свет распространяться в движущейся воде, то скорость распространения света увеличивается в зависимости от скорости движения воды. Лорентцу удалось доказать, что этот результат может быть строго выведен из теории покоющегося эфира. В то же время теория движущегося с материей эфира вполне противоречить опыту Физо.

Далее Лорентц обратил внимание на теорию аберрации света, которая состоит в том, что положение звезды на небе представляется нам различным, смотря по направлению и скорости движения земли. Мы можем понять явление, если мы представим себе трубу, направленную

на звезду, находящуюся в зените, на перпендикуляре к плоскости, касательной к месту, в котором находится наблюдатель. Лучи от звезды (См. фиг. 2) идут параллельно, вследствие ее



Фиг. 2.

большой удаленности от земли и если труба стоит вертикально и не перемещается в горизонтальном направлении, то лучи соединяются в точке f, выйдя из объектива.

Так как труба перемещается вместе с землею, и в то время как лучи вышли из объектива и попадают в эфир, находящийся внутри трубы, труба перемещается в направлении стрелки, (См. фиг. 2 (А), в то время как находящийся в трубе эфир остается по теории Лорентца в покое, то следовательно путь лучей остается при движении трубы такой же, как и при покое трубы и лучи соединяются в той же точке f, в какой они соединились бы, если бы земля в момент наблюдения была в покое.

Но труба за время прохождения лучей от объектива до места соединения лучей переместилась. Изображение звезды будет лежать уже не в центре поля зрения f, а сбоку его в F.

Чтобы изображение снова попало в центр трубы, нам нужно трубу наклонить, как это изображено на фиг. 2 (В), то есть объектив должен быть направлен по движению земли. Таким образом звезда должна будет казаться смещенной по направлению движения земли.

Через полгода в том же месте должно будет казаться, что звезда смещена в обратную сторону—в течение года звезда должна описывать на небе окружность. Можно сделать опыт, наполнив трубу водой, соответственно изменив преломляющую силу объектива, чтобы фокус лучей лежал бы опять в f.

Так как материя не увлекает за собой эфира по Лорентцу, то все должно остаться по прежнему и изменение от замены одной материальной среды другой не должно иметь значения.

Совершенно иное будет по теории Стокса, признающей увлечение эфира материей. В этом случае никакой разницы в положении звезд при покое и при движении трубы не будет наблюдаться.

Опыты, сделанные с большой точностью доказали, что теория Стокса противоречит опыту и теория покоющегося эфира Лорентца дает совершенно совпадающие с теорией числовые результаты, так что мы имеем второе подтвер-

ждение неподвижности эфира. Наконец, третий опыт относится к области электричества, именно к вопросу о магнитном действии движущихся электрических зарядов; Роуландом, Рентгеном и Эйхенвальдом весьма тщательно были проделаны эти опыты, которые в согласии со всеми остальными говорили против теории увлекаемого материей эфира Стокса и вполне согласовались с теорией неподвижного эфира Лорентца.

Таким образом все, казалось, обстоит благополучно и можно, казалось, удовлетвориться теорией, по которой материя находящаяся в движении не увлекает с собой эфира.

Тогда возник вопрос, нельзя ли наблюдать, каким либо образом прямо и непосредственно движение земли в эфире по крайней мере его направление.

Опытов в этом направлении было сделано весьма много и типом для этих опытов явился знаменитый опыт Майкельсона, повторенный им совместно с Морлеем. По экспериментальному расположению опыт этот представляется крайне сложным и мы не могли бы, не входя в весьма большие подробности о интерференции света, изложить даже схематически его, однако можно дать в самых общих чертах представление об этом опыте, если воспользоваться остроумной схемой, предложенной Эренфестом для иллюстрации этого опыта. Мы представим вместе с Эренфестом, что у нас имеется огромный шар, радиус которого пусть будет равен

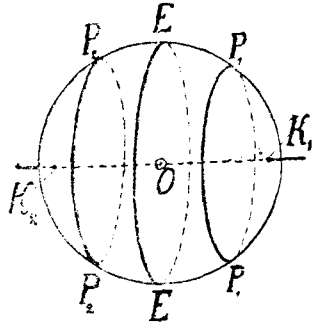
300.000 километров. Пусть шар изнутри представляет окрашенную в белый цвет поверхность и пусть в центре его находится сильный источник света, который можно на мгновение зажечь. Допустим, что рядом с источником размещен наблюдатель, который и производит все манипуляции, необходимые для опыта.

Представим себе, что шар и эфир находятся в покое и наблюдатель на мгновение зажигает источник. Что он будет набдюдать? Прежде всего возникает свет от зажигания источника, потом все погружается во мрак, и этот мрак продолжается 2 секунды, в течение которых свет успеет дойти до поверхности шара, осветить его и снова возвратиться к наблюдателю, давая ему представление о том, что произошло на поверхности. Через 2 секунды наблюдатель, следовательно, увидит, что поверхность шара равномерно осветилась.

Если бы шар при движении всецело увлекал с собой эфир, находящийся в нем, то понятно, что картина получалась бы та же: наблюдатель заметил, что через 2 секунды после вспышки, шар равномерно на мгновение осветился бы на своей внутренней поверхности.

Если бы при движении материи, эфир оставался в покое, как это допускают Френель и Лорентц, то картина получилась бы иная. Наблюдатель, находящийся в центре, после мгновенного зажигания источника, увидел бы не равномерное освещение внутренней поверхности, а освещение сначала окружности большого кру-

га E E, перпендикулярного к направлению движения, происходящего по K_1 K_2 (См. фиг. 3),



Фиг. 3.

после этого освещения перешло бы на 2 параллельные круга, находящиеся по обе стороны от экватора P_1 P_1 и P_2 P_2 и позже всего осветились бы два полюса K_1 и K_2.

Сделать опыт в такой форме, как мы его описали, разумеется нельзя, но, измеряя разницу во времени, необходимом для освещения некоторого предмета, помещенного параллельно движению (на экваторе) и по движению (на полюсе), можно при очень точных методах измерения сделать заметным разницы во временах освещения, если прибор имеет размеры только несколько дециметров.

Такой опыт был сделан Майкельсоном и Морлеем и показал, что никакой разницы во времени освещения полюса и экватора шара для наблюдателя, помещенного в центре, не существует. Другими словами в этом опыте полу-

чается такая картина, как будто эфир нацело увлекается материей. Опыты сделаны были с такой огромной точностью, что можно было наблюдать разницу времен значительно меньшую, чем та, которая ожидалась на самом деле и все же явления невозможно было констатировать.

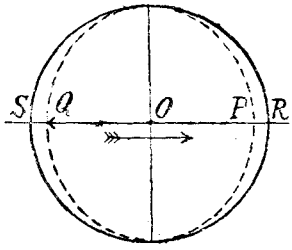
Таким образом образовалось противоречие между опытами над аберрацией света, опытом Физо с движущейся водой, опытами с движением заряженных тел, требующих неподвижного эфира, и опытом Майкельсона и Морлея, протекавшим так, как будто материя нацело увлекает эфир, как этого требовала теория Стокса.

Это основное противоречие заставило обратить на себя внимание выдающихся теоретиков, и Лорентц первый попытался объяснить явление в опыте Майкельсона и Морлея, исходя из неподвижного эфира. Объяснение Лорентца заключалось в следующем: при опыте мы наблюдали только расстояние OE и OK_1 (OK_2) и разницу во времени, между прохождением светом пути OE и OK_1 (или OK_2).

При этом, делая подсчеты, мы предполагали, что шар, находящийся в покое в эфире и при движении остается шаром тех же размеров, другими словами; что молекулярные силы, с которыми молекулы шара действуют друг на друга в покое, остаются теми же самыми силами и при движении.

Если мы допустим, что этого нет и, что шар сокращается по направлению движения, принимая сплющенную форму, изображенную на

фиг. 4 пунктиром, мы можем дать молекулярным силам такое изменение, чтобы сокращение как раз давало бы то, что нужно. В самом деле, при подсчетах движения шара в неподвижном эфире, мы получаем, что время необходимое для того, чтобы свет дошел до точки E экватора меньше, чем время необходимое для освещения полюсов K_1 и K_2.



Фиг. 4.

Ясно, что, если полярные расстояния мы подходящим образом сократим, мы можем получить время, необходимое для прохождения расстояний OE и OK_1 (OK_2) равными. Задача Лорентцом была, таким образом, решена вполне и „кризис учения о светоносном эфире“, как назвал этот вопрос Эренфест, был устранен.

После опытов Майкельсона и Морлея, огромное количество экспериментов было произведено для того, чтобы обнаружить иными методами возможность наблюдения движения земли в эфире, и среди ученых занимавшихся этим вопросом нужно назвать и Лебедева, описавшего один из опытов, который так же, как и другие обнаружил невозможность подобного наблюдения.

Все эти опыты вместе с опытом Майкельсона и Морлея показали, что получить ожидаемого по принятой теории результата не удается и опыт всегда приводил к тому, что равномерное прямолинейное движение для наблюда-

теля, находящегося на движущемся теле, неощутимо никакими приемами.

Для всех опытов можно всегда подыскать подходящее объяснение, исходя из молекулярных схем, предполагая молекулярные силы определенным образом измененным и в этом и состоит та великая надстройка, которую сделал над классической механикой Лорентц. Однако путь подсчетов и рассуждений, исходящих из молекулярных схем, весьма сложен, а между тем можно создать теорию явлений в материальном теле, не прибегая к молекулярным моделям. Мы поясним это обстоятельство наглядным примером.

Пусть мы имеем какой нибудь тепловой процесс. Мы можем попытаться выяснить законы процесса, дав точную картину молекулярных явлений в нем. Мы строим, таким образом, модель явления и удовлетворяемся в том случае, если модель ведет себя согласно с опытом. Таким путем мы можем, исходя из теоретической модели, построенной из молекул, итти весьма далеко и дать ряд новых еще не наблюдавшихся на опыте соотношений, которые могут выполняться при их проверке.

Таким образом возникла кинетическая теория газов, учение о жидком и твердом состоянии тел, основанная на молекулярных представлениях.

Теоретическую физику, основанную на подобных схемах молекулярного характера, мы называем физикой моделей,

Наряду с приемом теоретического изучения, основанного на моделях, возможен иной путь. Мы можем, например, рассматривать теплоту как род энергии и не специализируя ближе нашего представления о том, что делается с молекулами тела при нагревании, даже не допуская их существования вообще, мы можем, основываясь на законе сохранения энергии и на втором законе термодинамики, гласящем, что теплота не может сама собой без совершения работы переходить от более холодного тела к более нагретому, дать законы сложнейших тепловых явлений, включая законы лучеиспускания.

Исходя из этих представлений, можно например решить вопрос об условиях химического равновесия ряда веществ друг с другом. Отметим, что тот же самый вопрос можно решить исходя и из молекулярных схем. Второй метод подхода к решению теоретических вопросов мы назовем методом принципов и теоретическую физику, основаную на этом методе—физикой принципов.

Одно время могло казаться, что метод моделей слишком груб, слишком схематичен. Оствальд, например, пытался построить даже химию, не говоря о молекулах. Этот период относится к концу девяностых годов прошлого столетия и, характеризуя это время, один из знаменитых творцов физики моделей Больтцманн писал, говоря о молекулярной теории газов, „как раз в это время накоплялись нападки на

теорию газов. Я того убеждения, что эти нападки основаны исключительно на недоразумениях и, что роль теории газов в науке еще не сыграна...

По моему мнению было бы несчастием для науки, если бы теория газов, благодаря царствующему в настоящее время враждебному настроению, подверглась забвению, как это, напр., было с волновой теорией света, благодаря авторитету Ньютона". [1])

В следующий затем период наука как раз показала необыкновенную плодотворность метода моделей. Создание учения об электронах, учения об радиоктивности, все это — блестящие примеры приложений метода моделей, завершившееся уже в наши дни гениальными работами Рутерфорда над строением и разложением атома, работами, знаменующими собою новую эру в истории физики.

Можно было думать, что в это время физика принципов должна отступить на задний план и, наоборот, как раз в это время создается крупное завоевание физики принципов — теория относительности.

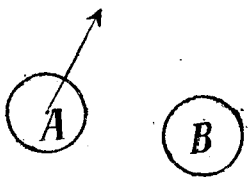
Выяснив в общих чертах подход к решению теоретических вопросов физики, мы перейдем непосредственно к тому, как формулировал Эйнштейн принцип, удовлетворяющий всем опытным данным, о которых мы говорили выше. Эйнштейн утверждает, что никакими способами вообще невозможно определить, находясь на

---

1. Ср. L. Boltzmann. Vorlesungen über Gastheorie. Leipzig 1898.

движущемся равномерно и прямолинейно теле, направление и скорость его движения, а следовательно нельзя сказать, движется или покоится данное тело. Эта формулировка и составляет малый или специальный принцип относительности Эйнштейна.

Из него между прочим следует постулат, связанный со скоростью света. Допустим, что на телах *A* и *B* находятся наблюдатели, имеющие источники света, пусть далее *A* имеет скорость *V*, а *B* находится в покое; наблюдатели в *A* и *B* дают световые сигналы и измеряют скорости света. Какие величины они при



Фиг. 5.

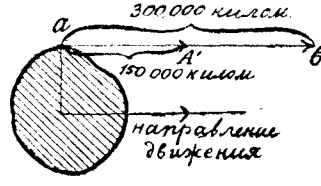
этом получат. Известно, что скорость света и эфира равна 300.000 килом. в сек. Эта величина может быть определена не только непосредственными измерениями, но и косвенным путем: путем измерения электрических величин, как определенное отношение. Очевидно по принципу относительности, что оба наблюдателя, находящиеся на *A* и на *B* должны получить одну и ту же величину для скорости света, так как, если бы один наблюдал скорость 300.000 километров в сек., а другой, допустим, нашел бы 200.000 кил. в сек., то можно было бы

сказать, что второй движется, а первый находится в покое. Между тем этого не должно быть по принципу и оба наблюдателя должны найти одно и то же.

Более того наблюдатель, находящийся на *A*, получил бы для сигнала, связаннаго с *A* и дающего свет, скорость равную 300.000 кил. в секунду; если наблюдатель, находящийся на *B*, стал бы изучать скорость лучей, исходящих из подвижного сигнала, связанного с *A*, он нашел ту же скорость 300.000 кил. в сек.

Таким образом скорость света, испускаемого движущимся источником, и для покоющегося наблюдателя и для движущегося с источником света должна быть одной и той же.

Чтобы разъяснить лучше сущность принципа, мы представим себе наблюдателя, быстро перемещающегося в неподвижном эфире, со скоростью 150.000 километров в сек. и находяще-

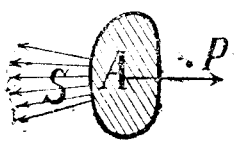


Фиг. 6.

гося на теле в *a* (фиг. 6). Пусть в *a* находится световой сигнал, испускающий свет в данный момент. Через секунду световые волны будут в точке, находящейся на расстоянии 300.000 километров от *a*, (т. к. эфир по Лорентцу непо-

движен и скорость в нем равна 300.000 километров в сек.); тело a в то же время пройдет путь в 150.000 километр. и будет в A', а световой луч дойдет до точки b, и наблюдателю будет казаться, что свет проходит в секунду расстояние Ab, движется со скоростью 150.000 мил в сек. Этого не может быть по принципу относительности.

Если мы постараемся изучить свойства среды, в которой распространяется свет и наделить ее определенными качествами, по принципу относительности, то мы увидим, что здесь уже нельзя говорить об обычном эфире и поэтому Эйнштейн в своем малом принципе просто оставляет в стороне эфир. Постоянство скорости света и все следствия, отсюда проистекающие в связи с отрицанием эфира, кладут резкое различие между теорией Лорентца, признающей эфир, и малым принципом относительности.



Фиг. 7.

Какие же следствия из этого принципа проистекают. Представим себе тело A (Фиг. 7), находящееся в покое, и пусть оно начинает излучать в одну сторону свет S. Как показывает опыт и теория, тело должно испытывать реакцию со стороны истекающей световой энергии,

должно начать двигаться под влиянием реакционного давления P, направленного противоположно излучению света.

По отношению к чему тело будет двигаться? Мы предполагаем, что в окружающем пространстве нет никаких предметов, по отношению к которым можно было бы констатировать движение и, следовательно, этот опыт мог бы открыть нам абсолютное движение, раз только мы знали бы силу P, зависящую от количества излученного света. Этого по принципу относительности быть не может и, чтобы согласовать выводы принципа с фактом движения тела, мы должны сказать, что тело A будет двигаться по отношению к излучаемой им энергии, совершенно так же, как при вылетании ядра из пушки происходит откатывание этой последней, и в пространстве, в котором не было бы никаких предметов, кроме пушки и снаряда, мы наблюдали бы только их относительное движение. Рассматривая движение тела A по отношению к излученной им энергии, мы можем подставить на место последней некоторую материальную массу, которая была бы эквивалентна в смысле инерции потоку энергии, причем мы можем точно подсчитать инерцию (массу), соответствующую энергии. Энергия будет себя вести во всех отношениях, как масса, и мы не можем их друг от друга отличить.

Следующими важными следствиями принципа относительности являются изменения размеров тел, их сокращение и изменение времени.

С первым мы уже встречались, когда говорили о Лорентцовском объяснении опыта Майкельсона, что касается до изменений времени, то они являются изменениями двоякого рода и требуют отдельного подробного рассмотрения.

Прежде всего, каким образом мы можем измерять время. Время вообще говоря измеряется периодическими процессами. Так впервые для измерения времени применялись пульсовые удары человеческих артерий, далее стали применять движение маятника, наконец, можно применить колебания электронов. Все эти процессы, как показывает принцип относительности, должны совершенно измениться на движущемся теле.

Правда наблюдатель, находящийся на теле движущемся вместе с ним, не будет замечать этих изменений, но зато наблюдатель, находящийся на покоющемся теле, по отношению к которому первое тело совершает перемещение, ясно увидит резкие изменяния так, напр., размеры тел в направлении движения ему представятся сокращенными; причем это сокращение достигнет максимума при скорости света, когда для внешнего наблюдателя все предметы будут представляться в виде безконечно точных пластинок, поставленных так, что их поверхность будет нормальна к движению. Что касается всех периодических движений, то наблюдателю, не находящемуся на движущемся теле, все эти движения будут представляться замедленными, хотя наблюдатель, находящийся на движущемся

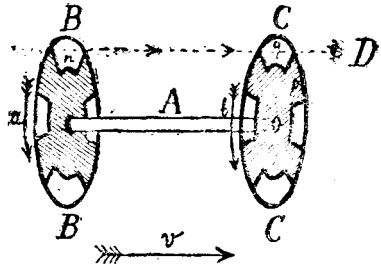
теле, об этом не будет знать. Он будет считать все эти движения, совершающимися с нормальной скоростью. Чтобы иллюстрировать это положение примером, мы представим себе, что сделан опыт, в стиле Жюль Верна и, что наблюдатель, находящийся в ядре, выброшен пушкой. Находясь внутри ядра, наблюдатель будет считать время одно, в то время как находящиеся на земле люди будут иметь другое время.

Если наблюдатель в ядре, например, считает, что прошла одна секунда, то есть секундный маятник совершил в ядре одно движение, то наблюдатель, оставшийся на земле, за это время отметит, напр., 100 — 200 и более секунд. Причем эта разница показаний часов покоющегося и движущегося наблюдателя будет тем больше, чел больше скорость движения ядра, в котором заключен подвижный наблюдатель. Представим себе, что находящийся в ядре наблюдатель пролетает в пространстве некоторый путь и возвращается снова на землю. Пусть при большой скорости движения он считает, что прошел один год с того времени, как он оставил землю. Для жителей земли протекшее время будет больше, так как их часы идут быстрее, и наблюдатель, вернувшийся на землю, может увидать жизнь на нашей планете такой, какой она будет через столетия или даже тысячилетия.

Мы рассмотрели одно из изменений, которое претерпевает время в зависимости от движения, теперь перейдем к другому.

Для иллюстрации этого изменения, предста-

вим себе сделанную из твердого вещества ось, A, с насаженными на ее концах дисками B и C, имеющими вырезы. (Фиг. 8).

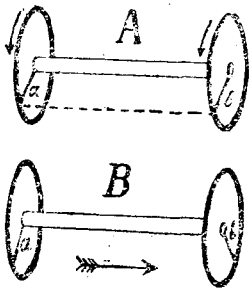


Фиг. 8.

Пусть оба диска с осью совершают вращение по стрелкам a, $в$, и пусть диски не совершают поступательного движения. Тогда, если мы пустим через прорез диска световой луч, изображенный на рисунке пунктиром, мы можем так подобрать скорость вращения дисков, что луч не попадает в вырез диска, а упрется в промежуток между вырезами и наблюдатель D света не увидит.

Если мы заставим прибор помимо вращения совершать вместе с наблюдателем поступательное равномерное перемещение, изображенное стрелкой v, то во первых длина A сократится и вращение для наблюдателя, смотрящего извне, замедлится. Поэтому луч, который пройдет вырез n, уже не будет попадать на промежуток p, а попадает в вырез q, и наблюдатель увидит свет. Этого, однако, по принципу относительности быть не может, и наблюдатель све-

та не должен увидеть. Это может случиться только тогда, когда диск *CC* будет повернут по отношению диску *BB* вокруг оси *A*, другими словами ось испытывает кручение от движения дисков и вместо относительного расположения, изображенного при покое на фиг. 9 *A*, где радиусами *a* и *b* обозначены сходственные части дисков, мы при движении будем иметь картину, которая представлена на фиг. 8, *B*, где сходственные части изображены теми же буквами.



Фиг. 9.

Определенные радиусы дисков, (напр., радиусы *a* и *b*), могут служить стрелками часов, (или одной из шестерен приводящих в движение стрелки) тогда, пока ось с дисками, вращаясь, не двигалась поступательно, стрелки показывали одно и то же время, как только диски получили поступательное перемещение, сейчас же получилась разница в показаниях стрелок, и каждому месту на движущемся теле будет соответствовать свое „местное время“.

До сих пор мы говорили только о таких явлениях, которые теоретически выводятся из принципа относительности, но не могут быть изучены опытным путем. Мы в заключение остановимся на одном следствии, вытекающем из принципа и могущем быть проверенным на опыте. Именно теория относительности утверж-

дает, что масса движущегося тела изменяется, причем с увеличением скорости масса растет и делается безконечно большой при скорости света.

При медленных скоростях мы не можем наблюдать эффекта возрастания массы, так как масса наростает при этом медленно; необходимо иметь скорости, близкие к скорости света, чтобы обнаружить это явление,

При этом наблюдатель, как понятно, не должен находиться на изучаемой массе, а масса должна двигаться по отношению наблюдателя.

Одним из простых и удобных средств открыть подобное изменение массы, является изучение массы лучей радия. Можно тщательными опытами обнаружить, что масса в частицы радия действительно изменяется со скоростью, причем ее увеличение с увеличением скорости в пределах возможных погрешностей совпадает с увеличением массы, предсказываемой теорией относительности. Это следствие и есть единственное непосредственное следствие теории относительности, в точности наблюденное на опыте.

ГЛАВА II.

Об обобщенном прицине относительности.

Рассмотренный в предыдущей главе частный или малый принцип относительности позволяет установить законы физики для равномерно и

прямолинейно движущегося тела; мы перейдем к дальнейшему обобщению предыдущего принципа, введенному в науку Эйнштейном и позволяющему изучать законы физики для любой системы, движущейся совершенно произвольным образом в пространстве.

Принцип этот в наиболее общей форме гласит следующее: при любых движениях все явления природы должны протекать совершенно одинаково, будет ли наблюдатель или все окружающее пространство приведено в соответствующее движение. (Формулировка данная Ленардом). Согласно этому второму принципу мы не только при равномерном и прямолинейном движении не можем определить, будучи связаны с определенным телом, находится ли оно в покое и движется окружающий мир или движется тело и мир находится в покое, но это общее положение о невозможности открытия абсолютного движения относится и к любым перемещениям тела и окружающего его мира, так что мы всегда и везде можем наблюдать только относительные движения тела, связанного с наблюдателем и окружающих его предметов.

Чтобы яснее себе представить все возможные приложения принципа, мы остановимся прежде всего на движении твердого тела, являющимся наиболее простым после прямолинейного и равномерного движения: именно на равномерном вращении твердого тела с находящимся на нем наблюдателем вокруг определенной оси.

Если мы представим себе покоющийся мир и вообразим, что в некоторой точке находится вращающееся тело, напр., земля с наблюдателем на ней, то мы будем наблюдать ряд явлений, зависящих от вращения, напр., если мы, находясь на полюсе земли, повесим маятник, состоящий из тонкой, гибкой нити и груза привязанного к ней, то маятник, как известно из механики, стремится сохранить свою плоскость качания. (Опыт Фуко). Если бы поэтому земля оставалась бы в покое, маятник давал бы колебания в одной плоскости неизменной по отношению к земле. Если земля вращается и окружающий мир мы можем рассматривать как неподвижный, то маятник должен был бы сохранять свою плоскость качания в пространстве и, в виду вращения земли, наблюдателю, находящемуся с маятником на полюсе, казалось бы, что плоскость качания маятника вращается противоположно врещению земли. Что же случилось бы, если наоборот мир вращался, сохраняя все свои взаимные отношения и земля была бы в покое. Принцип Эйнштейна говорит, что получалось бы то же самое: все являния при неподвижной земле и вселенной, вращающейся как твердое тело с сохранением всех расстояний, были бы те же, как и при неподвижном мире с вращающейся землей.

Несомненно, что для науки проще и нагляднее все явления представлять, как явления проистекающие от вращения земли: этим и объясняется успех теории Коперника и Ньютона.

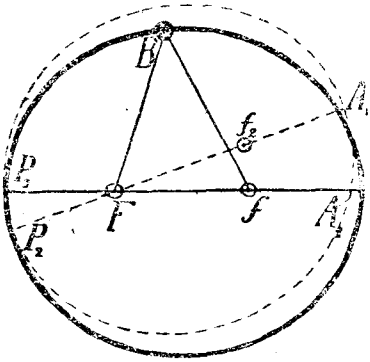
Точка зрения Эйнштейна не является вполне новой и оригинальной, еще ранее Мах и Пуанкаре развивали тот же взгляд на относительность движений и Эйнштейну принадлежит заслуга систематического приведения в физику представлений, связанных с обобщенным принципом.

При этом необходимо указать, что общий принцип допускает существование скоростей больших скорости света, так как светила, находящиеся от земли на расстоянии большем, чем то, которое свет может пройти в 1 день, должны при движении всего небесного свода двигаться со скоростью большей скорости света, а мы знаем, что есть светила, от которых свет доходит до нас в 10 и более лет. Мы получаем, таким образом, в общем принципе относительности несогласие с принципом постоянства скорости света, выдвигаемом специальным принципом относительности.

Если мы будем рассматривать обобщенный принцип, как некоторое общее положение, не доказуемое на опыте, то мы можем попытаться проверить ряд следствий, вытекающих из него и таким путем мы можем подойти к оправданию принципа.

Эйнштейн прежде всего изучил явления тяготения тел друг к другу и разобрал сложный вопрос о движении перигелия Меркурия и других планет, и это было первой победой нового принципа. Как показали исследования Кеплера, каждая из планет нашей солнечной системы движется по эллипсу, то есть такой кривой

для которой сумма расстояний каждой точки B (См. фиг. 10) от двух постоянных точек, называемых фокусами F f, есть постоянная величина: таким образом $FB+Bf=$ *постоян.* В одном из фокусов эллипса F пусть находится солнце. Если мы будем рассматривать движение планеты B, как результат ее притяжения только к солнцу F, то мы можем, как показал Ньютон, применяя закон всемирного тяготения, дать достаточно точное описание всевозможных движений отдельных планет. Принимая во внимание влияние взаимного притяжения отдельных планет друг на друга, можно, как это обнаружили ученые после Ньютона, установить почти все уклонения движений планет от нормального эллиптического пути или, как их назвали, возмущения планет.



Фиг. 10

Одна из планет именно Меркурий, лежащая ближе всего к солнцу и движущаяся быстрей всех остальных по орбите, показывала особенность движений, состоящую в том, что эллиптическая орбита, изображенная на рисунке 10 жирной чертой, через большой промежуток переходит в эллиптическую же орбиту, причем линия P_1 A_1, (так называемая большая ось эллип-

сиэа), занимает положение P_2 A_2, причем перигелей P_1 переходит в P_2. Правда угол P_1 FP_2 очень мал, он измеряется секундами в столетие, но его можно было строго обнаружить и общая теория относительности позволила вполне объяснить это явление, показав, что все планеты с точки зрения этой теории должны показывать движение перигелия. У Меркурия это движение только больше (угол равен около 42 секунд в столетие), из за условий его движения.

Теория относительности, таким образом, позволила вычислить угол P_1 FP_2 который оказался превосходно совпадающим с наблюденным на самом деле углом.

Однако этот случай не является характерным и показательным для теории. Дело в том, что еще раньше Лорентц, исходя из электромагнитных представлений о гравитации, при допущении неподвижного эфира, тоже доказал движение перигелия и получил то же направление движения, но только величина его была значительно меньше, чем она вытекает из наблюдений. [1]) Далее, исходя из допущений, что в плоскости, где лежат орбиты всех планет, рассеяна мелкая пыль, более густая около солнца и уменьшающаяся в плотности по мере уда-

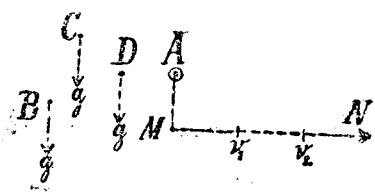
---

[1]) В последнее время (1916 г.) Вихерт, предполагая как опытный факт изменение массы движущейся планеты, показал, как и Лорентц, что движение перигелия имеет тоже направление, но оно меньше, чем это дают наблюдения. Делая, далее, особые допущения об энергии системы, Вихерт приходит к точному выражению закона движения перигелия. (Götting. Nachricht 1916 г. Стр. 124).

ления от него, Зеелигер показал, что можно объяснить количественно не только движение перигелия, но и дать представление о мало понятных оптических явлениях, напр., о зодиакальном свете.

Еще более интересным для нас являются следующие два приложения общей теории относительности к явлениям гравитации, которые важны для нас не только потому, что они уяснят нам способ подхода к решению задач, исходя из общего принципа относительности, но и потому что они ведут к важнейшим экспериментальным следствиям, вызывавшим ряд блестящих опытных исследований. Мы говорим здесь о влиянии гравитации на ход луча и на положение линий в спектре накаленных газов.

Для того, чтобы подойти к указанным выше двум приложениям теории относительности, мы должны войти в некоторые подробности относительно того, как смотрит Эйнштейн на явления тяготения, гравитации и в чем состоит его теория в применении к явлениям тяжести на земле.



Фиг. 11.

Эйнштейн рассуждает так. Представим себе наблюдателя, находящегося в A (Фиг. 11), и

пусть окружающий его мир испытывает притяжение со стороны земли, находящейся под наблюдателем и невидимой для него. Чем характеризуется гравитационное поле земли? Очевидно тем, что ускорение, создаваемое землей, во всех точках поля одно и то же, так, что, если бы мы взяли несколько предметов B, C, D и в некоторый момент сделали их свободными, они стали бы падать, причем величина ускорения, далее скорость и пространство, пройденное ими за определенный промежуток времени, оставались бы одними и теми же, так что относительное расположение всех подвижных тел, начавших в некоторый момент движение под влиянием сил тяжести, будет оставаться во время движения неизменным.

Таким образом B, C, D, не меняя своих взаимных расстояний, будут удаляться от A, но то же самое получится, если мы, сохраняя B, C, D неподвижными и освобождая их от действия сил тяготения, будем сообщать A ускорение вверх, равное ускорению, которое имели B, C, D. A будет удаляться от них с тою же скоростью, с которой раньше точки B, C, D удалялись от него и наблюдатель не будет в состоянии решить, движется ли он под влиянием некоторой силы ускорения вверх или все предметы окружающего мира испытывают притяжение со стороны земли. Эти два явления: движение вверх равноускоренно наблюдателя при покоющихся предметах B, C, D, или наоборот покой A и действие постоянного уско-

рения со стороны земли на B, C, D, дает для наблюдателя одну и ту же картину, явления: взаимное расположение B, C, D, и A будут в каждый момент одни и те же в обоих случаях.

Эйнштейн допускает, что это будет верно для всех явлений при гравитации и приходит, таким образом, к своей теории тяготения, по которой гравитационное поле земли эквивалентно в своих действиях при покоющемся наблюдателе, движению наблюдателя равноускоренно по направлению противуположному действию поля.

Представим себе теперь в пространстве, где имеются покоющиеся точки B, C, D, что наблюдатель A удаляется от них с ускорением же и допустим, что по направлению стрелки M N проходит световой луч, пусть движение A совершается перпендикулярно лучу. Тогда, если для наблюдателей, находящихся на телах B, C, D, луч будет оставаться прямолинейным, наблюдателю движущемуся с A луч будет казаться искривленным таким образом, как будто вдоль луча были бы брошены предметы со скоростью света: в самом деле, пусть через определенный промежуток времени световой сигнал, посланный из M, будет находиться в γ_1 через равный промежуток времени он попадет в γ_2, и еще через равный промежуток в N.

Тогда наблюдателю, движущемуся с A при неподвижности B, C, D, будет казаться, что, дойдя до точек γ_1, γ_2 свет переместился не только по горизонтальному направлению от M к N, но

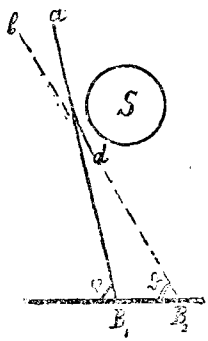
и опустился к низу на величину, равную перемещению A за то же время к верху, так что A увидит ту же картину, как если бы в поле тяготения земли, где наблюдатель A находится в покое и B, C, D движутся с определенным постоянным ускорением g, было брошено горизонтально со скоростью света v тело, которое и испытало бы со стороны земли то же относительное изменение движения, какое испытывает луч M N от движения A.

Подвижному наблюдателю A, при отсутствии тяготения, казалось бы следовательно, что луч наравне с тяжелыми предметами притягивается к низу, где находится земля.

А так как по общему принципу относительности мир, обладающий для всех точек одинаковым ускорением при покое наблюдателя, мы можем заменить миром, где A будет иметь ускорение, направленное обратно ускорению тяготения при покое всего окружающего мира, то ясно, что для того, чтобы наблюдатель не мог отличить гравитационного поля действующего книзу, к земле от движения самого наблюдателя кверху при покое мира, необходимо допустить, что луч и в поле гравитации, под влиянием тяжести, будет искривляться, как искривляется траэктория брошенного горизонтально тяжелого тела; то есть наблюдатель будет видеть, что луч света притягивается тяжелым телом. Правда это смещение луча очень невелико и мы можем подсчитать каково это смещение будет в поле земли, например, на расстоянии одного метра;

Оказывается, что оно равно $\frac{5,4}{1000000.000\,000}$ миллиметра, т. е. совершенно неизмеримо практически.

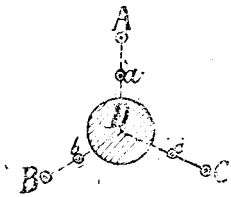
Однако есть возможность проверку воззрений Эйнштейна осуществить с большой точностью и это можно сделать так: представим, что мы имеем звезду, свет которой достигает до глаза наблюдателя по направлению линии aB_1 (Фиг. 12), так что лучи звезде делают с горизонтом угол ζ. Если вблизи от лучей, идущих от звезды размещено тяжелое тело S, то лучи искривятся под влиянием притяжения (путь aB_2) и мы будем видеть звезду по направлению B_2b, так что звезда будет представляться под влиянием воздействия притяжения тела S, отошедшей от прежнего положения на тем больший угол, чем притяжение больше, при этом лучи ее делают с горизонтом угол ζ.



Фиг. 12.

Допустим, что мы имели бы три звезды образующие равносторонний треугольник a, b, c. (Фиг. 13). Если бы солнце было расположено в D, так что центр солнца проходил через центр тяжести треугольника a, b, c, то лучи соответствующих звезд отклонились бы так, что звезды представлялись помещенными в вершинах равностороннего треугольника A, B, C. По величине

перемещения Aa, bB, cC можно судить об отклонении луча и это отклонение, с другой стороны, можно бы было вычислить теоретически.



Фиг. 13.

Таким путем можно бы было произвести поверку обобщенного принципа относительности и теории гравитации, основаной на нем.

Но для того, чтобы иметь возможность видеть звезды около солнца, необходимо, чтобы само солнце не посылало к нам лучей и поэтому физики и астрономы воспользовались первым полным солнечным затмением, чтобы проверить теоретические выводы.

Наблюдения были сделаны в северной Бразилии и у берегов Африки, причем в качестве наблюдателей принимали участие знаменитые английские астрономы Эддингтон и Давидсон.

Произведя во время полного затмения фотографирование части неба по соседству с солнцем и затем имея фотографии той же части неба, когда солнце не находилось в этом месте небесного свода, названные астрономы могли констатировать действительно отклонение светового луча, по направлению и по величине совпадающее с теоретическим. Хотя отклонения звезд от их положений было всего около 1/60 миллиметра все же эту величину можно было с точностью наблюдать и вполне подтвердить выводы теории.

В заключение мы должны упомянуть о последнем следствии, выводимом из общего принципа относительности. Именно о смещении спектральных линий, испускаемых накаленными парами и газами в гравитационном поле.

Это смещение можно легко представить, если приложить следующий принцип Допплера. Если мы имеем источник света и наблюдателя, которые перемещаются друг по отношению к другу так, что относительная скорость источника света и наблюдателя направлена по линии, соединяющей наблюдателя и источник, то смотря по тому, имеют ли источник и наблюдатель относительное движение, относительную скорость друг к другу или наоборот друг от друга, мы имеем смещение спектральных линий в сторону фиолетовой или красной части.

Этот принцип легко обнаружить при аккустических опытах. Если мы имеем паровоз, движущийся к нам навстречу, то звук его свистка будет нам представляться выше, число колебаний звука его больше, чем если паровоз будет в покое. Если наоборот паровоз удаляется от нас, то звук его свистка будет ниже, число колебания меньше, чем при покое. Повышение тона в звуке соответствует при световых колебаниях смещению линии испускания к фиолетовой части, понижение тона смешению к красной части спектра.

Для движущихся светящихся предметов на земле существование описанного явления, явле-

ния Допплера, было впервые открыто Белопольским и более подробно изучено Голициным.

Теперь вернемся к нашему случаю испускания тела, находящегося в поле гравитации. Мы видели, что с точки зрения обобщенного принципа относительности все явления, происходящие в таком поле, будут эквивалентны тому, что получится, если наблюдатель при отсутствии гравитационного поля будет перемещаться в сторону, обратную действию гравитационных сил.

Представим себе наблюдателя находящегося в кабинке лифта, поднимающегося с ускорением вверх в пространстве, где нет тяготения, тогда все явления в кабинке будут таковы, как будто лифт находится в покое в гравитационном поле. Пусть на полу кабинки поставлен источник света, дающий линейчатый спектор, состоящий из отдельных линий, а у потолка расположен спектроскоп, направленный на источник и позволяющий наблюдателю исследовать спектр светящегося газа. Пусть частота колебаний света источника, когда кабинка находится в покое, есть n пусть, далее, кабинка приведена в равномерно-ускоренное движение кверху. Пусть в некоторый момент произошло в источнике испускание света с числом колебаний n; когда этот свет дойдет до спектроскопа, находящегося у потолка кабинки, потребуется определенное время, в течение которого скорость движения наблюдателя увеличится, и в тот момент, когда световые волны дойдут до спектроскопа, на-

блюдатель будет иметь скорость большую, чем источник в мотент испускания этого света.

Наблюдатель в каждый момент имеет скорость, направленную от источника и большую, чем источник во время испускания света, так что все будет происходит так, как будто источник и наблюдатель в каждый момент удаляются друг от друга; при таком удалении должно быть смещение линий к красной части спектра. Так как наш опыт равносилен опыту с покоющемся наблюдателем и источником в поле тяготения, и, по обобщенному принципу относительности, этот опыт должен давать в гравитационном поле тот же эффект, то отсюда следует, что если мы будем смотреть на источник, дающий линейный спектр и находящийся в сильном гравитационном поле, то линии должны быть смещены к красному концу спектра.

Этот эффект был с положительным результатом наблюден в Германии, однако имеется и противуположный результат, полученный при гораздо лучших оптических условиях в Америке, где смещения, требуемого теорией, не наблюдено.

„Во всяком случае“, пишет по этому поводу Эйнштейн, „ближайшие годы должны принести решение этого вопроса. Если смещения к красному концу спектра благодаря силе тяготения не существует, то общая теория относительности не верна. С другой стороны, если бы было точно установлено происхождение смещения линий, вследствие грявитационного потенциала, то

это доставило бы важные заключения о массе небесных тел".

Заключение и выводы.

В заключение мы хотели бы разобрать значение принципа относительности в современной науке. Отношение к нему, в особенности к обобщенному принципу не одинаковы и наряду со сторонниками являются и противники полной его применимости и общности.

Мы дадим несколько цитат, чтобы показать, какие различия в этом отношении существуют. Мы начнем с уже цитированной во введении статьи Зоммерфельда, где автор отзывается о заслугах Эйнштейна так: „С глубокомыслием и последовательностью философского мышления, не встречавшейся никогда до сих пор в умах естествоиспытателей, с математической силой, которая напоминает Гаусса и Риманна, с ясным взглядом на физическую действительность, Эйнштейн возвел в течение десяти лет здание, перед которым даже мы, следившие из года в год за его работой с напряженным вниманием, стоим, чувствуя изумление и головокружение".

Гораздо сдержаннее отзываются английские ученые, хотя и среди них имеются сторонники принципа.

Наконец, нужно отметить мнение Ленарда, который является, отчасти по крайней мере, противником принципа и который писал:

„Принцип относительности является в двух видах: в виде первоначальной формы его про-

стого принципа и в виде обобщенного принципа. Первый относится только к равномерным движениям, последний должен выполняться для всех движений.

Существует огромное различие между ежедневным опытом и обоими принципами, которые мне хотелось бы отметить. В то время, как первый принцип непосредственно соответствует опыту, для последнего является присущей ему особенностью, что для него невозможно привести ни одного примера непосредственного применения из обыденной жизни".

Далее, развивая общую точку зрения и отметив, что первоначальный принцип имеет много общего с принципом сохранения энергии, Ленард переходит к критике обобщенного принципа и говорит: „Я считаю точно выполняющимся следующее положение: система, в которой наблюдаются явления инерции, находится в неравномерном движении", хотя это положение стоит в противоречии с обобщенным принципом относительности, если мы будем его считать приложимым ко всем видам движения. Необходимо подчеркнуть при этом, что обратное положение не имеет общего значения: не равномерное движение не всегда связано с явлениями инерции.

Точно также вращение, как специальный случай неравномерного движения, может быть строго доказано по явлениям инерции, как это имеет место в случае опыта с маятником Фуке для вращения земли. Сторонники общего прин-

ципа относительности отрицают подобную абсолютную доказуемость существования вращения или подвергают ее большому сомнению, причем они повидимому испытывают большое философское наслаждение; они предлагают своим читателям думать, что, например, опыт с маятником должен был бы протекать одинаково, имеется ли вращение земли вокруг оси или вращение всего мира около земли. Я не знаю, замечают ли они, что принятие этой альтернативы, (вместе с неуважением к здравому смыслу Коперника и Галилея), равнозначно с недопустимым мысленным опытом — недопустимым с точки зрения того же принципа относительности, — что при этом не очень далекие небесные тела будут двигаться с скоростями значительно большими скорости света, в то время как признание возможности таких скоростей равносильно неверности и простого (специального) принципа относительности".

Это обстоятельство заставляет Ленарда, при полном признании специального принципа утверждать, что необходимо „ограничить обобщенный принцип по отношению к его полной общности", относя его только к явлениям тяготения и не говоря о других явлениях. „Таким образом", заканчивает Ленард: „приходят к более узкому обобщенному принципу относительности", который лучше было бы назвать „принципом тяготения."

Еще более различны были мнения высказанные об эфире, который как казалось, вполне

ниспровергался принципом относительности. Характеризуя положение вопроса об эфире, Эренфест в 1912 году писал: „отрицательный результат всех опытов с движением эфира привел авторов (Ритца и Эйнштейна) к убеждению, что вообще нет никакого эфира. Пространство между телами пусто“.

Анализируя далее явления, известные из опыта Эренфест говорит: „Мы видим, что безэфирная теория Эйнштейна требует того же, что и эфирная теория Лорентца“. Таким образом эфир мог быть признан существующим наряду с существованием принципа относительности. Можно было все явления трактовать или без эфира, или принимая эфир.

Мы приведем далее мнение ветерана физиков Лорентца, который в Гаарлемских лекциях писал так: „Оценка основных понятий теории относительности принадлежит теории познания, и поэтому ей необходимо представить суждение в надежде, что она с необходимой основательностью рассмотрит все ее вопросы.

Но уже и теперь несомненно, что от способа мышления будет зависить, будем ли мы держаться принципа относительности или нет“.

Далее Лорентц прибавляет, что он находит удовлетворение в том, что эфир имеет субстанциональную сущность, что пространство и время могут быть резко различаемы. Совершенно так же относится к отрицанию эфира Ленард. „Должно заметить“, говорит он, „что принцип относительности ни коим образом не исключает

эфир, что выставлялось как особое ниспровергающее свойство этого принципа и, что никаким образом невозможно построить механику эфира, включающую электродинамику и гравитацию". Эта попытка построения теории эфира была сделана Ленардом в 1921 г., и является важной и интересной работой, стремящейся отстоять старые классические представления.

Мы не можем излагать этого сложного и специального исследования Ленарда, (Jahrbuch d. Radioaktivität und Elektronik стр. 307—1921), заметим только, что Ленард пытается построить модель, объясняющую не только уже известные и объясненные ранее явления оптики, но и теорию квантов. Работа его несомненно является первым шагом в том направлении, которое должно дать теории эфира более глубокое развитие.

Наконец, и сам Эйнштейн в одной из своих последних речей, посвященных принципу, говорит: „Резюмируя, мы можем сказать: всеобщая теория относительности наделяет пространство физическими свойствами; и в этом смысле эфир существует".

По всеобщей теории относительности пространство немыслимо без эфира. Мы видим, таким образом, что с одной стороны в настоящее время не все ученые признают за принципом относительности, в особенности за обобщенным, полную общность и, что должны быть установлены ограничивающие рамки для него, как это указывает Ленард; с другой стороны мы могли бы убедиться, что теория Лорентца дает

в сущности то же, что дает и малый (специальный) принцип относительности, признаваемый повидимому всеми.

В чем же тогда, спросим себя, значение принципа, как формулировать его отношение к другим положениям физики.

Мы видели, что классическая механика дает безукоризненную картину реальных явлений, относящихся к области материальных процессов; с другой стороны уравнения электромагнитного поля, прилагаемые к эфиру и к весомым телам, дают превосходные совпадения с опытом. Попытка объединить оба класса явлений, явлений механических и электромагнитных приводит нас к ряду пока еще окончательно не разъясненных противоречий и можно в этом отношении итти двумя путями. Мы можем считать, что уравнения электродинамики, как лучше и точнее проверенной на опыте, являются абсолютно верными и тогда можно внести поправки в механические принципы. Это делает в своих молекулярных представлениях Лорентц, это же делает и принцип относительности Эйнштейна. С другой стороны, если мы будем уверенными в абсолютной точности механических уравнений, не давших за три века никаких прямых и косвенных доказательств неверности их, мы можем попытаться поправить уравнения электродинамики так, чтобы в пределах погрешностей опыта результаты теории совпадали бы с опытом. Первую попытку в этом направлении

сделал Кастерин, [1]), попытавшийся, оставляя Ньютоновскую механику нетронутой, подойти к изменению уравнений электродинамики; к сожалению эта попытка содержит только самые первые шаги и не дает еще права судить, насколько хорошо можно изменить уравнения электродинамики, оставляя неизменной классическую механику.

Наконец можно было бы, повидимому, сделать и третью попытку изменить одновременно и принципы механики и уравнения электродинамики.

Этими тремя путями можно надеяться прийти к трем (а может быть и больше) системам уравнений, охватывающих все механические и электродинамические явления природы. Все эти системы в самих себе останутся безукоризненными и точными, и выбор наш должен будет остановиться на той, которая будет давать с опытом лучшие результаты.

В этом отношении системы физических теорий будут напоминать собой системы возможных геометрий (геометрия Лобачевского, Риманна), отличных от обычной Эвклидовской и, при обычном методе проверки, дающих совпадающие с действительностью результаты.

Нужно отметить, что исторически коллизия переживаемая физикой в области механики и электродинамики не нова. Каждый почти раз, когда приходилось ученым подходит к объеди-

---

[1]) Н. Кастерин. Изв. Росс. Акад. Наук. Стр. 89—1918

нению и слитию соседних областей науки, пока еще не связанных между собою в одно целое, подобная коллизия наблюдалась; те столкновения, которые происходят на почве принципа относительности, представляются нам особенно крупными потому, что области, охватываемые электродинамикой и механикой, в сущности обнимают почти все процессы мира, за исключением тепловых, и поэтому значение объединения механики и электродинамики должно явиться крупным фактом при собирании физики как науки в одно стройное здание.

Как пойдет работа по этому пути дальше и каковы будут опытные результаты от развития теории в этой области, должно показать ближайшее будущее.

ОТНОШЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ ДРУГ К ДРУГУ.

М. Планк.

(Kultur der Gegenwahrt. Часть III, отд. III, стр. 732—1915).

Прогресс каждой науки совершается, как известно, не систематически по единому, вполне определенному заранее плану; наука, соответственно многообразию, охватываемых ею проблем, развивается в разной степени и с разной скоростью более или менее одновременно в разных областях, в зависимости от числа и характера, работающих в ней исследователей.

Таким образом часто возникают параллельно многочисленные теории, которые развиваются сначала по существу независимо одна от другой и только позднее, когда они расширяются и дополняются, они начинают соприкасаться и влиять взаимно друг на друга, находясь, смотря по обстоятельствам, или в союзе или во вра-

жде. Между математическими и опытными науками в этом отношении обнаруживается характерное различие. В науках математических две различные теории, если они вообще имеют под собой основание, никогда не противоречат одна другой. В математике поэтому нельзя говорить о противуположении теорий, можно говорить в лучшем случае о различии методов. Так например по существу является невозможным, чтобы алгебраическая теория противоречила геометрической, хотя алгебра и геометрия сначала развивались совершенно независимо друг от друга. В физике, представляющей собой опытную науку, наоборот часто случалось и случается теперь, что две теории, которые приобрели до некоторой степени самостоятельность, при их дальнейшем развитии сталкиваются и вызывают потребность в переделках, чтобы остаться приемлемыми. В этой возможности взаимного приспособления различных теорий и лежит главная причина их плодотворного дальнейшего развития и слития в единую теорию высшего порядка. Главная задача каждой науки ведь в том и состоит, чтобы объединять различные встречающиеся в ней теории в единую теорию, в которой все проблемы науки находят определенное однозначное место и однозначное решение. Поэтому можно принять, что наука тем ближе к своей цели, чем больше число, заключающихся в ней, самостоятельных теорий являются соединенными воедино.

История физики представляет многочислен-

ные весьма поучительные примеры подобного процесса приспособления и слития.

В настоящем коротком очерке придется дать некоторое представление об историческом развитии теории постольку, поскольку это необходимо, по существу же речь будет итти о современном состоянии физических теорий.

В настоящее время в физике можно различить еще три различные теории: механику, включающую в себя учение об упругости, гидродинамику, акустику, далее электродинамику со включением магнетизма и оптики, и, наконец, термодинамику. Из этих трех теорий до сих пор каждая еще сохраняет известную самостоятельность, однако число точек соприкосновения, в которых эти теории частью друг друга пополняют, частью до известной степени противоречат, являющееся уже в настоящее время весьма значительным, увеличивается постоянно благодаря быстрым успехам экспериментального изучения.

Старейшей и ранее всего развившейся теорией является механика, которая благодаря этому первоначально претендовало на исключительное господство в физике, и по мнению многих физиков эта претензия еще и в настоящее время может поддержаться с полным правом. Основанная Галилеем и Ньютоном и приведенная в законченную форму Эйлером [1]) и Лагранжем, механика представляет построение,

[1]) Л. Эйлер был академиком в Петербурге, где и умер. (Ред.).

которое по отношнию к полноте и законченности не оставляет ничего более желать и может с успехом соперничать с любой математической теорией. Но именно в этом характере полной законченности, которая свойственна классической механике, лежит для нее невозможность дальнейшего самостоятельного роста и дальнейшего развития, как это требует общая задача физики, которая кроме явлений движения охватывает большое количество других процессов. Поэтому толчек к дальнейшему развитию механики должен был прийти извне, и он пришел со стороны электродинамической теории. Представляется очень интересным изучить, как эта теория, сначала известным образом связанная с более старой механикой, постепенно отделилась от нее, проложила собственные пути и наконец настолько окрепла, что в настоящее время получила возможность оказывать огромное действие на классическую механику.

Как это вытекает из сказанного, развитие электродинамики все время протекало под влиянием маханики, причем это развитие совершалось совершенно различно на континенте [1]) и по другую сторону канала. [2]) В Германии путь для развития электродинамики положил Гаусс, который, будучи математиком и астрономом, сопоставил электрические действия с Ньютоновским законом тяготения и старался поэтому основной закон электростатистики представить как обоб-

[1]) Т. е. в России, Германии, Франции и Италии. (Ред.).
[2]) Т. е. в Англии. (Ред.).

щение закона действий на расстоянии, установленного Ньютоном. По его представлению в электродинамике первичным фактором являлось количество электричества или электрическая масса, которая может быть поставлена наряду с весомой массой, и большая общность электрического закона по отношению к Ньютоновскому закону тяготения состояла в том, что сила, с которой действуют друг на друга электрические заряды, расположенные в точках, зависит, помимо величины масс и их расстояния, еще от знака заряда их и от их скоростей.

Отдельные частные формы, подобного основного электрического закона были установлены В. Вебером, Б. Риманном и Р. Клаузиусом.

Совершенно иначе совершалось развитие электродинамики в Англии. Здесь Фарадей был тем исследователем, который наложил на эту область печать своего гения, когда он, не находясь под влиянием соображений математического или астрономического характера, обратил непосредственное внимание на электрические явления и поставил их в связь с явлениями упругости. В этих электрических явлениях он признавал, как первичный фактор, не электрические заряды, но электрические силовые линии, которые протягиваются от одного заряженного тела к другому, и которым в промежутке между заряженными телами соответствуют определенные натяжения. Действие на расстоянии, по его представлениям, при этом совершенно исключено. После того, как Максвелл облек гипотезу

Фарадея в математическую форму, руководясь отять таки механическими представлениями, хотя и совершенно иного рода, чем Гаусс, эта теория стала сначала совершенно равноправной теорией, а впоследствии явилась победительницей по отношению к теории действия на расстоянии; весьма характерно, что победа была одержана впервые как раз в той области, которая осталась более всего недоступной для классической механики: именно в области явлений, протекающих в абсолютной пустоте.

Правда в природе нельзя получить совершенной пустоты, но многочисленные опыты, к которым относятся надежнейшие оптические измерения Физо, доказали, что электродинамические и специально оптические процессы в сильно разряженных пространствах совершенно независимы от природы, находящихся там небольших количеств газа, так что практически с полным правом можно говорить о физике совершенной пустоты.

Теории действий на расстояние в этом случае оказываются несостоятельными, если не вводить сложное и чуждое идее дальнодействия представление о „поляризуемости“ чистой пустоты, в то время как Максвелловская электродинамика принимает простейшую и наиболее ясную форму именно для этой простейшей среды.

В то время, как Максвелловские уравнения праздновали в этой области свои блестящие триумфы, многочисленные попытки их механи-

ческого обоснования, которые естественно должны были предполагать существование материального субстрата, — светового эфира, — встречали все большие и большие затруднения, и в настоящее время вообще признано, что последовательно проведенная механическая теория эфира с простыми Максвелловскими уравнениями, при их абсолютной точности, вообще невозможно. [1]) Благодаря этому пропасть между классической механикой и электродинамикой сделалась непроходимой и оставалось только, или строго ограничить область приложимости обоих теорий, или изменить одну из них. Первый путь скоро оказался недоступным; уже в области движений электронов механика и электродинамика переходят непосредственно друг в друга, и именно в этой области обнаружилось прежде всего различие, когда в первый раз были открыты отклонения от законов классической механики, сказывающиеся в изменении массы движущегося электрона. Эйнштейновская теория относительности содержит простое и полное решение задачи о таком приспособлении механики к электродинамике, при котором механика с одной стороны сохранила содержание классической теории, существенное для практически важных частей науки, и в то же время вполне удовлетворяла бы требованиям электродинамики. Введенное в механику принципом относительности, измене-

---

[1]) В этом отношении в настоящее время нужно указать на интересную, сделанную Ленардом, попытку построения теории эфира. Об этой попытке см. выше. (Ред).

ние заключает в себе как главную часть введение новой, совершенно чуждой для классической механики универсальной постоянности: именно скорости света в абсолютной пустоте.

Если таким образом можно считать, что механика и электродинамика сведены теорией относительности в единую теорию, которую я буду называть в последующем динамикой, то остается еще последняя большая задача физики, именно соединение динамики и учения о теплоте, задача к решению которой точно также с успехом приступлено, но которая представляет неизмеримо большие трудности, чем предыдущая задача соединения механики и электродинамики.

Ряд законов, которые относятся к динамике, частью совершенно отличны от законов учения о теплоте. Прежде всего всем тепловым явлениям свойствен характер необратимости [1]), который почти недоступен для механического истолкования. В самом деле, в то время как все тепловые и химические процессы протекают в одном направлении, знак поставленный перед временем не играет никакой роли в уравнениях динамики, так, что динамические процессы, как

---

[1]) Пусть мы имеем какой либо процесс, который переводит систему тел из некоторого первого состояния M во второе P; пусть при этом поглощается количество тепла Q и над системой совершается работа A. Если при переходе из второго состояния в первое система выделит, проходя через те же изменения, какие она совершила в первый процесс, то же количество тепла и отдает то же количество работы A, то процесс может безразлично протекать в направлении от M к P и от P к M, и он называется обратимым. В противном случае процесс является необратимым. (Ред.).

механические, так и электрические, могут протекать как в одном, так и в другом направлении. Это основное отличие впервые ясно обнаружил Р. Клаузиус, но прошло порядочное количество времени, прежде чем оно было вообще признано, хотя и до настоящего времени со стороны энергетики делаются постоянно новые попытки, в интересах общности выводов, пренебрегать вообще необратимостью.

Выражение этих попыток мы находим во втором принципе теории тепла, который утверждает, что при каждом тепловом химическом процессе энтропия [1]) участвующих в процессе тел, увеличивается и только в частном идеальном случае обратимого процесса остается постоянной.

Огромная плодотворность этого закона, для теории тепла и физической химии, стояла некоторое время в своеобразном противоречии с неопреодолимой трудностью истолковать это положение с динамической точки зрения. Л. Больтцману удалось найти многообещающий и, повидимому, единственный выход из этого положения. При этом однако, пришлось отказаться от

---

[1]) Под энтропией при обратных процессах разумеется сумма частных $\frac{Q}{T}$, где Q есть количество тепла при безконечно малых изменениях системы, происходящих при абсолютной температуре $T=273+t$. (где t температура по Цельзию). Таким образом сумма всех выражений $\frac{Q}{T}$ при переходе от M к P равная $\frac{Q_1}{T_1}+\frac{Q_2}{T_2}+\frac{Q_3}{T_3}\ldots$ представляет собою разность энтропии в состоянии втором и в состоянии первом. Эта разность при обратимом превращении равна нулю. (Ред).

чисто динамического об'яснения второго закона и на место абсолютного динамического закона, единственной только и допускаемого до сих пор, была введена статистическая закономерность, причем все числовые данные, получаемые из термических и химических измерений, должны были быть рассматриваемы, как результаты чрезвычайно большого числа отдельных воздействий атомов и молекул. В то время как для отдельных воздействий, соответствующих элементарным процессам между атомными составными частями материи, остаются справедливыми динамические законы, так что для них знак, с которым выходит время, безразличен [1]), общие числовые данные, проистекающие из одновременного сосуществования многочисленных элементарных процессов, подчиняются законам теории вероятности, которые совершенно независимы от динамики и вносят, таким образом, в теоретическую физику чуждый динамике элемент.

С этой точки зрения второй закон теории тепла является исключительно положением теории вероятностей, энтропия представляется мерой для величины вероятности и увеличение энтропии утверждает только, что более вероятные состояния следуют за менее вероятными. Знак для времени установлен тем обстоятельством, что более вероятному состоянию соответствует в действительности более позднее время.

---

[1]) То есть процесс может течь в направлении положительного времени (будущее время) и в направлении отрицательного (прошедшее время). (Ред.).

Характерным для положения теорий вероятности является то, что из этих положений возможны исключения, и установление таких исключений составляет поэтому важную задачу атомистически-статистического учения. Чувствительнейший способ для проверки и сравнения двух учений доставляет изучение состояний равновесия. В самом деле, в то время как и в динамике равновесие представляет абсолютную неизменность системы, статистическое равновесие является подвижным равновесием, подверженным постоянно более или менее значительным колебаниям, и величина среднего колебания может быть точно найдена из теории вероятностей. Нужно заметить, что статистическая теория везде получила блестящие оправдания на опыте. Наиболее поразительным и убедительным для непредупрежденного наблюдателя является рассмотрение, так называемого, Броуновского молекулярного движения, при котором покоющаяся жидкость с одинаковой плотностью и температурой показывает внутри себя непрерывное, быстрое движение маленьких взвешанных частиц; это явление с точки зрения чистой динамики совершенно необ'яснимо, с точки же зрения статистики это явление можно предвычислить во всех ее деталях.

Таким образом, путем принципиального отказа от предположения возможности открыть абсолютный закон явлений, при всех термических и химических явлениях, и введением представлений об атомах, которое связано с рядом

новых, характеристических постоянных природы, именно с атомными весами, устраняется недоразумение, возникшее между динамикой и теорией тепла. Но эта жертва которую должна принести динамика, как кажется явится не единственной и не самой тяжелой, если только динамика должна будет включить в себя все учение о теплоте.

С одним атомным учением о материи еще нельзя повидимому всего достичь. Законы теплового лучеиспускания, законы удельной топлоты, излучения электронов, радиоактивности и многие другие опыты говорят за то, что не только материя, но и исходящие из материи действия (поскольку может быть приведено это различие) обладают прерывными свойствами, которые характеризуются новой константой природы: элементарным количеством действия (квантом). Эта величина числено так мала, что результаты классической динамики от введения элементарного количества действия не изменяются заметным образом, так что в сущности это введение является в организме существовавших теорий как бы посторонним телом. Введение этого понятия ощущается вначале тем неприятнее, что не только не возможно дать определенный наглядный смысл кванту действия, в противоположность электронам и атомам, показывающим определенные аналогии с небесными телами, но и главным образом потому, что нельзя указать точно место, где должен быть помещен элемент действия. Поэтому нет ничего удивительного,

что классическая теория противодействует всеми силами против введения этого понятия, и что во всяком случае должны пройти годы, прежде чем совершится с обоих сторон процесс усвоения. Однако не может подлежать никакому сомнению, что наступит время, когда подобно химическим атомным весам и элементарные количества действия, под каким бы ни было названием и в какой бы ни было форме войдут как составная часть общей динамики.

Физическое исследование не может успокоиться до тех тор, пока не будут спаяны в единую всеобъемлющую теорию механика с электродинамикой и учение о равновесии тепла и излучение теплоты.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

А. ПУАНКАРЕ. Новая механика 5

П. П. ЛАЗАРЕВ. Физические основания принципа относительности 23

М. ПЛАНК. Отношение физических теорий друг к другу. 73

КНИГОИЗД-ТВО „СЕВЕРНЫЕ ДНИ“

Москва, Тверская 29, кв. 30.

Вышли:

СБ. „СЕВЕРНЫЕ ДНИ“ II.—Содержание: Стихи Андрея Глобы, К. Липскерова, Надежды Павлович, Владислава Ходасевича и Марины Цветаевой. — Разсказы: — Бор. Зайцев. – Карл V;—Вл.Лидин.—Хозяин.—Иосиф Матусевич.—Венец земли.—Андрей Соболь—Обломки. Статьи: Ю. Айхенвальд—Бессмертная пошлость. — Андрей Белый — Воспоминания о Блоке.—М. Гершензон.—Человек,—пожелавший счастья.

ВЛ. ЛИДИН. Моря и горы. (Разсказы 1917—18 г.)

КОНСТ. ЛИПСКЕРОВ. Золотая ладонь. Стихи.

Ю. АЙХЕНВАЛЬД. Поэты и поэтессы.

АНДРЕЙ СОБОЛЬ. Бред. (Повести).

ЛЕОНИД ГРОССМАН. Портрет Манон Леско. Два этюда о Тургеневе.

При Книгоиздательстве „Северные Дни“ вышел из печати:

ЛИРИЧЕСКИЙ КРУГ. – Страницы поэзии и литературной критики. Выпуск I. При участии: Анны Ахматовой, Н. Бромлей, Юрия Верховского, худ. Н. Вышеславцева, Андрея Глобы, Леонида Гроссмана, Вл. Лидина, худ. Н. Купреянова, Конст. Липскерова, Осипа Мандельштама, Сергея Соловьева, худ. В. Фаворского, Владислава Ходасевича, С. Шервинского.

В печати:

АНДРЕЙ БЕЛЫЙ. О ритмическом жесте.

Готовятся:

ВЛ. ЛИДИН. Под звездами. Роман.

ИОСИФ МАТУСЕВИЧ. Затишье. Рассказы.

СОФЬЯ ПАРНОК. Предназначенный путь. Стихи.

КЛОД ФАРРЕР. Душа Востока. Пер. А. Койранского 2-ое изд.