

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

ТОМЪ I.

---

# ЭЛЕКТРОМАГНИТЪ

И

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

СИЛЬВАНУСА П. ТОМПСОНА.

---

*Переведено съ англійскаго М. А. Шателеномъ.*

ИЗДАНО

*подъ редакцію А. И. Смирнова.*

---

СЪ 204 ФИГУРАМИ ВЪ ТЕКСТЪ.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Издание журнала «Электричество».

1892.

Типографія В. Дрессенъ и К<sup>о</sup>, Колокольная, 13.

# ОГЛАВЛЕНИЕ.

	СТР.
Отъ редакціи.	
Предисловіе. . . . .	1
<i>Глава I.</i>	
Историческій очеркъ. . . . .	9
<i>Глава II.</i>	
Общія свѣдѣнія относительно электромагнитовъ и электромагнетизма. Типическія формы электромагнитовъ. Матеріалы, употребляемые для ихъ устройства . . . . .	37
<i>Глава III.</i>	
Свойства желѣза. . . . .	65
<i>Глава IV.</i>	
Принципъ магнитной цѣпи. Законъ магнитнаго приставанія. Устройство электромагнитовъ для наибольшаго приставанія. . . . .	111
<i>Глава V.</i>	
Распространеніе закона магнитной цѣпи на случай притяженія арматуры, находящейся на нѣкоторомъ разстояніи отъ полюсовъ. Вычисленіе магнитной утечки . . . . .	152
<i>Глава VI.</i>	
Правила для устройства обмотокъ изъ мѣдной проволоки. . . . .	184
<i>Глава VII.</i>	
Электромагниты для специальныхъ цѣлей. Электромагниты для быстрого дѣйствія. Релѣ и хронографы. . . . .	202
<i>Глава VIII.</i>	
Катушка съ подвижнымъ стержнемъ. . . . .	232
<i>Глава IX.</i>	
Электромагнитные механизмы. . . . .	264

### **Глава X.**

Электромагнитные вибраторы и маятники. . . . . 304

### **Глава XI.**

Электромагниты для токовъ переменнаго направленія. . . . . 318

### **Глава XII.**

Электромагнитные двигатели . . . . . 338

### **Глава XIII.**

Различныя примѣненія электромагнитовъ. . . . . 346

### **Глава XIV.**

Способъ предотвратить появленіе искръ . . . . . 350

### **Глава XV.**

Примѣненіе электромагнитовъ къ хирургіи. . . . . 360

### **Глава XVI.**

Постоянные магниты . . . . . 366

### **Прибавленіе А.**

Электрическія и магнитныя единицы . . . . . 400

### **Прибавленіе Б.**

Собраніе формулъ, относящихся къ главамъ IV и V. . . . . 412

## ОТЪ РЕДАКЦІИ.

---

Въ теченіи зимы прошлаго года извѣстный англійскій ученый, профессоръ Сильванусъ Томпсонъ, читалъ въ Лондонѣ, въ Society of Arts, рядъ лекцій, посвященныхъ вопросу объ электромагнитахъ. Безспорная важность этого вопроса заставила почти всѣ журналы, посвященные электротехникѣ и вообще техникѣ, помѣстить эти лекціи на своихъ страницахъ, или въ полномъ объемѣ (Electrician, Scientific American и др.), или въ передѣлкѣ (Lumière Electrique). Редакція журнала «Электричество» также признала полезнымъ помѣстить эти лекціи въ своемъ журналѣ. Переводъ былъ уже оконченъ и приготовленъ къ печати, когда профессоръ Сильванусъ Томпсонъ выпустилъ въ свѣтъ книгу «The Electromagnet», въ которой разсматривались тѣ же вопросы, что и въ лекціяхъ, но уже съ большей полнотой, которая была неудобна при устныхъ чтеніяхъ. Англійская техническая пресса встрѣтила появленіе книги «The Electromagnet» весьма сочувственно и многіе журналы, даже чисто научные, какъ The Nature, помѣстили на своихъ столбцахъ подробныя и обстоятельныя рецензіи. Дѣйствительно книга С. Томпсона и должна была обратить вниманіе электротехниковъ. Она была первымъ сочиненіемъ, въ которомъ авторъ старался объяснить всѣ явленія, наблюдаемыя въ электромагнитахъ, на основаніи «принципа магнитной цѣпи», введеннаго въ науку Ровландомъ, Бозанке и другими учеными и техниками, и давшаго уже столь полезные результаты при постройкѣ динамомашинъ. На основаніи этого принципа оказалось возможнымъ объяснить много такихъ явленій, которыя раньше считались парадоксальными. Въ книгѣ Томпсона въ первый разъ сдѣлана попытка изложить въ элементарной формѣ свойства и особенности электромагнитовъ, питаемыхъ переменными токами. Вопросъ о такихъ электромагнитахъ теперь, послѣ открытій Феррариса, Тесла, Доливо-Добровольскаго и др., конечно интересуется всѣхъ электротехниковъ и безъ сомнѣнія, глава, посвященная изученію электромагнитовъ, питаемыхъ переменными токами, будетъ прочтена не безъ интереса

многими лицами. Тоже можно сказать о главѣ, посвященной постояннымъ магнитамъ, свѣдѣнія о которыхъ весьма необходимы, какъ телеграфнымъ механикамъ, такъ и конструкторамъ измѣрительныхъ приборовъ.

Ознакомившись съ содержаніемъ книги профессора Томпсона, редакція журнала «Электричество» рѣшила не печатать его лекцій, которыя, сравнительно съ книгой, страдали неполнотой (объемъ ихъ вдвое меньше объема книги), но приступить къ изданію русскаго перевода этой книги, который теперь и является въ свѣтъ.

Переводъ сдѣланъ возможно ближе къ подлиннику, причемъ прилагалось возможное стараніе, чтобы не только передать мысль автора, но и характеръ его изложенія. При переводѣ пришлось вводить много терминовъ, которыхъ еще не было въ русскомъ языкѣ. Очень возможно, что многіе изъ нихъ переведены неудачно и быть можетъ возможно было найти для нихъ болѣе подходящія названія, но до сихъ поръ эти названія еще не выработаны.

Приступая къ выпуску въ свѣтъ настоящей книги, редакція сочла своимъ долгомъ извѣстить объ этомъ автора сочиненія, профессора Сильвануса П. Томпсона. На это извѣщеніе профессоръ не замедлилъ отвѣтить сочувственнымъ письмомъ, автографъ котораго помѣщенъ на слѣдующей страницѣ.

Въ заключеніе редакція считаетъ своимъ долгомъ выразить свою искреннюю благодарность Владиміру Яковлевичу Флоренсову и Владиміру Владиміровичу Лермантову, а также и другимъ лицамъ, способствовавшимъ своими трудами и участіемъ появленію въ свѣтъ русскаго перевода книги профессора Сильвануса Томпсона.

*16 Февраля 1892 года.*

---

Technical College, Finsbury.  
London, E.C.

le 15<sup>th</sup> Fevrier 1892

Monsieur le Rédacteur: -

Je viens de recevoir votre honnête  
du 11<sup>me</sup>, et je m'empresse de vous remercier  
de tout mon coeur l'honneur que vous me  
faites en traduisant en russe mon livre  
sur l'électroaimant. C'est pour moi un  
grand plaisir de trouver que mon livre,  
qui représente un travail de six ou sept  
années, a trouvé un si bon accueil parmi  
les électrotechniciens de tous les pays.

Veuillez bien, Monsieur le Rédacteur,  
agréer mes salutations les plus  
cordiales,

Monsieur

A Smernoff  
Chef rédacteur du  
journal "Elektrichestvo".

Silvanus P. Thompson.

## ПРЕДИСЛОВІЕ.

---

Электромагнитъ былъ впервые описанъ Вильямомъ Стюрже-номъ (William Sturgeon) 23 Мая 1825 г. въ его рѣчи предъ Society of Arts. Его сочиненія относительно этого вопроса можно найти въ 43 томѣ Transactions of the Society of Arts. Мы, по справедливости, должны цѣнить очень высоко это изобрѣтеніе. Сфера дѣйствія электротехники, послѣдней и самой сильной вѣтви прикладной науки, очень обширна. Динамо-машина для возбужденія электрическаго тока, двигатель для обратнаго преобразованія энергіи тока въ механическую работу, лампа съ вольтовой дугой, электрическій звонокъ, телефонъ, различныя машины для каменноугольныхъ копей, для очищенія рудъ и многія другія электромеханическія изобрѣтенія входятъ въ эту сферу. Во всѣхъ этихъ приложеніяхъ электричества, а также и во многихъ другихъ, столь же полезныхъ, главнымъ органомъ служить электромагнитъ. При помощи самаго простаго приспособленія — желѣзнаго сердечника, окруженнаго мѣдной проволокой, мы можемъ, дѣйствіемъ электрическаго тока, передавать механическую силу на любое разстояніе. Намъ извѣстно, что механическія дѣйствія мѣняются въ зависимости отъ массы, формы и качества желѣзнаго сердечника; величины и положенія обмотки изъ мѣдной проволоки, сдѣланной вокругъ него; силы электрическаго тока, проходящаго по этой обмоткѣ; формы, качества и разстоянія желѣзной арматуры, на которую дѣйствуетъ обмотанный сердечникъ. Но законы, по которымъ измѣняется механическое дѣйствіе въ зависимости отъ всѣхъ этихъ разнородныхъ величинъ, долгое время были совершенно неизвѣстны и многіе изъ нихъ служили часто предметомъ споровъ. Однако, мало по малу, то, что было темно и неясно, выяснилось и стало понятнымъ. Законы постоянныхъ токовъ, бывшіе прежде совершенно неизвѣст-



ными, стали ясны послѣ открытія извѣстнаго закона Ома. Гельмгольцъ распространилъ его на случай прерывистыхъ токовъ, подобныхъ тѣмъ, съ которыми мы имѣемъ дѣло въ телеграфахъ и, наконецъ, Магсвелю мы обязаны дальнѣйшимъ его распространеніемъ на случай переменныхъ, или какъ иногда говорятъ, волнообразныхъ токовъ. Все это были работы, касавшіяся только электричества, законы же электромагнетизма все еще оставались неоткрытыми. Единственное правильное разсужденіе относительно магнетизма было соединено съ вопросами совершенно другого рода и изложено настолько дурно, что для практическихъ задачъ, имѣющихъ связь съ электромагнетизмомъ, было скорѣе вредно, чѣмъ бесполезно. Ученіе о двухъ магнитныхъ жидкостяхъ, распределенныхъ по внѣшней поверхности магнита, благодаря санкціи такихъ извѣстныхъ ученыхъ, какъ Куломбъ, Пуассонъ, Лапласъ, было, къ несчастью признано, какъ принятое въ наукѣ вмѣстѣ съ закономъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній. Теперь невозможно точно опредѣлить насколько былъ задержанъ вліяніемъ этихъ знаменитыхъ именъ прогрессъ въ ученіи объ электромагнетизмѣ. Мы знаемъ, что для всѣхъ задачъ, исключая развѣ тѣ, которыя имѣютъ значеніе для отвлеченной математики, ученіе о двухъ жидкостяхъ непримѣнимо и ложно. Мы знаемъ, что магнетизмъ не распространенъ только по поверхности, а есть свойство присущее всей массѣ; что главную роль играетъ не наружный, а внутренній магнетизмъ; что, такъ называемый, свободный магнетизмъ на поверхности, какъ кажется, есть явленіе случайное, что магнитъ на самомъ дѣлѣ гораздо сильнѣ намагниченъ въ тѣхъ частяхъ, гдѣ намагниченная поверхность наименьшая; наконецъ, что теорія поверхностнаго распределенія жидкостей, рѣшительно не можетъ служить основаніемъ расчетовъ, нужныхъ электротехнику. Ему нужны правила, которыя позволили бы не только вычислить подъемную силу даннаго электромагнита, но, кромѣ этого, руководили бы имъ при проектахъ и постройкахъ электромагнитовъ специальныхъ формъ, требуемыхъ различными случаями, встрѣчающимися въ его практикѣ. Одинъ разъ ему нуженъ сильный электромагнитъ, къ которому якорь приставалъ бы такъ крѣпко, какъ раковина къ своей родной скалѣ; въ другомъ случаѣ, онъ желаетъ имѣть магнитъ съ возможно большимъ пространствомъ притяженія и ему нужны

правила, которыя помогли бы проектировать таковой; въ третьемъ случаѣ, ему нуженъ магнитъ специальной формы, который имѣлъ бы наиболѣе быстрое дѣйствіе, которое только достижимо; наконецъ еще можетъ случиться, что ему придется пожертвовать всѣмъ, лишь бы достигнуть наибольшаго дѣйствія, при наименьшемъ вѣсѣ электромагнита. Старая теорія магнетизма не оказывала ни малѣйшей помощи при рѣшеніи этихъ практическихъ задачъ. Ея облеченіе въ математическую-форму было только насмѣшкой. Мало по малу, однако на этотъ вопросъ пролился новый свѣтъ. Явилось обыкновеніе, не смотря на математиковъ, разсматривать магнетизмъ какого нибудь магнита, какъ нѣчто, что или проходитъ сквозь магнитъ, или движется въ немъ по опредѣленному пути; нѣчто, что съ большей легкостью протекаетъ черезъ вещества, подобныя желѣзу, чѣмъ черезъ другія, сравнительно слабо магнитныя. Аналогія между электрическимъ токомъ въ электропроводящей цѣпи и прохожденіемъ магнитныхъ линій силъ черезъ цѣпь, обладающую магнитною проводимостью, сама по себѣ повлияла на взгляды экспериментаторовъ и породила образъ мысленія совершенно отличный отъ того, который былъ принятъ раньше. Идея о магнитной цѣпи была болѣе или менѣе близка многимъ ученымъ, какъ Ричи (Ritchie), Стюрженъ (Sturgeon), Дове (Dove), Дубъ (Dub) и Деляривъ (De-la-Rive). Послѣдній прямо пользуется выраженіемъ: «Замкнутая магнитная цѣпь». Джоуль нашель, что «максимумъ силы электромагнита, пропорціоналенъ площади его наименьшаго сѣченія» и полагаль, что сопротивление индукціи пропорціонально длинѣ магнитной цѣпи. Мысли Джоуля относительно магнетизма разсѣяны по всѣмъ его сочиненіямъ, но собранныя вмѣстѣ, онѣ составляютъ очень полное изложеніе этого вопроса.

Фарадей считаль доказаннымъ, что каждая линія магнитной силы имѣеть видъ замкнутой кривой; что направленіе этой замкнутой кривой зависитъ отъ магнитной проводимости массъ, расположенныхъ вблизи; что линіи магнитныхъ силъ совершенно подобны линіямъ, происходящимъ въ электрической цѣпи, подъ влияніемъ электрическаго тока. По его мнѣнію магнитъ, окруженный воздухомъ, подобенъ вольтаической батарее, погруженной въ воду или другой какой нибудь электролитъ. Онъ всегда признаваль существованіе силы, подобной электродвижущей въ элек-

трической цѣпи, но однако названіе «магнито-движущая сила» уже болѣе новаго происхожденія. Понятіе о магнитной проводимости можетъ быть найдено въ большомъ трактатѣ Максвелля (т. II, стр. 51)\*), но тамъ только замѣчено ея существованіе. Въ 1873 г. Роуландъ (Rowland), изучая нѣкоторыя новыя свѣденія относительно магнитной проницаемости, нашелъ, что потокъ магнитныхъ силъ сквозь стержень можетъ быть подвергнутъ вычисленію; онъ говоритъ, что элементарный законъ для этого потока «подобенъ закону Ома». Согласно Роуланду намагничивающая сила спиральной обмотки должна быть раздѣлена «на сопротивленіе линіямъ силъ», — вычисленіе, въ которомъ всякій знакомый съ электричествомъ узнаетъ законъ Ома для электрической цѣпи. Онъ приложилъ вычисленіе этого рода для опредѣленія магнитной проницаемости нѣсколькихъ кусковъ желѣза, стали и никкеля. Въ 1882 году и далѣе въ 1883 г. Бозанке (Bosanquet) пошелъ далѣе, употребивъ весьма удобный терминъ *магнито-движущая* (magnetomotive) сила, для обозначенія силы, заставляющей линіи силъ магнитной индукціи проходить черезъ магнитное сопротивленіе\*\*). Въ его сочиненіяхъ вычисленія были приведены въ систему и приложены не только къ изученію отличительныхъ свойствъ желѣза, но и къ явленіямъ, зависящимъ отъ формы желѣза. Бозанке показалъ какъ надо вычислять сопротивленіе отдѣльныхъ частей магнитной цѣпи и, что для того, чтобы получить сопротивленіе всей цѣпи, надо сложить полученныя сопротивленія ея частей. Однако еще раньше принципъ магнитной цѣпи былъ извѣстенъ двумъ изслѣдователямъ, лорду Эльфингстону (Elphinstone) и Винценту (Vincent), которые предлагали примѣнить его къ постройкѣ динамо-машинъ. Два раза они имѣли случай сообщить Королевскому обществу результаты своихъ опытовъ, которые показывали, что одинъ и тотъ же токъ производитъ въ данномъ желѣзѣ гораздо больше магнетизма, если оно составляетъ замкнутую магнитную цѣпь, чѣмъ, если оно имѣетъ какую либо другую форму. За послѣдніе годы понятіе о магнитной прово-

\*) Англійское изданіе.

\*\*) Тутъ Томпсонъ употребляетъ вмѣсто слова resistance (сопротивленіе) слово reluctance, что собственно значить «отвращеніе». Т. к. въ русскомъ языкѣ нѣтъ соотвѣтствующаго технического слова, то всюду далѣе оно будетъ переводиться словомъ: *сопротивленіе*.

димости вошло въ большое употребленіе у строителей динамо-машинъ, которымъ этотъ принципъ служилъ основаніемъ для ихъ вычисленій. Имѣя его они не нуждаются ни въ законѣ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній, ни въ магнитныхъ моментахъ, ни въ знаніи закона поверхностнаго распрежденія магнетизма. Практически, знаніе свойствъ желѣза и простаго закона магнитной цѣпи, было все, что имъ надо было знать. Однако только четыре года тому назадъ Каппъ (Gisbert Kapp) и д-ра Гопкинсонъ (Drs I. and E. Hopkinson) сдѣлали много нужнаго для приложенія этихъ знаній къ проектированію динамо-машинъ, которое до тѣхъ поръ было дѣломъ практики. Выработкѣ основаній теоріи динамо-машинъ много способствовали формулы Форбеса (Forbes), для вычисленія утечки магнетизма и изслѣдованія Айртона и Перри (Ayrton and Perry) о магнитныхъ развѣтвленіяхъ. Благодаря всѣмъ этимъ работамъ, въ настоящее время проектированіе динамо-машинъ составляетъ предметъ точной науки.

Цѣль и предметъ настоящаго курса состоитъ въ томъ, чтобы показать, какъ тѣ самыя соображенія, которыя были съ такимъ успѣхомъ примѣнены къ теоріи динамо-машинъ, могутъ быть приложены къ изученію электромагнитовъ. Такимъ образомъ теорія и практика устройства электромагнитовъ будетъ поставлена разъ навсегда на рациональныя основанія. Мы изложимъ также окончательныя правила для конструктора, которыя могли бы руководить имъ при выборѣ формы и размѣровъ электромагнита, количества мѣдной проволоки для обмотки, необходимаго для полученія желаемыхъ результатовъ. Однако раньше въ главѣ I будетъ сдѣлано историческое обозрѣніе всѣхъ изобрѣтеній, касающихся электромагнитовъ. Глава II заключаетъ различныя соображенія относительно употребленія электромагнитовъ и ихъ формъ. Затѣмъ слѣдуетъ глава III о магнитныхъ свойствахъ желѣза, стали и другихъ матеріаловъ, причѣмъ будутъ рассмотрѣны нѣкоторые способы опредѣленія магнитной проницаемости различныхъ сортовъ желѣза при различныхъ степеняхъ насыщенія и будутъ приведены результаты, полученные различными наблюдателями. Въ связи съ вопросомъ о магнитной проницаемости будетъ рассмотрѣнъ и вопросъ о магнитномъ гистерезисѣ. Глава IV посвящена изученію принципа магнитной цѣпи, который будетъ поясненъ различными числовыми примѣрами. Въ этой же главѣ

приведены нѣсколько экспериментальныхъ данныхъ относительно нѣкоторыхъ дѣйствій электромагнита, особенно относительно притягательныхъ, даны законы приставанья арматуры къ электромагниту и также правила, которыя позволяютъ опредѣлить величины желѣзнаго сердечника и мѣдной обмотки, необходимыя чтобы получить нѣкоторую извѣстную силу приставанья. Въ главѣ V— вычисленія, касающіяся магнитной цѣпи, распространены на случай, когда между электромагнитомъ и арматурой существуетъ воздушное пространство и, слѣдовательно, теченіе магнитныхъ линий отъ одного полюса къ другому. Въ главѣ VI установлены правила для вычисленія мѣдной обмотки и объяснена зависимость между намагничивающей силой обмотки и тепловымъ дѣйствіемъ тока. Затѣмъ слѣдуетъ въ главѣ VII подробное описанье формъ, которыя нужно придавать электромагниту для извѣстныхъ специальныхъ цѣлей. Будутъ отдѣльно рассмотрѣны тѣ электромагниты, которые предназначаются для наибольшаго притяженія, для дѣйствій на возможно большемъ пространствѣ, электромагниты наиболѣе экономичные, электромагниты для послѣдовательнаго соединенія при постоянной силѣ тока и для параллельнаго при постоянномъ потенциалѣ. Наконецъ тѣ, которыми пользуются въ случаѣ переменныхъ токовъ.

Затѣмъ послѣдуетъ обзоръ механизмовъ, которымъ дано начало изобрѣтеніе электромагнита.

Въ главѣ VIII разсматривается катушка съ обмоткой, какъ форма электромагнита, позволяющая достигнуть движенія на значительномъ протяженіи. Глава IX посвящена электрическимъ механизмамъ, разсмотрѣнію способовъ механически обезпечить дѣйствіе электромагнитовъ на значительномъ пространствѣ и уравнять силу, съ которой она дѣйствуетъ на этомъ пространствѣ на арматуру. Тутъ же замѣчены аналогіи между различными электромагнитными механизмами и соответствующими частями обыкновенныхъ механизмовъ. Въ главѣ X трактуется о магнитныхъ вибраторахъ, въ главѣ XI— о механизмахъ для токовъ переменнаго направленія, въ главѣ XII— о двигателяхъ, въ главѣ XIII— объ электромагнитныхъ машинахъ. Глава XIV посвящена вопросу объ предупрежденіи или уменьшеніи искры, которая появляется въ цѣпяхъ, въ которыя входятъ электромагниты. Глава XV, касающаяся примѣненія электромагнитовъ къ хирургіи, составлена при

участии брата автора Доктора Татамъ Томпсона. Въ заключительной главѣ говорится о постоянныхъ стальныхъ магнитахъ.

Настоящій трудъ есть ничто иное, какъ дополненыя лекціи, читанныя авторомъ въ 1890 г. въ Society of Arts. Во многихъ мѣстахъ этой книги, авторъ предпочелъ удержать форму личного обращенія къ читателю, чѣмъ замѣнять ее описательной.

Авторъ долженъ выразить свою искреннюю признательность профессору Вальмслею за помощь, оказанную при изданіи этой книги, и лаборанту Technical College Томасу за содѣйствіе при подготовкѣ лекцій, составляющихъ основу этой книги.

Въ заключеніе авторъ долженъ выразить признательность за тотъ пріемъ, который былъ оказанъ его лекціямъ, какъ въ Англии, такъ и въ Соединенныхъ Штатахъ и выразить надежду, что въ настоящемъ болѣе полномъ видѣ, его трудъ принесетъ нѣкоторую пользу лицамъ, занимающимся электротехникой.

City and Guild's Technical College, Finsbury

Іюль 1891 г.



# ЭЛЕКТРОМАГНИТЬ.

## ГЛАВА I.

### *Историческій очеркъ.*

Дѣйствіе, которое оказываетъ электрической токъ, проходящій по проволоцѣ, на близъ лежащую магнитную стрѣлку, было открыто 1820 году профессоромъ Эрштетомъ. За этимъ первымъ открытіемъ магнитныхъ свойствъ электрическаго тока послѣдовали другія открытія Ампера, Араго, Деви и другихъ экспериментаторовъ. Такъ были изобрѣтены плавучая баттарей и кольцо Деларива, мультипликаторъ Швейгера, гальванометръ Кумминга, приборъ Фарадея для вращенія постоянного магнита, маятникъ Марча, колесо Барлова и др. Но электромагнитъ былъ изобрѣтенъ только въ 1825 году. Въ 1820 г. 25 Сентября Араго сообщилъ, что проволока, соединяющая полюсы баттарей, слѣдовательно по которой проходитъ токъ, притягиваетъ къ своимъ бокамъ желѣзныя опилки. Въ этомъ же сообщеніи онъ говоритъ о томъ, какъ ему удалось сообщить постоянный магнетизмъ стальной иголкѣ, положивъ ее перпендикулярно къ проволоцѣ, по которой проходитъ токъ. Амперъ, которому Араго показалъ этотъ опытъ, высказалъ мнѣніе, что еслибы, вмѣсто прямой проволоки, взять проволочную спираль и положить стальную иголку внутрь ея, то намагничиваніе должно быть болѣе сильное. Этотъ опытъ и былъ произведенъ съ полнымъ успѣхомъ обоими учеными и Амперъ 23 Октября 1820 года читалъ мемуаръ, въ которомъ говорилъ, что этого рода факты подтверждаютъ его теорію намагничиванія.

Деви тоже въ 1820 году, окружая стальную иголку временно обмоткой, по которой проходилъ токъ, показалъ, что токъ придаетъ иголкѣ магнитныя свойства. Но отъ этого опыта нужно было сдѣлать громадный шагъ впередъ для того, чтобы открыть тотъ фактъ, что стержень изъ мягкаго желѣза, окруженный обмоткой изъ мѣдной проволоки, можетъ быть сдѣланъ не только мощнымъ магнитомъ, но магнитомъ, силой котораго можно распо-

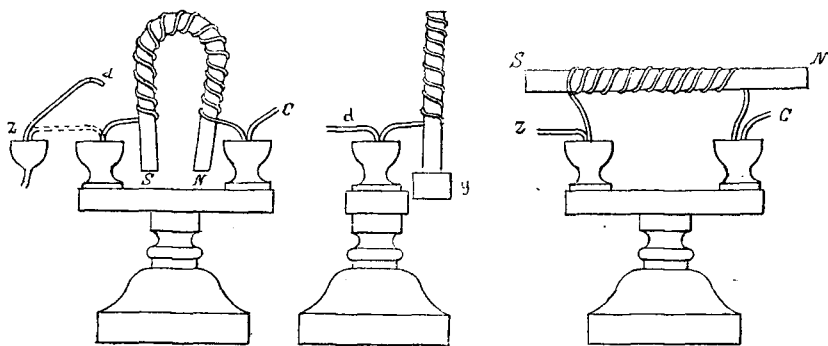
ряжаться, увеличивая ее до желаемой степени, или заставляя ее дѣйствовать на неограниченномъ практически разстояніи отъ экспериментатора.

Первый электромагнитъ обладавшій всѣми этими качествами былъ построенъ Вильямомъ Стюрженомъ и описанъ имъ въ 1825 году въ статьяхъ, помѣщенныхъ въ «Proceedings of the Society of Arts» за этотъ годъ. Въсѣтъ со статьями Стюрженъ представилъ въ Общество и собраніе усовершенствованныхъ приборовъ для опытовъ съ электромагнитами \*). Society of Arts вознаградило труды Стюржена, присудивъ ему серебряную медаль общества и премію въ 30 гиней. Между его приборами было два электромагнита, одинъ подковообразный (фиг. 1 и 2), другой полосовой (фиг. 3). Одинъ чертежъ представляетъ электромагнитъ,

Фиг. 1.

Фиг. 2.

Фиг. 3.



*Первые электромагниты Стюржена.*

состоящій изъ согнутаго стержня изъ мягкаго желѣза длиною 1 футъ и  $\frac{1}{2}$  д. діаметромъ, покрытаго лакомъ и затѣмъ однимъ

\*) Вильямъ Стюрженъ (William Sturgeon), изобрѣтатель электромагнита, родился въ Виттингамѣ въ Ланкаширѣ (Wittingham въ Lancashire) въ 1783 г. Сначала онъ былъ ученикомъ у сапожника, но 19 лѣтъ поступилъ въ Вестмореландскую милицію и черезъ два года былъ взятъ въ королевскую артиллерию, гдѣ и имѣлъ случай изучить кое-какія науки. Имѣя нѣсколько свободнаго времени, онъ со страстью предавался физическимъ и химическимъ опытамъ. Будучи 42-хъ лѣтъ онъ сдѣлалъ свое знаменитое открытіе. Во время своихъ работъ онъ жилъ въ Вульвичѣ, гдѣ находился въ сношеніяхъ съ Марчемъ, Барловымъ, Кристи и Грегори. Въ 1835 г. онъ представилъ свои сочиненія въ королевское общество. Въ нихъ, между прочимъ, говорилось объ магнито-элект-



слоемъ обмотки толстой мѣдной неизолированной проволоки, расположенной вокругъ стержня въ видѣ лѣвой винтовой спирали въ 18 оборотовъ. Эта обмотка вполне соответствовала той, особаго рода батарее, которую употреблялъ Стюржень. Его батарея состояла всего изъ одного элемента, который содержалъ согнутыя въ спираль пластинки мѣди и цинка, погруженныя въ кислоту. Элементъ этотъ, обладая большою поверхностью (около 130 кв. дюймовъ) и слѣдовательно малымъ внутреннимъ сопротивленіемъ, могъ давать сильный токъ во внѣшней цѣпи малаго сопротивленія. Концы мѣдной обмотки были выведены наружу и отогнуты внизъ такъ, чтобы они могли погружаться въ глубокія соединительныя чашечки Z и C, прикрѣпленныя къ деревянной подставкѣ. Чашечки Z и C были изъ дерева и служили для поддерживанья электромагнита. Кромѣ того въ нихъ была налита ртуть, чтобы обезпечить хорошій электрическій контактъ. На фигурѣ 2 магнитъ виденъ съ боку, онъ поддерживаетъ желѣзную полосу *y*. Соединеніе съ батареей установлено при помощи соединительной проволоки *d*, которую можно вынимать изъ чашечки Z и такимъ образомъ, прерывая токъ, можно заставить упасть поддерживаемую тяжесть. Въ объяснительныхъ замѣткахъ Стюржень говоритъ, что полюсы N и S могутъ быть перемѣнены, если обмотать проволоку, какъ правый винтъ, вмѣсто лѣваго или, проще перемѣнивъ соединеніе съ батареей. Для этого нужно соединительную проволоку *d* помѣстить вмѣсто стаканчика Z въ стаканчикъ C и *vice versa*. Этотъ электромагнитъ могъ поддерживать грузъ въ девять фунтовъ.

---

рической машинѣ съ арматурой, обмотанной вдоль по длинѣ и съ коллекторомъ изъ металлическихъ полукруговъ. По нѣкоторымъ причинамъ эти сочиненія не были приняты въ «Philosophical Transactions». Впослѣдствіи Стюржень напечаталъ ихъ цѣликомъ безъ измѣненій въ опубликованномъ въ 1850 году томѣ своихъ «Scientific Researches». Съ 1836 г. до 1843 г. онъ велъ «Annals of Electricity». Въ это же время онъ читалъ въ Манчестерѣ лекціи по электричеству въ Royal Victoria Gallery. Стюржень умеръ въ Прествичѣ (Prestwich), около Манчестра, въ 1850 г. Въ церкви Kirby Lonsdale близъ Виттингстона существуетъ еще его памятникъ въ видѣ плиты. До сихъ поръ думаютъ, что сохранился его портретъ, какъ говорятъ очень похожій на оригиналь, но всѣ попытки отыскать его остались безплодными и въ настоящее время, насколько я знаю, ученый міръ не имѣетъ портрета изобрѣтателя электромагнита.

Чертежъ 3 показываетъ другое устройство электромагнита на той же самой подставкѣ. Тутъ стальная закаленная полоса намагничивалась немедленно послѣ того, какъ ее помѣщали въ спираль, мягкое же желѣзо приобрѣтало магнитное свойство только на время, пока токъ проходилъ по спирали. Этотъ приборъ отличался отъ изображеннаго на фигурѣ 1 и 2 лишь тѣмъ, что не былъ согнутъ и слѣдовательно желѣзная и стальная полосы могли скользить въ спирали взадъ и впередъ.

За эти приборы и нѣкоторые другіе, описанные въ Transactions общества за 1825 г. Стюржень, какъ было уже сказано, получилъ серебряную медаль и премію въ 30 гиней. Приборы были помѣщены въ музей общества, который такимъ образомъ можетъ считаться гордымъ владѣльцемъ перваго электромагнита. Но увы! горька участь людской гордости! Музей общества давно не существуетъ, нѣкоторые приборы изъ него были переданы въ несуществующій тоже Patent Office Museum, другіе утеряны. Стержень перваго электромагнита Стюржена вѣсилъ около 7 унцій и могъ поднять грузъ въ 9 фунтовъ, т. е. въ 20 разъ больше своего вѣса. Его обмотка (въ одинъ разъ) изъ мѣдной проволоки была хорошо приспособлена къ тому простому элементу, которымъ пользовался Стюржень и которая имѣла поверхность въ 130 кв. д. и слѣдовательно малое внутреннее сопротивленіе. Впослѣдствіи въ рукахъ Джоуля тотъ же самый электромагнитъ поднималъ грузъ въ 50 ф., т. е. въ 114 разъ больше своего вѣса. Описывая въ 1832 году приборъ 1825 года, Стюржень говоритъ: «когда я впервые показалъ, что магнитная энергія проволоки, проводящей гальванической токъ, проявляется гораздо сильнѣе, когда она намагничиваетъ мягкое желѣзо, чѣмъ когда мы имѣемъ дѣло съ твердой сталью, то мои опыты были ограничены малостью массъ, съ которыми я экспериментировалъ. Желѣзные прутья имѣли обыкновенно 5 дюймовъ длины и  $\frac{1}{2}$  д. въ діаметрѣ. Нѣкоторые изъ нихъ были употреблены въ видѣ прямыхъ стержней, другіе были согнуты въ форму подковы, но всѣ были окружены спиральнымъ проводникомъ изъ мѣдной проволоки. Магнитная энергія, которую развивали эти простые приборы была по истинѣ замѣчательна, какъ это ясно показываютъ значительные грузы, поддерживаемые ими все время, пока по обмоткѣ проходилъ токъ

Многочисленными опытами было, кромѣ того, доказано, что

электрическій токъ обладаетъ въ высшей степени способностью возбуждать магнетизмъ въ мягкомъ желѣзѣ и доводить эту невидимую силу съ необыкновенной быстротой до напряженія, далеко оставляющаго за собой все, что можетъ быть достигнуто при употребленіи самыхъ мощныхъ постоянныхъ магнитовъ или какихъ нибудь другихъ способовъ до нынѣ извѣстныхъ. При опытахъ съ различными кусками различнаго происхожденія было замѣчено, что не смотря на всѣ старанія сдѣлать ихъ одинаковыми, какъ по размѣрамъ, такъ и по формѣ, они показывали значительную разницу воспримчивости, которою они обладали, для развитія магнитной силы. Тутъ многое зависѣло столько же отъ способовъ обработки и ковки желѣза, сколько и отъ природныхъ его свойствъ \*). Громадная сила электромагнитовъ и та легкость и скорость, съ которою они могутъ быть приведены въ дѣйствіе—вотъ тѣ качества, благодаря которымъ они могутъ быть съ успѣхомъ примѣнены ко многимъ приборамъ, устраиваемымъ для магнитнаго вращенія, въ которыхъ мощные магниты играютъ значительную роль и имѣютъ замѣтное вліяніе. Возможность мѣнять полярность позволяетъ разнообразить опыты съ этимъ, въ высшей степени интереснымъ классомъ явленій и производить новые, неисполнимые, какимъ бы то ни было другимъ образомъ» \*).

Дальнѣйшія работы Стюржена въ продолженіи слѣдующихъ трехъ лѣтъ, лучше всего описаны имъ самимъ:

«Неизвѣстно, чтобы со времени опубликованія моихъ опытовъ въ Transactions of the Society of Arts etc. въ 1825 г. и до послѣднихъ дней 1828 г., дѣлалось много попытокъ съ цѣлью увеличить подъемную способность электромагнитовъ. Г. Ваткинсъ, конструкторъ научныхъ инструментовъ, производилъ изслѣдованія въ гораздо большихъ размѣрахъ чѣмъ я, но мнѣ неизвѣстно до чего онъ довелъ свои опыты».

---

\*) Я сдѣлалъ много экспериментовъ съ небольшими кусками. Изъ нихъ слѣдуетъ, что сильная проковка очень вредна для развитія магнетизма, какая бы причина его не вызывала: гальваническій токъ или что либо иное. Хотя хорошее прокалыванье очень важно, но это средство далеко не возвращаетъ желѣзу ту степень воспримчивости, которую оно теряетъ при проковкѣ. Цилиндрическій пруть можетъ быть легко согнуть безъковки и я нашелъ, что такое приготовленіе лучше.

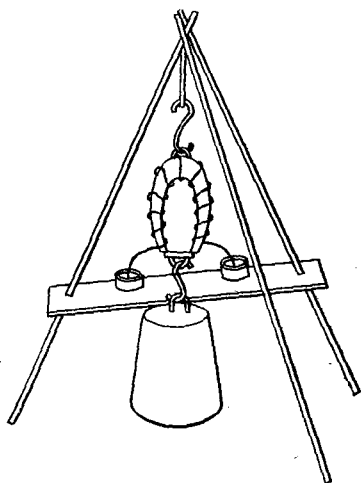
«Въ 1828 году проф. Молль (Moll) изъ Утрехта, будучи въ Лондонѣ, купилъ у Ваткинса электромагнитъ, вѣсившій около 5 фун.; я думаю это былъ самый большой изъ существовавшихъ тогда электромагнитовъ. Онъ былъ сдѣланъ изъ куска круглаго желѣза, около 1 дюйма въ діаметрѣ и былъ снабженъ однимъ слоемъ мѣдной проволоки, которая дѣлала вокругъ него 83 оборота. Будучи возбужденъ гальванической батареей съ большой поверхностью, онъ могъ поддерживать 75 фун. Профессоръ Молль приготовилъ другой изогнутый электромагнитъ, который имѣлъ  $12\frac{1}{2}$  д. высоты и  $2\frac{1}{2}$  д. въ діаметрѣ и вѣсилъ около 26 фун. Онъ былъ снабженъ тоже однимъ слоемъ обмотки. При дѣйствиіи на него батареи въ 11 кв. футовъ поверхностью, онъ могъ поддерживать 154 ф., но не былъ въ состояніи поднять накопительную въ 200 фун.»

«Самый большой электромагнитъ, который я показывалъ на своихъ лекціяхъ въ 1832 г., вѣсомъ около 16 фун. Онъ былъ сдѣланъ изъ квадратной полоски желѣза въ  $1\frac{1}{2}$  дюйма каждая сторона. Якорь былъ сдѣланъ изъ того же куска и имѣлъ  $3\frac{1}{4}$  д. длины. Вокругъ стержня отъ полюса до полюса были намотаны 20 слоевъ проволоки, изолированныхъ одинъ отъ другаго шелковой прокладкой. Длина проволоки въ каждомъ слоѣ была 50 футовъ. Первый слой отстоялъ отъ желѣза всего на толщину одной шелковой прокладки, двадцатый же т. е. послѣдній приблизительно на  $\frac{1}{2}$  дюйма. При помощи шелковой прокладки, проволоки были отлично изолированы одна отъ другой и слѣдовательно можно было избѣгать трудность, покрывать ихъ лакомъ. Концы проволокъ для удобства соединенія выходили наружу приблизительно на два фута. Съ одной изъ моихъ маленькихъ цилиндрическихъ батарей въ 150 кв. д. поверхностью, этотъ электромагнитъ поднималъ 400 фунтовъ. Я пробовалъ его и съ большей батареей, но его сила, кажется, увеличивалась не такъ значительно, какъ этого можно было ожидать при батарееѣ весьма большей поверхности. Значительное вліяніе имѣють свойства кислотнаго раствора. Очень хорошъ растворъ одной части азотной кислоты въ шести частяхъ воды. Съ новой батареей такихъ же размѣровъ, какъ предъидущая, наполненной крѣпкимъ воднымъ растворомъ соли при температурѣ  $190^{\circ}$  F (около  $90^{\circ}$  C) электромагнитъ, у котораго были включены въ цѣпь только 17

первыхъ слоевъ, удерживалъ грузъ около 70 или 80 фунтовъ. Съ одними тремя внѣшними обмотками онъ могъ удержать только одинъ якорь. При температурѣ раствора  $40^{\circ}$  или  $50^{\circ}$  F (т. е.  $5^{\circ}$  или  $10^{\circ}$  C), возбужденная магнитная сила была, сравнительно, очень мала. Съ одной внутренней обмоткой и крѣпкимъ растворомъ кислоты, этотъ электромагнитъ могъ поддерживать 100 фунтовъ, а съ четырьмя внѣшними—около 250 фун. Онъ усиливался съ каждой прибавляемой обмоткой приблизительно до двѣнадцатой, далѣе усиленія не замѣчалось. Остальныя восемь обмотокъ, кажется, бесполезны, хотя внѣшнія три, находящіяся на разстояніи  $\frac{1}{2}$  дюйма, отдѣльно отъ внутреннихъ, даютъ магниту подъемную силу въ 75 фунтовъ.

«Марчъ пользовался желѣзною полосой большихъ размѣровъ, чѣмъ моя съ обмоткою подобною той, которую изобрелъ и употребилъ съ такимъ успѣхомъ проф. Генри (Henry). Электромагнитъ Марча поддерживалъ около 560 фун., если его возбуждали батареей подобной моей. Я думаю, что эти два электромагнита были самыми сильными, когда либо построенными въ Англии. Мой маленькій электромагнитъ, который я употребляю на лекціяхъ и способъ его подвѣски изображены на фиг. 4. Онъ сдѣланъ изъ

Фиг. 4.



Электромагнитъ Стюржена.

цилиндрическаго желѣзнаго прута и вѣсить 4 унціи. Каждый его полюсъ величиною въ  $\frac{1}{4}$  дюйма. Онъ снабженъ проволочными

обмотками, сдѣланными совершенно также, какъ и въ большомъ электромагнитѣ, только что описанномъ. Этотъ электромагнитъ подымалъ 50 фунтовъ. Я нашелъ, что для подвѣски электромагнитовъ, при подобнаго рода опытахъ, наиболѣе удобны треножные козлы. Подставка изъ тонкой доски укрѣплена на двухъ ножкахъ козелъ и она поддерживается на нужной высотѣ двѣ деревянные чашечки, наполненныя ртутью. Въ каждую изъ нихъ помещенъ амальгамированный конецъ обматывающей проволоки. Эти чашечки достаточно вмѣстительны, чтобы позволять, не прерывая тока, нѣкоторое перемѣщеніе погруженныхъ проволокъ въ случахъ, когда магнитъ колеблется или когда къ нему подвѣшивается грузъ. Цѣпь пополнена еще двумя проволоками, соединяющими батарею съ этими двумя чашечками. Если, какъ это показано на чертежѣ, магнитъ поддерживаетъ гирю и мы прервемъ токъ, поднявъ одну изъ соединительныхъ проволокъ, то гиря сейчасъ же упадетъ на столъ».

«Я подвѣшивалъ большіе магниты на такихъ же козлахъ, но болѣе большихъ размѣровъ. Гири, которыя поддерживалъ электромагнитъ, клались одна за другой на четырехугольную доску, подвѣшенную при помощи веревокъ къ крючку желѣзной арматуры, которая уже непосредственно притягивается электромагнитомъ».

«Съ новой батареей, наполненной воднымъ солянымъ растворомъ при  $190^{\circ}$  F (т. е. около  $90^{\circ}$  C), маленькій электромагнитъ, изображенный на фиг. 3, поднималъ 16 фунтовъ».

Въ 1840 г. послѣ переезда въ Манчестръ, гдѣ онъ получилъ въ завѣдываніе Victoria Gallery of Practical Science, Стюрженъ продолжалъ свои работы и вотъ, что онъ пишетъ въ седьмомъ мемуарѣ этой серіи изслѣдованій:

«Электромагнитъ, принадлежащій этому заведенію, сдѣланъ изъ цилиндрической полосы мягкаго желѣза и согнутъ въ подкову, имѣющую двѣ параллельныя вѣтви, находящіяся на разстояніи 4,5 дюйма. Диаметръ желѣзнаго стержня 2,25 д., а длина послѣ согнутія 18 д. На немъ надѣто 14 отдѣльныхъ катушекъ, по семи на каждой вѣтви. Проволока, которая намотана на катушки, имѣетъ  $\frac{1}{12}$  д. въ диаметрѣ и на каждую катушку намотано ея около 70 футовъ. Съ батареей обмотка соединена обыкновеннымъ образомъ. Магнитъ этотъ сдѣланъ Незбитомъ (Nesbit). Наибольшій грузъ, который онъ могъ поднять, былъ 1386 ф. Токъ при этомъ

опытъ доставлялся 16 парами пластинокъ, соединенныхъ въ 4 группы по четыре. Подъемная сила при 19 элементахъ, соединенныхъ послѣдовательно — была значительно меньше, чѣмъ при 10 парахъ, также соединенныхъ послѣдовательно и — немногимъ больше чѣмъ при одной парѣ. Этотъ опытъ интересенъ въ томъ отношеніи, что онъ показываетъ, какъ легко можно повредить магнитной силѣ баттарей, располагая неправильно ея элементы».

Во время работъ Стюржена законы, управляющіе электрическими токами, были еще неизвѣстны. Сдѣлавшій эпоху законъ Ома, явился въ *Poggend. Annalen* въ самый годъ открытія Стюржена, т. е. въ 1825 г.; книга Ома вышла въ 1827 г., а ея англійскій переводъ, сдѣланный Францисомъ, только въ 1841 г. (въ *Taylor's Scientific Memoirs. Vol. II*). Нѣтъ ничего удивительнаго въ томъ, что безъ помощи закона Ома, даже самый искусственный экспериментаторъ, не понималъ отношеній, связывающихъ баттарею и внѣшнюю цѣпь. До открытія этихъ соотношеній нужно было дойти тяжелымъ путемъ попытокъ и неудачъ.

Между многими опытами особенно замѣчательны прозведенныя проф. Генри (Henry), который тогда былъ профессоромъ въ *Albany Institute* въ Нью-Йоркѣ, а затѣмъ въ *Princeton* въ Нью-Джерсей. Въ 1821 г., занимаясь изученіемъ мультипликатора (или гальванометра), онъ предложилъ обматывать электромагниты сплошной спиральной обмоткой изъ проволоки, покрытой шелкомъ такъ, чтобы сосѣдніе обороты проволоки лежали тѣсно одинъ около другаго. Вотъ какъ онъ описываетъ въ 1831 г. результаты своихъ опытовъ:

«Круглый кусокъ желѣза въ  $\frac{1}{4}$  д. въ діаметрѣ былъ согнутъ въ подкову, но вмѣсто того, чтобы, какъ это дѣлается обыкновенно, обмотать его 5 футами проволоки такъ, чтобы обороты далеко отстояли другъ отъ друга, его обмотали 35 футами проволоки, покрытой шелкомъ, такъ, чтобы каждое кольцо тѣсно примыкало къ предыдущему. Всего оборотовъ было около 400. Пара маленькихъ гальваническихъ пластинокъ была погружена въ стаканъ съ разведенной кислотой. Затѣмъ къ нимъ были припаяны концы обмотки. Все вмѣстѣ было укрѣплено на подставкѣ. Съ этими маленькими пластинками, электромагнитъ былъ гораздо сильнѣе, чѣмъ другой, такой же величины и съ такой же обмоткой, на которой дѣйствовала баттарея изъ 28 паръ цинка и мѣди, каждая въ 8 кв. дюймовъ. Этому прибору придали болѣе удобную

форму, измѣнивъ его такъ: желѣзный стержень въ 9 дюймовъ длины былъ обмотанъ 35 футами проволоки и укрѣпленъ горизонтально на мѣдномъ стаканчикѣ, внутри котораго былъ цинковый цилиндръ. Этотъ стаканчикъ служилъ подставкой и вмѣстѣ съ тѣмъ, когда его наполняли разведенной кислотой, служилъ и гальваническимъ элементомъ. Такимъ образомъ былъ устроенъ переносный электромагнитъ. Эти приборы были представлены институту въ 1829 г. въ мартѣ мѣсяцѣ.

«Впослѣдствіи мнѣ пришла въ голову мысль, что маленькая гальваническая пара дастъ достаточно гальванизма для развитія болѣе сильной магнитной силы, если обмотанный кусокъ желѣза будетъ болѣе большихъ размѣровъ. Для опыта былъ взятъ желѣзный цилиндрический стержень въ 10 д. длины и  $\frac{1}{2}$  д. діаметра и согнуть въ форму подковы. На него было намотано 30 фут. проволоки. Съ парой, поверхность цинка которой, была всего  $2\frac{1}{2}$  кв. дюйма, этотъ электромагнитъ поднималъ 15 фунтовъ *avoir du poids*».

«Въ то же самое время, читая подробный отчетъ о мультипликаторѣ Швейгера, я додумался какъ усовершенствовать обмотку. Мысль моя была испробована на той же подковѣ съ большимъ успѣхомъ. Усовершенствованіе состояло въ томъ, чтобы вмѣсто одного слоя проволоки, пользоваться нѣсколькими. Сообразно съ этимъ на подкову была намотана еще одна проволока той же длины, что и первая и концы ея припаяны къ цинку и мѣди такъ, чтобы въ ней токъ имѣлъ тоже направленіе, что и въ первой, т. е., другими словами, чтобы двѣ проволоки дѣйствовали какъ одна \*). Этой прибавочной обмоткой дѣйствіе электромагнита удваивалось. Съ той же батареей онъ поднималъ 28 ф., а съ парой пластинокъ, обладавшихъ поверхностью 4 д.  $\times$  6 д. уже — 39 фунтовъ, т. е. грузъ въ 50 слишкомъ разъ болѣе своего вѣса. Эти результаты ясно показываютъ, что маленькій гальванический элементъ можетъ развить много магнетизма и что сила обмотки очень возрастаетъ при увеличеніи числа проволокъ въ ней, безъ увеличеніи числа оборотовъ каждой проволоки».

Неудовольствовавшись этими результатами, Генри продолжалъ свои изслѣдованія. Онъ хотѣлъ опредѣлить величину магнитной силы, которая можетъ быть произведена самымъ слабымъ токомъ,

\*) Т. е. проволоки были соединены параллельно.



могущимъ быть переданнымъ черезъ сравнительно тонкую мѣдную проволоку, подобную той, которою пользуются для звонковъ. Въ теченіи 1830 г. онъ сдѣлалъ значительные успѣхи, какъ это показываютъ слѣдующія выписки:

«Чтобы узнать какое вліяніе имѣетъ обмотка на возбужденіе магнетизма въ мягкомъ желѣзѣ и чтобы, если возможно, опредѣлить наиболѣе выгодную длину проволоки, былъ предпринятъ докторомъ Тень-Ейкомъ (Philip. Ten-Euck) и мною рядъ опытовъ.

«Поперекъ большой комнаты въ Академіи была нѣсколько разъ протянута мѣдная проволока 0,45 д. въ діаметрѣ (употребляющаяся для звонковъ) длиною въ 1060 футовъ (немного больше  $\frac{1}{5}$  мили).

*Опытъ 1.* Гальваническій токъ отъ простой пары въ 2 кв. д. поверхностью проходилъ черезъ всю длину проволоки. Отклоненіе гальванометра среднее изъ нѣсколькихъ наблюденій было  $15^{\circ}$ .

*Опытъ 2.* Токъ отъ тѣхъ же самыхъ пластинокъ проходилъ черезъ половину длины проволоки, т. е. черезъ 530 фут. Отклоненіе гальванометра было  $21^{\circ}$ .

«Изъ тригонометрическихъ таблицъ ясно, что тангенсы  $15^{\circ}$  и  $21^{\circ}$  почти пропорціональны корнямъ квадратнымъ изъ 1 и 2, т. е. относительныхъ длинъ проволоки въ первомъ и второмъ опытахъ. Длиною обмотки гальванометра можно пренебречь, т. к. она имѣла всего 8 фут. длины.

*Опытъ 3.* Гальванометръ былъ выключенъ и вся проволока присоединена къ концамъ обмотки подковообразнаго магнита изъ мягкаго желѣза въ  $\frac{1}{4}$  д. въ діаметрѣ. Длина его обмотки была 8 ф. и по всей системѣ пропускался токъ отъ той же пары, которой пользовались въ первыхъ двухъ опытахъ. Магнетизмъ подковы былъ едва замѣтенъ.

*Опытъ 4.* вмѣсто маленькой баттареи употребленъ былъ элементъ, состоявшій изъ цинковой пластинки—поверхности 4 д.  $\times$  7 д., окруженной мѣдной пластинкой. Когда элементъ былъ непосредственно соединенъ съ 8 футовой обмоткой подковы, то поднятый грузъ былъ около  $4\frac{1}{2}$  фунт. Когда же токъ проходилъ по всей проволокѣ (1060 ф.), то электромагнитъ могъ поднять лишь  $\frac{1}{2}$  унціи.

*Опытъ 5.* Токъ проходилъ лишь черезъ  $\frac{1}{2}$  длины проволоки, т. е. черезъ 530 ф. Поднятый грузъ былъ 2 унціи.

*Опытъ 6.* Были натянуты двѣ проволоки той же длины, что и въ предыдущемъ опытѣ, такъ, что онѣ составляли два соединенія между цинкомъ и мѣдью элемента. Грузъ поднятый въ этомъ случаѣ былъ 4 унціи.

*Опытъ 7.* Вся длина проволоки присоединялась къ концамъ сосуда, содержащаго 25 двойныхъ пластинокъ, имѣвшихъ ту же поверхность цинка, на которую дѣйствовала кислота, что въ элементѣ въ предыдущемъ опытѣ. Поднятый грузъ былъ 8 унцій.

«Когда промежуточная проволока была выключена и батарея прямо присоединена къ обмоткѣ электромагнита, то онъ поднялъ 7 унцій.....»

«Возможно, что на эти замѣчательные результаты вліяла различная степень сухости сосуда, но, во всякомъ случаѣ, достоверно, что введеніе длинной проволоки, если не увеличиваетъ, то очень мало уменьшаетъ дѣйствіе тока.....»

«Во всякомъ случаѣ очевидно, что прохожденіе тока черезъ длинную проволоку не уменьшаетъ его магнитной силы. Это замѣчаніе прямо приложимо для устройства электромагнитнаго телеграфа Барлова и гальваническихъ обмотокъ.»

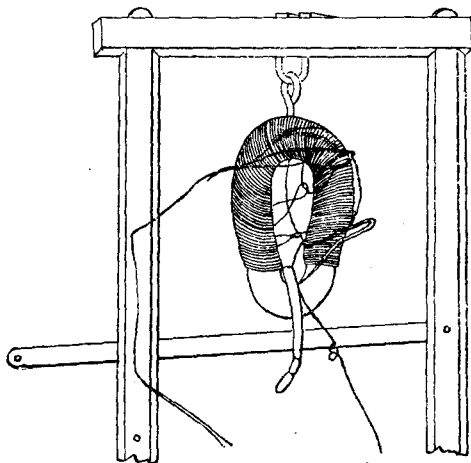
«Изъ этихъ опытовъ ясно, что мы должны пользоваться для обмотокъ или одной длинной проволокой, или нѣсколькими кусками короткой, смотря по тому, какъ этого потребуютъ обстоятельства. Въ первомъ случаѣ наша гальваническая батарея должна состоять изъ нѣсколькихъ пластинокъ, чтобы дать значительную движущую (projectile) силу, въ другомъ случаѣ только изъ одной пары. Чтобы убѣдиться въ истинности этихъ предварительныхъ опытовъ, была взята полоса изъ мягкаго желѣза, въ 2 кв. дюйма въ сѣченіи и 20 дюймовъ длины. Она была согнута въ подкову въ  $9\frac{1}{2}$  дюймовъ высоты. Острыя ея грани были слегка закруглены молоткомъ. Весь сердечникъ вѣсилъ 21 фунтъ. Кусокъ такой же полосы вѣсомъ въ 7 фунтовъ, былъ тщательно отшлифованъ съ одной стороны и изъ него сдѣланъ якорь. Концы вѣтвей магнита плотно прилегали къ якорю. Вокругъ подковы было обмотано 540 футовъ мѣдной тонкой проволоки, раздѣленной на 9 отдѣльныхъ катушекъ, по 60 футовъ въ каждой. Согласно выше высказаннымъ принципамъ, эта обмотка не была непрерывна вдоль всей длины магнита, но каждая катушка занимала длину около 2 дюймовъ и проволока была намотана въ нѣсколько слоевъ. Концы

каждой обмотки выходили наружу и были занумерованы такъ, что было очень легко отличать начало и конецъ каждой проволоки. Такимъ образомъ мы приготовили магнитъ для опытовъ въ большихъ размѣрахъ, въ которомъ простымъ соединеніемъ наружныхъ концовъ можно было дѣлать всѣвозможныя комбинаціи обмотокъ. Если второй конецъ первой проволоки соединить съ первымъ концомъ второй и т. д. во всемъ рядѣ обмотокъ, то они вмѣстѣ образуютъ какъ бы обмотку изъ одной длинной проволоки.

«Соединяя различные концы можно составить или двойную обмотку половинной длины, или тройную длину въ  $\frac{1}{3}$  первоначальной и т. д.

«Электромагнитъ былъ подвѣшенъ въ строго прямоугольной деревянной рамѣ, вышиною въ 3 ф. 9 д. и шириною въ 20 дюймовъ. Подъ магнитомъ была прикрѣплена желѣзная полоса такъ, чтобы она составляла рычагъ втораго рода. Вѣсъ поддерживаемаго груза измѣняли, передвигая гирию по рычагу, какъ въ обыкновенномъ безмѣнѣ (фиг. 5). Гири всѣ были avoir du poids. Въ послѣдую-

Фиг. 5.



Электромагнитъ Генри.

щихъ магнитахъ употреблялась маленькая простая батарея изъ 2 концентрическихъ мѣдныхъ цилиндровъ съ цинкомъ между ними. Вся поверхность цинка, на которую дѣйствовала кислота, была  $\frac{2}{5}$  квадр. фута. Для наполненія батареи, требовалось всего  $\frac{1}{2}$  пинты разведенной кислоты.

*Опытъ 8.* Каждая обмотка по очереди соединялась съ батареей. Развивавшійся при этомъ магнетизмъ былъ какъ разъ достаточенъ, чтобы выдержать тяжесть арматуры, вѣсившей 7 фунтовъ.

*Опытъ 9.* Къ батарееѣ были присоединены двѣ обмотки, по одной съ каждой стороны перегиба полосы, поднятый грузъ былъ 145 фунтовъ.

*Опытъ 10.* Были присоединены двѣ обмотки по одной на каждой изъ вѣтвей у конца ихъ. Поднятый грузъ вѣсилъ 200 фунтовъ.

*Опытъ 11.* Съ тремя обмотками, по одной у каждого конца вѣтвей и одной на серединѣ дуги перегиба, электромагнитъ поднималъ 300 фунтовъ.

*Опытъ 12.* Съ четырьмя обмотками, по двѣ на каждой вѣтви, поднятый грузъ былъ 500 фунтовъ и еще якорь. Когда цинкъ былъ вынутъ изъ кислоты, то магнитъ продолжалъ поддерживать въ продолженіи нѣсколькихъ минутъ грузъ въ 130 фунтовъ.

*Опытъ 13.* Съ шестью обмотками поднятый грузъ былъ 570 фунтовъ. Во всѣхъ этихъ опытахъ проволоки припаявались къ батарееѣ; ртутными контактами не пользовались ни разу.

*Опытъ 14.* Когда къ батарееѣ были присоединены всѣ 9 обмотокъ, то максимумъ груза, который поддерживалъ электромагнитъ, былъ 950 фунтовъ. Надо помнить, что этотъ удивительный результатъ былъ произведенъ батареей, у которой поверхность цинка была лишь  $\frac{2}{3}$  кв. фута и которая требовала для наполненія лишь  $\frac{1}{2}$  пинты (около  $\frac{1}{4}$  литра) разведенной кислоты.

*Опытъ 15.* Батарея, употреблявшаяся въ предыдущихъ опытахъ, была замѣнена другой маленькой, состоявшей изъ цинковой пластинки въ 12 дюймовъ длины и 6 дюймовъ ширины, окруженной мѣдной. Поднятый грузъ былъ въ этомъ случаѣ 750 фунтовъ.

*Опытъ 16.* Чтобы опредѣлить дѣйствіе очень маленькаго гальваническаго элемента, на столь большое количество желѣза, ко всѣмъ обмоткамъ была присоединена пара въ 1 кв. дюймъ поверхностью. Грузъ поднятый былъ 85 фунтовъ.

«Слѣдующіе опыты были сдѣланы съ тѣмъ же магнитомъ, но съ проволоками различной длины.

*Опытъ 17.* Съ шестью проволоками, каждая въ 30 футовъ длины, присоединенными къ гальваническому элементу, поднимался грузъ въ 375 фунтовъ.

*Опытъ 18.* Проволоки, употребленныя въ послѣднемъ опытѣ,

были соединены такъ, что составили 3 обмотки въ 60 футовъ каждая. Поддержанный грузъ былъ 290 фунтовъ. Этотъ результатъ близко подходитъ къ результату опыта II, хотя употребленная обмотка была другая. Изъ этого слѣдуетъ, что 6 короткихъ обмотокъ сильнѣе, чѣмъ три обмотки двойной длины.

*Опытъ 19.* Проволока, которой пользовались въ опытѣ 10, была соединена такъ, чтобы образовать одну простую обмотку въ 120 футовъ длиной. Поднятый грузъ былъ всего 60 фунтовъ, тогда какъ въ опытѣ 10 онъ былъ 200 фунтовъ. Этотъ результатъ подтверждаетъ результаты предыдущаго опыта... При этихъ опытахъ было замѣчено явленіе довольно удивительное. Когда пользовались большой батареей и якорь касался обоихъ полюсовъ магнита, то электромагнитъ былъ способенъ удержать болѣе 700 фунтовъ, тогда какъ, когда якорь касался только одного полюса, то электромагнитъ не могъ выдержать болѣе 5 или 6 фунтовъ и мы никогда не могли достигнуть того, чтобы онъ удержалъ якорь, вѣсившій 7 фунтовъ. Это явленіе можетъ быть общее всѣмъ большимъ магнитамъ, но намъ никогда не приходилось видѣть болѣе рѣзкой разницы между дѣйствіемъ двухъ полюсовъ и одного. Д-ръ Тень-Ейкъ произвелъ отдѣльно рядъ опытовъ, чтобы опредѣлить максимумъ развитаго магнетизма въ маломъ количествѣ мягкаго желѣза. Докторъ Бекъ (Beck) былъ свидѣтелемъ большинства изъ этихъ опытовъ. Мы обязаны ему многими совѣтами и особенно мыслью замѣнить шелкъ, хорошо навощенный бумажной нитью, что значительно удешевило опыты. Онъ же сдѣлалъ нѣсколько опытовъ съ желѣзной проволокой, употребляемой для дамскихъ шляпокъ, которая имѣется въ продажѣ уже покрытая бумагой и можетъ легко замѣнить мѣдную. При малой длинѣ обмотки дѣйствіе было почти тоже, что и съ мѣдной проволокой, но при длинной обмоткѣ и маленькой батарее результаты не получили. Д-ръ Бекъ построилъ тоже подковообразный магнитъ изъ круглаго желѣза въ 1 д. въ діаметрѣ съ четырьмя отдѣльными обмотками, сдѣланными какъ было описано выше. Электромагнитъ съ одной обмоткой поднималъ 30 фунтовъ, съ двумя—60 фун., съ тремя—85 фун., съ четырьмя—112 фунтовъ.

«Въ то время, какъ мы занимались этими изслѣдованіями былъ полученъ послѣдній нумеръ Единбургскаго «Journal of Science», въ которомъ была помѣщена статья проф. Молля объ электромагни-

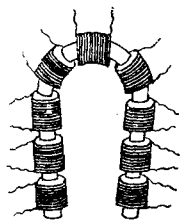
тизмъ. Нѣкоторые изъ его результатовъ сходны со здѣсь описанными. Цѣль изслѣдованій проф. Молля была однако другая, именно, онъ желалъ получить сильный магнетизмъ въ мягкомъ желѣзѣ, пользуясь сильной гальванической батареей. Главная же цѣль нашихъ опытовъ была, получить небольшую магнитную силу при помощи возможно меньшаго количества гальванизма. Статья Молля только заставила ускорить публикацію этихъ изслѣдованій. Принципы, на которыхъ они были основаны, были намъ извѣстны уже два года тому назадъ и были сообщены «Albany Institute».

Въ слѣдующемъ номерѣ «Silliman's Journal» (апрѣль 1831). Проф. Генри даетъ описаніе большаго электромагнита сдѣланнаго для лабораторіи «Yale College». Сердечникъ этого электромагнита вѣсилъ  $59\frac{1}{2}$  фун. Онъ былъ выкованъ подъ надзоромъ проф. Генри, а обмотка была сдѣлана Д-ромъ Тень-Эйкомъ. Обмотка состояла изъ 26 отдѣльныхъ катушекъ мѣдной тонкой проволоки; длина ея была 728 фут. Приводился въ дѣйствіе этотъ электромагнитъ двумя элементами съ поверхностью въ  $4\frac{7}{8}$  дюйм. Онъ легко поддерживалъ на своемъ якорѣ, вѣсившемъ 25 фунтовъ, грузъ въ 2063 фунта.

Описывая произведенные имъ раньше опыты, Генри останавливается на разсмотрѣніи вліянія обмотокъ и силы батареи.

«Чтобы сдѣлать провѣрку этихъ принциповъ въ большихъ размѣрахъ, былъ построенъ электромагнитъ, представленный на фиг. 6.

Фиг. 6.



Электромагнитъ  
Генри.

Нѣсколько катушекъ были надѣты на одну и ту же полосу; концы проволокъ на катушкахъ выходили для болѣе удобнаго соединенія наружу. Обмотки можно было соединять такъ, что они составляли имъ одну длинную сплошную обмотку, или нѣсколько комбинацій отдѣльныхъ обмотокъ малой длины.

«Рядомъ опытовъ съ этимъ магнитомъ, а также и съ другими, было доказано, что для того, чтобы произвести большое количество магнетизма съ батареей, состоящей изъ одной пары, надо нѣсколько обмотокъ. Когда же пользуются сложной батареей, то нужно брать обмотку изъ длинной проволоки, дѣлающей много оборотовъ вокругъ желѣзнаго сердечника. Длина проволоки и число оборотовъ должны быть, слѣдовательно, подобраны соотвѣт-

ственно движущей силѣ баттарей. При описаніи результатовъ моихъ опытовъ введены, съ цѣлью избѣжать многословія, два термина: «напряженіе» и «количество». Ихъ слѣдуетъ понимать въ слѣдующемъ техническомъ смыслѣ. Подъ именемъ *напряженнаго* магнита я подразумѣвалъ такой кусокъ мягкаго желѣза, окруженнаго проволокой, магнитная сила котораго можетъ быть развита баттареей, элементы которой соединены послѣдовательно. *Количественнымъ* магнитомъ—такой кусокъ желѣза съ нѣсколькими обмотками, магнетизмъ котораго можетъ быть развитъ только количественной баттареей \*).

«Я первый указалъ на соотношеніе между двумя этими видами баттарей и двумя сортами электромагнитовъ въ моей статьѣ въ *Silliman's Journal* за январь 1831 г. и ясно показалъ, что, когда магнетизмъ развивается сложной баттареей, то нужно употреблять одну длинную обмотку; если же нужно произвести наибольшее дѣйствіе простой баттареей изъ одной пары, то нужно пользоваться нѣсколькими обмотками...

«Ни электромагнитъ Стюржена, ни какой бы то ни было другой сдѣланный раньше моихъ изслѣдованій, не годился для передачи силы на разстояніе. Электромагнитъ сдѣланный Стюрженомъ и скопированный Дана (Dana) изъ Нью-Йорка былъ несовершенный количественный магнитъ, слабая сила котораго развивалась простой баттареей».

Въ заключеніе Генри говорить:

1) «Раньше, чѣмъ были сдѣланы мои изслѣдованія, способы развитія магнетизма въ мягкомъ желѣзѣ понимались неправильно, и электромагниты, которые тогда существовали, не могли быть примѣнены для передачи силы на разстояніе».

2) «Я первый показалъ своими опытами, что для того, чтобы развитъ магнитную силу на разстояніи, нужно употребить баттарею съ большимъ напряженіемъ, чтобы возможно было провести силу сквозь длинный проводникъ и что для произведенія механическаго дѣйствія надо пользоваться электромагнитомъ съ большимъ количествомъ оборотовъ одной длинной проволоки».

3) «Я первый намагнитилъ кусокъ мягкаго желѣза на разстояніи и первый привлекъ вниманіе на то, что это явленіе можетъ быть примѣнимо для телеграфа».

\*) Въ послѣднемъ случаѣ элементы соединяются параллельно.

4) «Я первый привелъ при помощи электромагнита въ звучаніе колокольчикъ, находившійся на нѣкоторомъ разстояніи».

5) «Принципы, развитые мною, были примѣнены Д-ръ Гале (Gale) къ аппарату Морзе и сдѣлали его примѣнимымъ для дѣйствія на разстояніи».

Хотя изслѣдованія Генри были опубликованы въ 1831 г., но они еще въ продолженіи нѣсколькихъ лѣтъ были вполнѣ не извѣстны въ Европѣ. Въ 1837 году въ апрѣлѣ, когда Генри самъ посѣтилъ Витстона въ его лабораторіи въ «King's College», послѣдній не умѣлъ еще устраивать электромагниты, которые могли бы дѣйствовать на разстояніи черезъ длинную проволочную цѣпь. Кукъ (Cook), который потомъ сталъ его помощникомъ, пришелъ къ нему въ февралѣ 1837 г., чтобы посоветоваться относительно своего телеграфа и сигнальнаго аппарата, въ которыхъ электромагнитъ не дѣйствовалъ, когда цѣпь была длиною въ милю, при короткой же цѣпи дѣйствовалъ хорошо. Витстонъ находилъ, что явленіе это вполнѣ ясно:

«Основываясь на моихъ прежнихъ наблюденіяхъ, я сказалъ однажды Куку, что проектируемый имъ телеграфъ не можетъ и не будетъ дѣйствовать, т. к. невозможно сообщить электромагниту, помѣщенному въ длинной цѣпи, достаточную притягательную силу. Чтобы убѣдить его въ истинности этого мнѣнія, я пригласилъ его въ King's College, чтобы при немъ повторить опыты, изъ которыхъ я вывелъ это заключеніе. Онъ пришелъ и, осмотрѣвъ много вольтаическихъ магнитовъ, въ которыхъ даже и сильныя батареи вызывали лишь слабую притягательную силу, выразилъ свое разочарованіе». Послѣ визита Генри Витстону, послѣдній перемѣнилъ тонъ. Онъ пользовался раньше *faute de mieux* для того, чтобы привести въ дѣйствіе электромагнитъ своего сигнальнаго аппарата вспомогательнымъ реле въ короткой цѣпи съ мѣстной батареей.

«Эта короткая цѣпь почти потеряла свое значеніе со времени моего открытія, которое показало, что возможно строить такіе электромагниты, которые позволяютъ производить требуемое дѣйствіе прямымъ токомъ даже въ очень длинной цѣпи».

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію изслѣдованій недавно умершаго знаменитаго физика Джоуля, который, заинтересованный работами Стюджена, написалъ рядъ очень цѣнныхъ статей по вопросу объ электромагнитахъ. Большая часть ихъ была помѣщена



«Annals of Electricity» Стюржена и въ «Proceedings of the Literary and Philosophical Society of Manchester». Пять лѣтъ тому назадъ, Лондонское физическое общество вновь напечатало ихъ отдѣльнымъ изданіемъ.

Въ первыхъ своихъ изслѣдованіяхъ Джоуль старался выработать электрическій двигатель. Вотъ выписка изъ его отчета («Reprint of Scientific Papers» p. 7).

«Для дальнѣйшихъ изслѣдованій я взялъ 6 круглыхъ желѣзныхъ полосъ различной длины и толщины и полый металлическій цилиндръ, стѣнки котораго были толщиною въ  $\frac{1}{13}$  дюйма. Всѣ эти сердечники были согнуты въ видѣ буквы U такъ, чтобы разстояніе между полюсами ихъ было  $\frac{1}{2}$  дюйма. Каждая вѣтвь была обмотана изолированной мѣдной проволокой въ  $\frac{1}{40}$  д. диаметромъ. При одинаковыхъ токахъ на разстояніи  $\frac{1}{2}$  дюйма они притягивали прямой стальной магнитъ въ  $1\frac{1}{2}$  д. длины, привѣшенный горизонтально коромыслу вѣсовъ, съ различной силой. Въ слѣдующей таблицѣ приведены данныя, добытыя опытомъ.

	№ 1 полый ци- линдръ.	№ 2 сплош- ной.	№ 3 сплош- ной.	№ 4 сплош- ной.	№ 5 сплош- ной.	№ 6 сплош- ной.	№ 7 сплош- ной.
Длина согнутаго магнита въ дюймахъ . . . . .	6	$5\frac{1}{2}$	$2\frac{2}{3}$	$5\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{4}$
Диаметръ въ дюймахъ . .	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
Притяженіе стального ма- гнита въ гранахъ . . . .	7,5	6,3	5,1	5,0	4,1	4,8	3,6
Поддерживаемый грузъ въ унціяхъ . . . . .	36	52	92	36	52	20	28

«Стальной магнитъ даетъ притягательную силу въ 23 грана, тогда какъ его подъемная сила ~~не~~ болѣе 60 унцій.

«Вышеозначенные результаты не покажутся невѣроятными, если принять во вниманіе, во первыхъ — сопротивленіе, оказываемое желѣзомъ магнитной индукціи и во вторыхъ — то значительное усиленіе индукціи, которое происходитъ, когда магнитная цѣпь замкнута якоремъ.

«Ничего не можетъ быть замѣчательнѣе отношенія между подъемной силой различныхъ магнитовъ и притягательной. Въ то время

какъ стальной магнитъ притягиваетъ съ силой въ 23 грана и поддерживаетъ 60 унцій, электромагнитъ № 3 притягиваетъ съ силой только въ 5,1 гр., но зато поддерживаетъ цѣлыхъ 92 унцій.

«Чтобы сдѣлать хорошій электромагнитъ съ значительной подъемной силой, надо:

«1) Чтобы желѣзо при значительной толщинѣ не было сплошное, а состояло изъ нѣсколькихъ кусковъ хорошаго качества и хорошо прокаленныхъ.

«2) Чтобы толщина желѣза, по отношенію къ его длинѣ, была гораздо больше, чѣмъ это дѣлается обыкновенно.

«3) Чтобы полюсныя поверхности были хорошо отшлифованы и совершенно плотно прилегали къ якорю.

«4) Чтобы толщина якоря соответствовала толщинѣ сердечника электромагнита.

«При изученіи формы, при которой электромагнитъ притягиваетъ на разстояніи наилучшимъ образомъ, надо обратить вниманіе на два пункта, а именно: на длину желѣзнаго сердечника и на площадь его сѣченія.

Я всегда считалъ невыгоднымъ увеличивать длину сердечника болѣе, чѣмъ то необходимо для обмотки изолированной проволоки».

Эти результаты были опубликованы въ мартѣ 1839 г. Въ маѣ того же года Джоуль предложилъ слѣдующій законъ относительно взаимнаго притяженія электромагнитовъ:

«Взаимная притягательная сила двухъ электромагнитовъ другъ къ другу прямо пропорціональна квадрату электрической силы, которая дѣйствуетъ на желѣзо, или, если,  $C$  обозначаетъ электрической токъ,  $W$ —длину проволоки, а  $M$ —магнитное притяженіе, то  $M = E^2 W^2$ ».

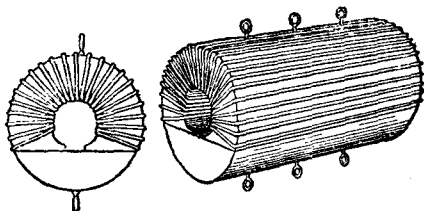
Противорѣчія, которыя Джоуль наблюдалъ самъ, онъ справедливо приписывалъ свойству желѣза насыщаться магнетизмомъ. Въ мартѣ 1840 г. онъ распространилъ этотъ законъ и на подъемную силу подковообразнаго электромагнита.

Въ августѣ 1840 г. онъ написалъ въ «Annals of Electricity» объ электромагнитныхъ силахъ. Работая надъ этимъ вопросомъ, онъ употреблялъ нѣсколько особенныхъ электромагнитовъ. Одинъ изъ нихъ имѣлъ форму, показанную на фиг. 7. Какъ магнитъ, такъ и желѣзный якорь снабжены ушками для подвѣшиванія

электромагнита и для, груза измѣряющаго силу, нужную для отрыванія якоря. Джоуль такъ описываетъ свои опыты:

«Продолжаю описывать свои электромагниты, которые я бралъ различной величины, чтобы обнаружить явленія, которыя могли при этомъ представиться.

Фиг. 7.



Электромагнитъ Джоуля.

«Взять кусокъ ковannaго желѣза цилиндрической формы, длиною въ 8 дюймовъ; по оси въ немъ просверлено отверстіе въ 1 дюймъ въ діаметрѣ. Цилиндръ былъ распилень параллельно оси такъ, чтобы, щель отдѣляла полученные такимъ образомъ полюсы на  $\frac{1}{3}$  дюйма другъ отъ друга. Другой кусокъ желѣза тоже въ 8 дюймовъ отшлифованъ такъ, чтобы его поверхность могла обезпечить полное прикосновеніе съ другою плоскостью. Затѣмъ все вмѣстѣ обточено въ цилиндръ въ 8 д. длиною,  $3\frac{3}{4}$  наружную и 1 д. внутренняго діаметра. Ббльшій кусокъ затѣмъ былъ обтянуть коленкоромъ, и на него намотаны четыре изолированныя проволоки каждая 23 фута длиною и  $\frac{1}{11}$  д. въ діаметрѣ. Это количество проволоки было какъ разъ достаточно, чтобы покрыть наружную поверхность и заполнить внутреннее отверстіе. Этотъ электромагнитъ былъ обозначень № 1, всѣ же остальные обозначались нумерами въ порядкѣ, въ которомъ они будутъ описаны.

«Я сдѣлалъ электромагнитъ № 2 изъ круглой желѣзной полосы въ 2,7 д. длиною, и  $\frac{1}{2}$  д. въ діаметрѣ согнутой почти въ полукругъ и покрытой 7 футами изолированной проволоки въ  $\frac{1}{20}$  д. толщины. Полюсы находились другъ отъ друга на разстояніи  $\frac{1}{2}$  д. такъ, что проволока совершенно наполняла пространство между ними.

«Третій электромагнитъ былъ сдѣланъ изъ куска желѣза 0,7 д. длины, 0,37 д. ширины и 0,15 д. толщины. Ему была придана

такая форма, что въ поперечномъ сѣченіи онъ представлялъ эллипсъ. Затѣмъ онъ былъ согнутъ въ форму полукруга и обмотанъ 19 дюймами изолированной шелкомъ мѣдной проволоки въ  $\frac{1}{40}$  д. въ діаметрѣ.

«Чтобы получить еще большія измѣненія, я построилъ электромагнитъ, который по своей малости можетъ быть названъ *элементарнымъ*. Я думаю, что это наименьшій изъ когда-либо сдѣланныхъ электромагнитовъ. Онъ состоитъ изъ маленькаго кусочка желѣзной проволоки въ  $\frac{1}{4}$  д. длиной и въ  $\frac{1}{25}$  д. въ діаметрѣ, согнутаго въ полукругъ и обмотаннаго тремя оборотами неизолированной мѣдной проволоки, въ  $\frac{1}{40}$  д. толщиной».

Съ помощью этихъ электромагнитовъ были сдѣланы опыты съ токами различной силы, причемъ притягательныя силы измѣрялись рычагами особаго устройства.

Результаты вкратцѣ состояли въ слѣдующемъ:

Электромагнитъ № 1, сердечникъ котораго вѣситъ 15 ф требуетъ для того, чтобы оторвать арматуру, грузъ въ 2090 фунтовъ. Для № 2, въ которомъ сердечникъ вѣситъ 1057 гранъ, требуется для той же цѣли грузъ въ 49 фун., № 3 съ сердечникомъ въ 65,3 гр. поддерживаетъ грузъ въ 12 фун., т. е. въ 1286 разъ больше своего вѣса. Наконецъ № 4, вѣсъ котораго равенъ лишь  $\frac{1}{2}$  грана, поддержалъ 1417 гр., т. е. грузъ въ 2834 раза больше своего вѣса.

«Работа съ такими маленькими приборами требуетъ большаго терпѣнія и можетъ быть я могъ бы въ концѣ концовъ получить магнитъ бѣльшей величины, чѣмъ предыдущій, который однако развивалъ бы сравнительно съ своимъ вѣсомъ силу, гораздо бѣльшую, чѣмъ выше описанный, хотя и этотъ развивалъ силу относительно своего вѣса въ 11 разъ бѣльшую, чѣмъ знаменитый магнитъ Ньютона».

«Извѣстно, что стальной магнитъ долженъ быть гораздо больше въ длину, чѣмъ въ ширину и толщину и Скоресби (Scoresby) нашелъ, что если сложить вмѣстѣ нѣсколько прямыхъ стальныхъ магнитовъ и потомъ ихъ разъединить, то сила каждаго изъ нихъ уменьшается. Причина этого явленія заключается въ томъ, что каждая часть стремится произвести въ сосѣдней части магнетизмъ противоположный своему собственному. Но нѣтъ причины распространять этотъ принципъ, относящійся къ стали, и на электромаг-

ниты, т. к. тутъ для того, чтобы совершить то, что въ стальномъ магнитѣ совершаетъ слабая задерживающая способность является индуктивная сила. Всѣ произведенные опыты согласны съ этимъ положеніемъ. Слѣдующая таблица ясно показываетъ общій законъ, что максимальная сила электромагнита прямо пропорціональна наименьшей площади его поперечнаго сѣченія. Второй столбецъ этой таблицы заключаетъ въ себѣ размѣры въ квадр. дюймахъ наименьшаго поперечнаго сѣченія во всей магнитной цѣпи. Въ третьемъ столбцѣ приведены максимальныя силы въ фунтахъ avoirdupois, а въ четвертомъ подъ заглавіемъ «удѣльная сила», та-же самая сила, что и въ третьемъ столбцѣ, но приведенная къ квадратному дюйму сѣченія.

Таблица I.

О п и с а н і е.	Площадь наименьш. сѣченія.	Макси- мальная сила.	Удѣльная сила.
Мои электромагниты . . . . .	№ 1	10	2090
	2	0,196	49
	3	0,0436	12
	4	0,0012	0,202
Электромагнитъ Несбита длиною по кривой 3 фута. Диаметръ желѣзнаго сердечника $2\frac{3}{4}$ д. площадь сѣченія 5,7 кв. д. Тоже у якоря 4,5 кв. д. Вѣсъ сердечника около 50 фун. . . . .	4,5	1428	317
Электромагнитъ Генри. Длина по кривой 20 д. Площадь сѣченія 2 кв. д. Вѣсъ 21 фунтъ. Острые концы закруглены . . . . .	3,94	750	190
Образецъ Стуржена. Длина по кривой около 1 фута, диаметръ круглой полости $\frac{1}{2}$ д. . . . .	0,196	50	255

Приведенныхъ примѣровъ, думаю достаточно для доказательства предложеннаго мною правила. № 1 не былъ вполне насыщенъ, иначе я увѣренъ, что его сила достигла бы 300 ф. на кв. дюймъ. Удѣльная сила № 4 также не велика, вслѣдствіе трудности производить съ нимъ точные опыты».

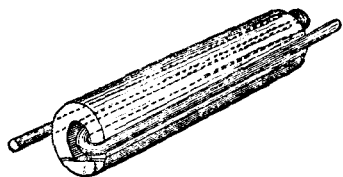
За этими опытами слѣдовали другіе съ цѣлью опредѣлить вліяніе длины желѣзнаго сердечника электромагнита, которая, по

мѣнѣю Джоуля, представляетъ намагничиванью сопротивленіе, положительно пропорціональное своей длинѣ, по крайней мѣрѣ въ тѣхъ случаяхъ, когда степень намагничиванья далека отъ точки насыщенья. Это мѣнѣе теперь, черезъ 50 лѣтъ вполне подтвердилось.

Въ ноябрѣ того же года были напечатаны дальнѣйшіе опыты въ томъ же направленіи.

Изъ желѣзной трубочки приготовили, совершенно также, какъ въ предыдущемъ случаѣ, магнитъ въ видѣ полога цилиндра въ 2 фута длиной, 1,42 д. внѣшняго и 0,5 внутренняго діаметра (фиг. 8). Площадь наименьшаго поперечнаго сѣченія была  $10^{1/4}$

Фиг. 8.



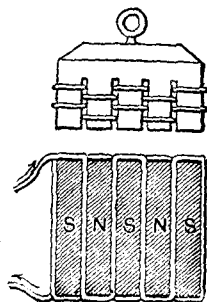
Цилиндрическій электромагнитъ  
Джоуля.

кв. д. Обмотка, возбуждавшая магнетизмъ, состояла изъ простой мѣдной палочки, обернутой тесьмой и согнутой въ видѣ буквы S. Впослѣдствіи она была замѣнена обмоткой изъ 21 мѣдной проволоки въ 1,25 д. въ діаметрѣ, каждая длиною въ 23 фута, связанныхъ вмѣстѣ бумажной тесемкой. Приведенный въ дѣйствіе баттарей изъ 16 чугуновыхъ элементовъ Стюржена, каждая съ поверхностью въ 1 кв. футъ, соединенныхъ по 4 послѣдовательно, такой электромагнитъ даетъ подъемную силу 2775 фунтовъ.

Работы Джоуля были достойны учителя, отъ котораго онъ получилъ первыя свѣдѣнія объ электромагнетизмѣ. Кромѣ описаній, помѣщенныхъ въ «Annals» Стюржена, онъ также показывалъ два изъ своихъ электромагнитовъ въ Victoria Gallery of Practical Science», гдѣ директоромъ былъ Стюржень. Работы Джоуля подстрекнули къ занятіямъ электромагнетизмомъ и многихъ другихъ ученыхъ, предлагавшихъ различныя формы для электромагнитовъ; между ними были Радфордъ и Ричардъ Робертсъ изъ Манчестера—послѣдній извѣстный инженеръ и изобрѣтатель. Электромагнитъ Радфорда состоялъ изъ плоскаго диска съ глубокими спиралеобразными выемками на поверхности, въ которыя была уложена изолированная мѣдная проволока. Якорь былъ тоже гладкій желѣзный дискъ тѣхъ же размѣровъ. Эта форма описана въ IV томѣ «Annals» Стюржена. Электромагнитъ Робертса состо-

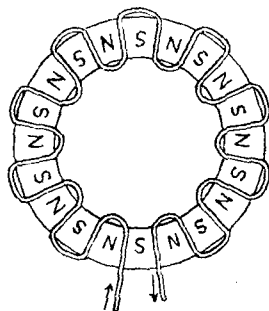
ялъ изъ прямоугольнаго куска желѣза съ параллельными прямыми поперечными желобками, какъ изображено на фиг. 9. Описанъ онъ въ VI томѣ «Annals» Стюржена стр. 166. Его полюсная поверхность была  $6\frac{1}{2}$  кв. дюймовъ, а толщина  $2\frac{7}{16}$  д. Онъ вѣсилъ вмѣстѣ съ обмотками 35 фунтовъ. Якорь съ поверхностью соприкосновенія, равной полюсной поверхности электромагнита и толщиной въ  $1\frac{1}{2}$  д., вѣсилъ 23 фунта. Робертсъ утверждаетъ, что магнитъ такой же толщины, но съ поверхностью полюсовъ въ 5 кв. футовъ, могъ бы выдержать 100 тоннъ. Нѣкоторые изъ приборовъ Робертса до сихъ поръ сохранились *Электромагнитъ Робертса* въ музеѣ Peel Park'a въ Манчестерѣ.

Фиг. 9.



На страницѣ 431 того же тома «Annals», Джоуль представилъ описаніе еще одной формы электромагнита, которая походила въ общемъ на представленную на рисункѣ 10, но онъ на самомъ дѣлѣ былъ составленъ изъ 24 отдѣльныхъ плоскихъ кусковъ желѣза, прикрѣпленныхъ къ круглому латунному кольцу. Арматура была такого же устройства. Желѣзо магнита вѣсило 7 фун., арматуры 4,55 ф. При батарееѣ изъ 16 чугунныхъ элементовъ Стюржена, магнитъ поднималъ грузъ въ 2710 фун.

Фиг. 10.



Въ одномъ изъ сочиненій, посвященномъ вопросамъ о тепловыхъ дѣйствіяхъ электромагнетизма, вышедшемъ въ 1843 году, Джоуль помѣстилъ описаніе еще одной формы подковообразнаго электромагнита, сдѣланнаго изъ куска котельнаго желѣза. Этотъ электромагнитъ былъ устроенъ не для того, чтобы давать большую подъемную силу, но чтобы образовать магнитное поле для двигателя. Въ 1852 г. Джоуль построилъ для своихъ опытовъ еще одинъ сильный подковообразный электромагнитъ вродѣ вышеописаннаго. Онъ пришелъ къ заключенію, что на основаніи начала магнитнаго насыщенія, было бы невѣроятно, чтобы какая-

*Электромагнитъ Джоуля съ  
визуальной обмоткой.*

бы то ни было сила электрическаго тока могла произвести магнитное притяженіе больше, чѣмъ 200 фун. на квадратный дюймъ. Значитъ наибольшій грузъ, поддерживаемый электромагнитомъ, сдѣланнымъ изъ желѣзной полосы въ 1 кв. дюймъ въ сѣченіи согнутой въ дугу, не будетъ превышать 400 фун.

Изслѣдованіями Джоуля можно закончить первый періодъ развитія ученія объ электромагнитахъ. Понятіе о магнитной цѣпи, которое руководило трудами Джоуля, не обратило на себя тогда вниманія ученыхъ физиковъ, практики же, какъ напримѣръ телеграфные инженеры, довольствовались большею частью чисто эмпирическими свѣдѣніями. Между практиками и теоретиками легла цѣлая пропасть. Теоретики, признавая, что магнетизмъ состоитъ въ поверхностномъ распредѣленіи полярности и что законы электромагнита тѣ же, что и законы стального магнита, установили правила, непримѣнимыя во многихъ случаяхъ, встрѣчающихся на практикѣ. Эти правила скорѣе задерживали, чѣмъ подвигали дѣло впередъ. Практики, не находя помощи въ теоріи, пренебрегали ею, какъ бесполезной и вводящей въ заблужденіе. Правда, нѣсколько ученыхъ произвели рядъ тщательныхъ изслѣдованій и результаты ихъ изложили въ формѣ правилъ. Наиболѣе выдающимися между ними были Ричи (Ritchie), Робинзонъ (Robinson), Мюллеръ (Müller), Дубъ (Dub), Фонъ-Кольке (Vom Kolke) и Дюмонсель (Du Moncel); но ихъ труды были мало извѣстны лицамъ, не читающимъ ученыхъ журналовъ, въ которыхъ ихъ изслѣдованія были напечатаны. Многіе физики предлагали формулы, которыя связывали между собою размѣры электромагнита, силу тока въ его обмоткѣ и число оборотовъ проволоки, составляющей обмотку, съ количествомъ получающагося магнетизма.

Ленцъ и Якоби дали законъ, по которому количество магнетизма, развиваемаго въ данномъ электромагнитѣ, пропорціонально силѣ тока въ его обмоткѣ и числу оборотовъ проволоки, которая составляетъ обмотку. Этотъ законъ очевидно невѣренъ, т. е. въ немъ не принята во вниманіе способность желѣзнаго сердечника достигать магнитнаго насыщенія. Формулы, въ которыхъ принималась во вниманіе эта способность, были даны Мюллеромъ, Фонъ-Вальтенгофенъ, Ламонемъ, Веберомъ и Фрелихомъ, но всѣ они были эмпирическія и только приблизительныя. Эти формулы были



разсмотрѣны авторомъ этой книги въ его трактатѣ о динамо-машинахъ

На самомъ дѣлѣ законъ намагничиванія не можетъ быть выраженъ никакой формулой, которая не была бы основана на принципѣ магнитной цѣпи.

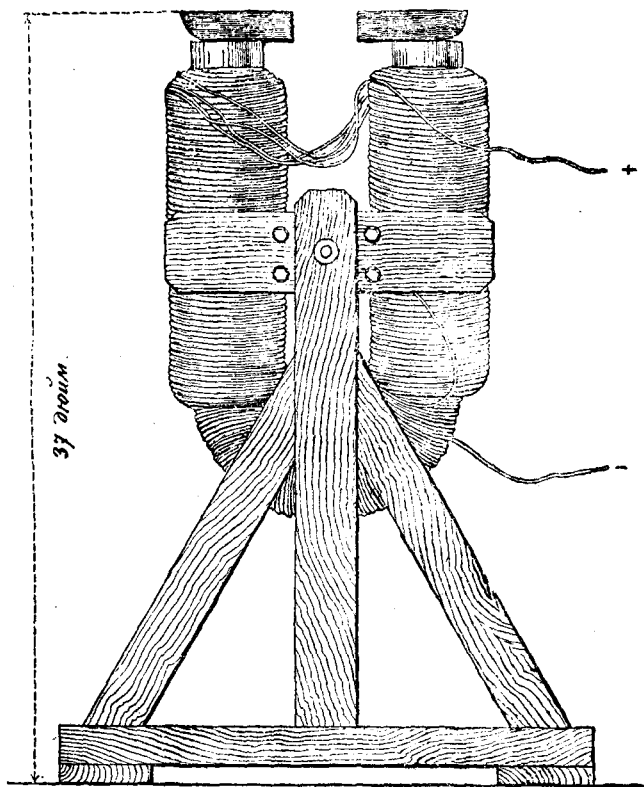
Работы Роуланда, Бозанке и др. проложили путь для метода вычисленій, основаннаго на этомъ принципѣ. Въ 1885 г. и 1886 г. Каппъ разсмотрѣлъ съ этой точки зрѣнія вопросъ о вычисленіи электромагнитовъ, производящихъ въ динамо-машинахъ магнитное поле. Результатомъ его работы были нѣкоторыя формулы. Въ 1886 г. I. и E. Гопкинсонъ сообщили въ Royal Society \*) свое въ высшей степени полное и изящное изслѣдованіе задачи о магнитной цѣпи. Важнѣйшее мѣсто этого изслѣдованія относится къ рѣшенію вопроса объ опредѣленіи а priori характеристической кривой намагничиванія для динамо-машины, основываясь только на обыкновенныхъ законахъ магнетизма и на знаніи свойствъ даннаго образца желѣза. Кромѣ того они изслѣдовали вопросъ о боковой утечкѣ магнетизма. Съ тѣхъ поръ эти вычисленія количества магнетизма, развиваемаго въ магнитной цѣпи динамо-машины, вошли въ ежедневную практику.

Въ лекціяхъ, которыя авторъ читалъ въ 1890 г. и которыя составили основу настоящей книги, была сдѣлана попытка распространить принципъ магнитной цѣпи къ вычисленію различныхъ электромагнитовъ.

Мы закончимъ этотъ очеркъ нѣсколькими словами о нѣкоторыхъ замѣчательныхъ электромагнитахъ. Таковъ магнитъ Фарадея, который хранится до сихъ поръ въ Royal Institution и съ которымъ дѣлалъ свои опыты Тиндаль. Магниты Плюкера, Фонъ-Фейлиха, Беккереля, Томпсона замѣчательны своими размѣрами. Въ послѣдніе годы однако строятся электромагниты еще большихъ размѣровъ. Такъ электромагниты самыхъ большихъ машинъ Эдисонъ-Гопкинсонъ вѣсятъ 17 тоннъ и ихъ поперечное сѣченіе около 517 кв. дюймовъ. Такой электромагнитъ могъ бы поддержать грузъ въ 46 тоннъ (считая, по Джоулю, 200 фун. на кв. дюймъ). Замѣтимъ такъ же два интересные опыта, произведенные въ Соединенныхъ Штатахъ. Въ 1887 г. майоръ Кингъ устроилъ элек-

\*) Phil. Trans. 1886 pt. 1 стр. 331.

тромагнитъ, для котораго сердечниками служили двѣ пушки 15 дюймоваго калибра. Токъ для обмотки доставляла динамомашина, которая въ обыкновенное время питала 20 дуговыхъ лампъ. Чтобы оторвать катушку отъ этого электромагнита, требовалось 10 тоннъ. Съ нимъ было произведено много очень интересныхъ опытовъ. Въ томъ же 1887 г. былъ устроенъ электро-



*Машина Фарадея.*

магнитъ еще гораздо большихъ размѣровъ. Именно пароходъ Атланта былъ снабженъ обмоткой изъ кабеля, токъ давали двѣ машины Грамма. Лейтенантъ Брайденъ Фиске, который устроилъ этотъ опытъ, надѣялся найти магнитный способъ сообщаться съ другими судами, находящимися въ морѣ.

## ГЛАВА II.

### *Общая свѣдѣнія относительно электромагнитовъ и электромагнетизма. Типическія формы электромагнитовъ. Матерьялы употребляемые для ихъ устройства.*

#### Примѣненія электромагнитовъ.

Электромагнитъ, какъ механизмъ, употребляется для передачи механическаго дѣйствія на разстояніе отъ прибора, производящаго это дѣйствіе, причѣмъ дѣйствіе передается по электрической проволоцѣ. Вообще всѣ случаи, въ которыхъ пользуются электромагнитами, могутъ быть раздѣлены на двѣ категоріи. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ требуется, чтобы электромагнитъ давалъ временную подъемную силу, или позволялъ устроить временный контактъ. Тутъ самъ электромагнитъ приходитъ въ соприкосновеніе со своимъ якоремъ и это соприкосновеніе длится все время, пока по обмоткѣ его проходитъ токъ. Чтобы уничтожить въ это время соприкосновеніе надо употребить нѣкоторое усиліе. Необходимо отличать ясно случаи, когда электромагнитъ удерживаетъ якорь, съ которымъ онъ находится въ непосредственномъ соприкосновеніи, отъ того, когда онъ притягиваетъ арматуру, помѣщенную на нѣкоторомъ разстояніи отъ его полюсовъ. Сила, съ которой дѣйствуетъ электромагнитъ въ первомъ случаѣ, значительно больше, чѣмъ во второмъ. Удерживающая сила, когда арматура прикасается къ электромагниту и притягивающая, когда она находится на нѣкоторомъ разстояніи отъ его полюсовъ, настолько различны, что можно сказать, ничуть не преувеличивая, что электромагнитъ, устроенный для одной цѣли, не будетъ годиться для другой. Вопросъ объ устройствѣ электромагнитовъ для каждой изъ нихъ займетъ значительное мѣсто въ этой книгѣ. Дѣйствіе, которое производитъ электромагнитъ на арматуру, помѣщенную вблизи отъ него, можетъ быть различно. Если арматура сдѣлана изъ мягкаго желѣза и помѣщена параллельно поверхности полюсовъ электромагнита, то она только притягивается и ея движеніе будетъ

просто поступательнымъ и не будетъ зависѣть отъ того, который полюсъ южный, и который—сѣверный. Если же катушка помещена подъ угломъ къ линіи, соединяющей полюсы, то движеніе ея будетъ составное изъ двухъ: поступательнаго, перпендикулярнаго къ этой линіи, и вращательнаго, но по прежнему, если катушка изъ мягкаго желѣза, то дѣйствіе электромагнита не зависитъ отъ положенія его полюсовъ, т. е. отъ направленія, по которому въ обмоткѣ проходитъ токъ. Если наконецъ, катушка сама будетъ постояннымъ стальнымъ магнитомъ, то направленіе ея вращательнаго и поступательнаго движеній будетъ зависѣть отъ положенія полюсовъ электромагнита, т. е. отъ направленія тока въ его обмоткѣ. Такимъ образомъ является разница въ употребленіи *неполяризованнаго* и *поляризованнаго* аппаратовъ. Последнимъ именемъ называются тѣ приборы, въ которые входятъ части (напримѣръ катушка), обладающія постояннымъ магнетизмомъ. Неполяризованный приборъ независимъ отъ направленія тока въ обмоткѣ электромагнита.

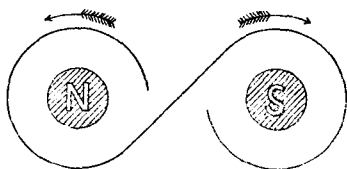
Второе приложеніе электромагнитовъ основано на томъ, что они даютъ возможность получать быстрыя колебанія. Поэтому электромагниты примѣняются для электрическихъ звонковъ, прерывателей индукціонныхъ аппаратовъ, для приведенія въ колебаніе камертоновъ въ хронографахъ, въ телеграфахъ и т. д. Для всѣхъ этихъ примѣненій устраиваются электромагниты особыхъ формъ. Электромагнитами пользуются и при токахъ переменнаго направленія. Въ последнее время они употребляются для лампъ съ вольтовой дугой, гдѣ нужно получить равномерную, или почти равномерную, силу дѣйствія на нѣкоторомъ пространствѣ. Для такихъ цѣлей нужны электромагниты особаго устройства. Всѣ эти вопросы будутъ разсмотрѣны въ свое время. Теперь же мы должны изучить нѣкоторые основные принципы электромагнетизма.

### Расположеніе полюсовъ электромагнитовъ.

Извѣстно, что положеніе полюсовъ электромагнитовъ зависитъ отъ направленія тока, проходящаго по его обмоткѣ. Чтобы болѣе удобно запомнить соотношеніе между направленіемъ тока и наименованіемъ полюса существуютъ различныя правила. Одно изъ самыхъ распространенныхъ, слѣдующее: если смотрѣть на сѣвер-

ный полюсъ электромагнита, то токъ въ его обмоткѣ будетъ проходить въ направленіи обратномъ движенію часовой стрѣлки. Соединенія проволокъ въ двуполюсномъ электромагнитѣ должны быть, поэтому, сдѣланы какъ показано на фиг. 11.

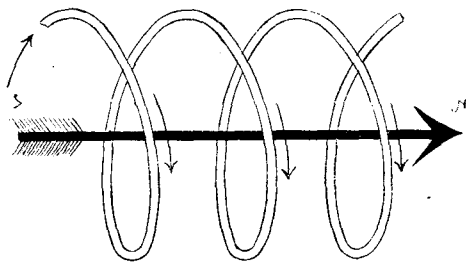
Фиг. 11.



Направленіе тока въ двуполюсномъ электромагнитѣ.

Другое извѣстное правило дано Максвелемъ; фиг. 12 помогаетъ понять его. Правило Максвелъ формулируется такъ: направленіе тока и положительное направленіе, получающейся при этомъ магнитной силы, находятся въ подобной же зависимости, какъ поступательное и вращательное движеніе праваго винта. Вращеніе

Фиг. 12.



Диаграмма, показывающая отношеніе между направленіемъ намагничивающаго тока и направленіемъ, происходящей отъ его дѣйствія, магнитной силы.

винта направо вызываетъ движеніе его впередъ; токъ идущій слѣва направо, стремится сдѣлать сѣвернымъ полюсомъ переднюю оконечность стержня, по обмоткѣ котораго онъ проходитъ.

## Полюсы и полюсныя поверхности.

Магнетизмъ, находящійся въ натуральномъ магнитномъ камнѣ, или въ закаленной стали, или временно возбужденный въ мягкомъ желѣзѣ токомъ, проходящимъ по проволокѣ, окружающей желѣзо, всегда есть нѣчто заключающееся внутри магнитнаго камня, стали и желѣза. Однако онъ можетъ при нѣкоторыхъ

обстоятельствахъ проявляются и внѣшними дѣйствіями. Именно магнетизмъ магнитнаго камня, стального магнита или электромагнита, не образующаго замкнутой магнитной цѣпи, всегда проявляется нѣкоторыми внѣшними дѣйствіями, большая часть которыхъ хорошо извѣстна. Маленькіе кусочки стали или желѣза притягиваются и пристають къ нѣкоторымъ частямъ поверхности такихъ магнитовъ. Магнитная стрѣлка, если ее поднести къ такому магниту, отклонится отъ своего нормальнаго положенія. Тѣ части поверхности магнитнаго камня, стального магнита, или электромагнита, къ которымъ желѣзные опилки пристають пучками и которыя дѣйствуютъ на магнитную стрѣлку, называются *полюсными поверхностями* или проще *полюсами* магнита. Въ прежнее время, когда на магнетизмъ смотрѣли, какъ на поверхностное явленіе, полюсныя части поверхности считались мѣстомъ скопленія невидимой магнитной жидкости или жидкостей.

Однако возможно устроить магнитъ, намагниченный до высокой степени, но не имѣющій никакихъ полюсовъ. Напримеръ можно намагнитить желѣзное кольцо такъ, что намагничиваніе будетъ исключительно внутреннее (см. фиг. 67); магнитныя линіи протекають внутри металла и нигдѣ не выступаютъ наружу. Такой магнитъ можно получить, обмотавъ желѣзное кольцо изолированной мѣдной проволокой, по которой проходитъ электрическій токъ. Навѣрное такой магнитъ не будетъ въ состояніи притягивать желѣзные опилки или дѣйствовать на магнитную стрѣлку. Тѣмъ не менѣе онъ внутри намагниченъ, что можно видѣть изъ двухъ обстоятельствъ: во первыхъ при намагничиваніи кольцо слегка увеличивается и во вторыхъ разломавъ или разрѣзавъ быстро такое кольцо, можно замѣтить полярныя свойства на образовавшихся такимъ образомъ поверхностяхъ. Полюсная часть поверхности магнита или просто полюсъ его есть та часть поверхности, гдѣ внутреннія магнитныя линіи выходятъ наружу въ воздухъ. Только эти части поверхности магнитовъ обладаютъ тѣми свойствами, которыя приписывались прежде магнитнымъ жидкостямъ. Итакъ можно сказать, что внѣшнія дѣйствія магнита — явленіе случайное. Тѣмъ не менѣе именно эти внѣшнія дѣйствія привлекли вниманіе и были раньше открыты. При изслѣдованіи этихъ дѣйствій явились тѣ термины, въ которыхъ описывались магнитныя явленія. Единица магнетизма,

которая была принята для выраженія относительной силы магнитовъ, основана на взаимномъ отталкиваніи двухъ полюсовъ раздѣленныхъ воздушнымъ слоемъ. Единица же напряженія магнитной силы въ свою очередь основана на единицѣ полярнаго магнетизма. Теперь, когда эти опредѣленія приняты всѣми, поздно думать объ ихъ измѣненіи: они находятся въ каждомъ трактатѣ о магнетизмѣ и мы можемъ только сдѣлать это замѣчаніе.

### Магнитныя единицы.

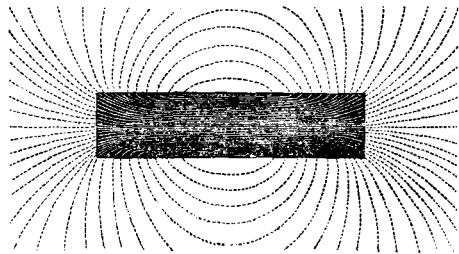
Международныя единицы, принятыя теперь всѣми электриками, основаны на абсолютной системѣ мѣръ и вѣсовъ, извѣстной подъ именемъ «системы С. G. S.» Въ этой системѣ, болѣе подробно изложенной въ приложеніи А, за единицу длины принять *сантиметръ*, за единицу времени — *секунда*, и за единицу массы — *граммъ*. Всѣ остальные физическія единицы суть производныя этихъ основныхъ единицъ. Напримѣръ «динъ» или единица силы въ этой системѣ, есть та сила, которая, дѣйствуя на одинъ граммъ въ продолженіи одной секунды, сообщитъ ему скорость одного сантиметра въ секунду. Сила земнаго притяженія, дѣйствуя на массу одного фунта (т. е. то, что обыкновенно называется вѣсомъ фунта) равняется (въ Лондонѣ) — 444971 дину. На этой абстрактной единицѣ силы, основаны магнитныя единицы.

*Единица количества магнетизма*, или *единица магнитнаго полюса*, есть то количество магнетизма, которое дѣйствуетъ на равное ему количество, находящееся на разстояніи одного сантиметра (въ воздухѣ), съ силою равною одному дину. Распредѣленіе свободнаго магнетизма на полюсной поверхности опредѣляется обыкновенно числомъ единицъ (опредѣленныхъ, какъ выше сказано) на квадратный сантиметръ поверхности. Это число называется *поверхностной плотностью намагничиванія*. Найдено, что эта поверхностная плотность, даже при самыхъ огромныхъ намагничивающихъ силахъ, не можетъ превосходить нѣкотораго предѣльнаго значенія. Юингъ нашелъ, что даже самое мягкое желѣзо, подверженное временно самому сильному намагничиванію, не получитъ больше 1700 единицъ на квадратный сантиметръ. Твердая сталь обыкновенно не удержитъ больше 500 единицъ на кв. сант. постоянного магнетизма или же 3225 единицъ на

кв. дюймъ. Этотъ способъ расчитывать число магнитныхъ единицъ на единицу поверхности теперь вышелъ изъ употребленія. Въ настоящее время принято предполагать, что магнитныя линіи силъ протекаютъ вдоль по магнитной цѣпи, вытекаютъ наружу изъ одной полюсной поверхности и втекаютъ въ другую. Условно принято изображать одной линіей на квадратный сантиметръ дѣйствіе на единичный полюсъ съ силою одного дина. Поэтому мы должны проводить, или предполагать проведенными, черезъ каждый квадратный сантиметръ столько линій, съ силою сколькихъ динъ дѣйствуетъ онъ на единичный полюсъ. Число диновъ силы, дѣйствующей на единичный полюсъ, помѣщенный между двумя полюсными поверхностями противоположнаго имени, стоящихъ рядомъ, будетъ равно  $4\pi$  (12,566) умноженнымъ на число единицъ поверхностнаго магнетизма на кв. сантиметръ каждой изъ поверхностей. Слѣдовательно на каждую единицу магнетизма на поверхности, черезъ нее проходятъ  $4\pi$  магнитныхъ линій. Напримѣръ, если на нѣкоторой поверхности имѣется 100 единицъ магнетизма, то мы должны считать, что сквозь нее проходятъ 1257 линій.

Мы предполагаемъ, что въ полосовомъ магнитѣ, линіи текутъ по металлу, выходятъ изъ одного изъ концовъ (сѣвернаго полюса), перегибаются и входятъ въ другой конецъ (южный полюсъ). На фиг. 13 эти линіи начерчены, какъ снаружи металла, такъ и

Фиг. 13.

*Линіи магнитныхъ силъ въ полосовомъ магнитѣ.*

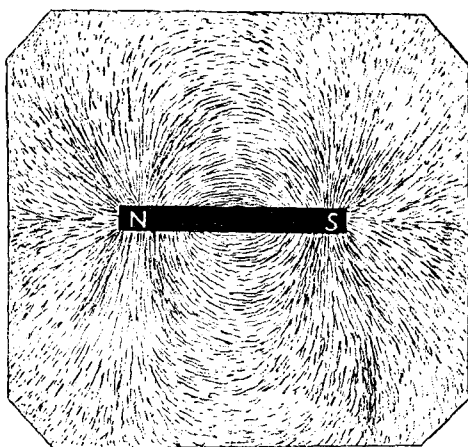
внутри. Всякій знаетъ, что если погрузить такой магнитъ въ желѣзныя опилки, то онѣ пристанутъ къ магниту, преимущественно, но не исключительно, у концовъ. Если же положить маг-



нить подъ листъ бумаги, или картона и посыпать его опилками, то на листѣ образуются кривыя, подобныя, изображеннымъ на чертежѣ. Эти линіи показываютъ распредѣленіе магнетизма во внѣшнемъ пространствѣ. Магнетизмъ, проходя внутри по массѣ желѣза, начинаетъ, приближаясь къ концу, вытекать съ боковъ и наконецъ цѣлымъ пучкомъ выходитъ изъ конца. Магнитныя линіи загибаются, подходятъ къ другому концу и вновь входятъ въ желѣзо. На той части стали, которая наиболѣе намагничена, т. е. на средней части магнита, совсѣмъ нѣтъ приставшихъ опилокъ. Мы должны разсматривать магнетизмъ внутренній, а не внѣшній. Этотъ внутренній магнетизмъ выходитъ около концовъ наружу и тамъ опилки пристають. Но тамъ, гдѣ металлъ намагниченъ больше всего, гдѣ на кв. сантиметръ поперечнаго сѣченія приходится наибольшее число линій, ни одна линія не выходитъ на поверхность и къ этой части магнита опилки не пристають.

Внѣшнее пространство, окружающее магнитъ, по которому протекають магнитныя линіи отъ полюса до полюса, называется *магнитнымъ полемъ* магнита. Очевидно, что напряженіе поля больше, или другими словами, магнитныя линіи гуще, вблизи полюсовъ,

Фиг. 14.



Фигуры образуемая желѣзными опилками.

чѣмъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ нихъ. Въ подобномъ полѣ линіи проведены такъ, что въ каждой точкѣ, направленіе линіи

показываетъ направленіе равнодѣйствующей магнитныхъ силъ въ этой точкѣ. Въ то же время густота линій показываетъ величину силы. Если помѣстить въ такое поле магнитный полюсъ, то онъ будетъ стремиться передвигаться вдоль по линіямъ силъ, сѣверный полюсъ въ одну сторону, южный въ другую. Если помѣстить въ какую либо точку магнитнаго поля маленькую магнитную стрѣлку, то она станетъ по направленію магнитной линіи въ этой точкѣ. Маленькія немагнитченныя стрѣлки и желѣзныя опилки, будучи помѣщены въ магнитное поле, намагничиваются черезъ вліяніе и располагаются по направленію линій. Этимъ объясняется извѣстный опытъ, въ которомъ по листу бумаги или стекла, помѣщенномъ подъ магнитомъ, разсыпаются желѣзныя опилки. Получающіяся такимъ образомъ фигуры (фиг. 14), употребляются для изученія распредѣленія магнитныхъ линій въ магнитномъ полѣ.

Изучая теперь электромагниты, при свѣтѣ принципа магнитной цѣпи, мы должны разсматривать всѣ эти явленія, какъ внутреннія, а не поверхностныя. Мы должны смотрѣть на желѣзо и сталь, какъ на хорошіе проводники магнитныхъ линій. Мы должны умѣть вычислить какое поперечное сѣченіе нужно дать желѣзному стержню, чтобы черезъ него могло пройти данное число линій. Точно такъ же намъ надо умѣть вычислять, какую нужно имѣть намагничивающую силу, чтобы произвести въ магнитной цѣпи опредѣленное число магнитныхъ линій. Изучая эти вопросы, мы будемъ употреблять нѣкоторыя обозначенія и термины. Чтобы выразить напряженность магнитнаго поля въ нѣкоторой точкѣ, принято, какъ было уже сказано, опредѣлять ее числомъ линій на кв. сантиметръ, которыя проходятъ черезъ воздухъ въ разсматриваемой точкѣ. Напряженность силъ въ магнитномъ полѣ (или короче *напряженность поля*) обозначается буквой *H*. Для опредѣленія всего числа магнитныхъ линій, протекающихъ по цѣпи, часто употребляется выраженіе *магнитный потокъ*, который обозначается буквой *N*. Число магнитныхъ линій на кв. сантиметръ въ какомъ нибудь веществѣ (кромѣ воздуха), называется *магнитной индукціей* или просто *индукціей* (иногда такъ же *проникновеніемъ* или *внутреннимъ намагничиваніемъ*) и обозначается буквой *B*. Такъ какъ желѣзо, сталь и нѣкоторыя другія вещества болѣе проницаемы для магнитныхъ линій, чѣмъ воздухъ, то ясно, что

та же самая намагничивающая сила, которая произведетъ въ нѣкоторомъ пространствѣ наполненномъ воздухомъ  $H$  линій на кв. сант.; въ томъ же пространствѣ, если-бы то было заполнено желѣзомъ, сталью и т. п., произвела бы большее число линій. Другими словами та намагничивающая сила, которая произведетъ въ воздухѣ  $H$  линій на кв. сантиметръ, въ желѣзѣ произведетъ ихъ  $B$ . Насколько величина  $B$  больше  $H$  зависитъ отъ сорта желѣза. Болѣе подробно объ этомъ предметѣ будетъ говорить въ главѣ о свойствахъ желѣза (гл. III).

### Основные свѣдѣнія по электромагнетизму.

Намъ нужно теперь познакомиться съ нѣсколькими элементарными теоремами, которыя опредѣляютъ соотношеніе между электрическимъ токомъ и магнитной силой.

1. *Магнитодвижущая сила* или величина намагничивающей силы тока, проходящаго по обмоткѣ. Найдено, что когда токъ проходитъ по мѣдной проволоцѣ, дѣлающей нѣсколько оборотовъ вокругъ сердечника, т. е. идетъ вокругъ магнитной цѣпи, то намагничивающая сила пропорціональна силѣ тока и числу оборотовъ проволоки. Намагничивающая сила не зависитъ ни отъ толщины проволоки, ни отъ свойствъ вещества, изъ котораго она сдѣлана, ни отъ ея формы, ни оттого, прилегаетъ ли спираль плотно къ сердечнику или находится отъ него на нѣкоторомъ разстояніи. Если мы обозначимъ черезъ  $S$  число оборотовъ проволоки въ обмоткѣ, и черезъ  $i$  число амперовъ тока, проходящаго по ней, то произведеніе  $Si$  называется числомъ амперъ-оборотовъ тока. Прямымъ опытомъ доказано, что двадцать амперовъ, проходя черезъ пять оборотовъ проволоки, дадутъ совершенно такую же намагничивающую силу, какъ одинъ амперъ, проходя черезъ сто оборотовъ или сто амперовъ, проходя по одному обороту. Во всѣхъ этихъ случаяхъ вокругъ сердечника проходитъ сто амперъ-оборотовъ тока. Чтобы, зная число амперъ-оборотовъ, вычислить магнито-движущую силу въ единицахъ C. G. S., надо число ихъ умножить на  $\frac{4\pi}{10}$  или на 1,257 т. е.

$$\text{Магнитодвижущая сила} = 1,257 Si.$$

Въ прибавленіи  $B$  будетъ показано, что можно избѣжать

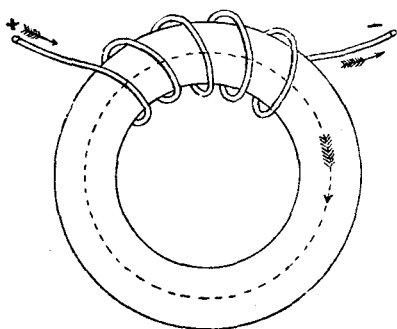
употребленія множителя 1,257, принявъ за магнитодвижущую силу самое число амперь-оборотовъ.

Нѣкоторые авторы называютъ магнитодвижущую силу «линейнымъ интеграломъ магнитныхъ силъ».

2. *Напряженіе магнитной силы въ какой либо точкѣ внутри длинной намагничивающей обмотки.*

Предыдущее выраженіе для намагничивающей силы обмотки не даетъ никакихъ указаній на измѣненія магнитныхъ силъ въ различныхъ ея частяхъ. Если начертить на фигурѣ 15 замкнутую

Фиг. 15.



Намагничивающая обмотка вокруг магнитной цепи.

линію (пунктирная линия внутри кольца) и задать вопросъ, какова будетъ магнитная сила въ различныхъ частяхъ этой кривой, то нужно будетъ отвѣтить, что сила будетъ очень сильно мѣняться въ различныхъ ея точкахъ, причемъ наибольшей величины она достигнетъ въ средней точкѣ той части, которая лежитъ внутри намагничивающей спирали. Если сдѣлать спираль очень длинную сравнительно съ ея діаметромъ (по крайней мѣрѣ въ 100 разъ),

равномерно намотанную по всей длинѣ, то вдоль по оси этой спирали, на нѣкоторомъ разстояніи отъ ея концовъ, магнитная сила будетъ однообразна, около же концовъ она быстро уменьшается. Выраженіе для величины  $H$ , въ какой нибудь точкѣ на оси (кроме точекъ близкихъ къ концамъ) такой спирали, получимъ разсматривая магнитодвижущую силу, какъ однообразно распределенную по всей длинѣ спирали. Поэтому, если мы назовемъ черезъ  $l$  длину ея въ сантиметрахъ, то получимъ формулу:

$$H = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{Si}{l} = 1,257 \text{ разъ число амперь-оборотовъ на}$$

сантиметръ длины спирали.

Или, если длина дана въ дюймахъ, то

$$H = 0,495 \text{ разъ число амп. об. на дюймъ длины.}$$

Если мы хотимъ выразить напряженность магнитной силы

числомъ линій на кв. дюймъ, вмѣсто кв. сантиметра, то получимъ формулу:

$$H_n = 3,193 \times \text{амп. об. на дюймъ длины}$$

Въ случаѣ, если проволока намотана на желѣзное кольцо равномерно по всей его окружности такъ, что у обмотки нѣтъ концовъ, то величина  $H$  остается одна и таже по всей длинѣ линіи, проведенной внутри спирали, и вычисляется, по предыдущимъ формуламъ, причемъ за  $l$  берется средняя окружность кольца. Очевидно, что когда  $H$  равно повсюду, то произведение  $H \times l$  даетъ величину магнитодвижущей или намагничивающей силы.

### 3. Напряженіе магнитной силы въ центръ одного кольца.

Если проволока дѣлаетъ только одинъ оборотъ и по ней проходитъ токъ въ  $i$  амперовъ, то напряженіе магнитной силы вычисляется по формулѣ:

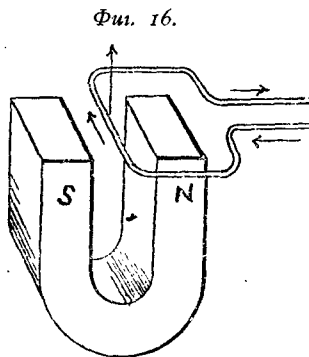
$$H = \frac{2\pi i}{10r} = 0,6284 \frac{\text{амперы}}{\text{радіусъ}}$$

гдѣ  $r$  — радіусъ кольца.

Этотъ случай встрѣчается въ тангенсъ гальванометрахъ, въ которыхъ проволока дѣлаетъ только одинъ оборотъ. Если же проволока дѣлаетъ  $S$  оборотовъ, то полученную величину  $H$  нужно умножить на  $S$ .

### 4. Сила, которая дѣйствуетъ на проводникъ, помѣщенный въ магнитномъ полѣ, по которому проходитъ токъ.

Положимъ, что мы въ магнитное поле, даваемое постояннымъ магнитомъ (фиг. 16) внесемъ проводникъ, по которому проходитъ токъ  $i$ . На проводникъ въ этомъ случаѣ будетъ дѣйствовать нѣкоторая сила, перпендикулярная къ магнитнымъ линіямъ и къ длинѣ проводника. На чертежѣ направленіе магнитныхъ линій горизонтально слѣва направо между вѣтвями магнита; направленіе тока въ проводникѣ тоже горизонтально спереди назадъ. Получающаяся сила будетъ направлена, какъ показываетъ стрѣлка, вертикально вверхъ. Конечно, если переменить направленіе тока, то переменится и направленіе силы.



Дѣйствіе магнитнаго поля на проводникъ, по которому проходитъ токъ.

Величину этой силы можно вычислить слѣдующимъ образомъ. Положимъ, что магнитное поле однородно и напряженіе его  $H$ , и, что длина проводника, лежащая въ магнитномъ полѣ  $= l$  сантиметровъ. Если теперь сила тока, проходящаго по проводнику равна  $i$  амперамъ, то сила (въ динахъ), дѣйствующая на проводникъ, выразится формулой

$$f = H l i \div 10 = H_{„} l_{„} i \div 25,4 \quad (*)$$

или въ гранахъ вѣса:

$$f = H_{„} l_{„} i \div 16 \text{ г}$$

5. *Работа, производимая проводникомъ, по которому проходитъ токъ, движущимся въ магнитномъ полѣ.* Если проводникъ пройдетъ въ магнитномъ полѣ  $b$  сантиметровъ, то произведенная при этомъ работа (въ эргахъ) выразится формулой

$$w = f b = b H l i \div 10$$

Но произведеніе  $bl$  есть площадь той части магнитнаго поля, по которой прошелъ проводникъ. Величина этой площади, умноженная на число магнитныхъ линій на кв. сантиметръ ( $H$ ), даетъ общее число магнитныхъ линій, пересѣченныхъ проводникомъ при движеніи ( $N$ ). Поэтому

$$w = N i \div 10$$

*Доказательство.* Эту формулу можно вывести слѣдующимъ образомъ:

На основаніи опредѣленія электрическаго потенциала, работа, произведенная при перемѣщеніи  $Q$  единицъ электричества между двумя точками, между которыми разность потенциаловъ равна  $V_1 - V_2$ , будетъ:

$$w = Q (V_1 - V_2) . . . (a)$$

Съ другой стороны, если проводникъ пересѣчетъ  $N$  магнитныхъ линій въ полѣ, въ продолженіи  $t$  секундъ, то въ немъ появится нѣкоторая электродвижущая сила, равная  $N \div t$ , которая произведетъ разность потенциаловъ  $V_1 - V_2$ , и выраженіе которой можно подставить въ предыдущую формулу.

(\*) Знакъ  $\div$  обозначаетъ дѣйствіе дѣленія, очень часто встрѣчается въ англійскихъ изданіяхъ, и рѣдко у насъ.

Далѣе, если сила тока  $i$  выражена въ амперахъ, то количество электричества  $Q$  (въ единицахъ С. G. S.), которое пройдетъ по проводнику въ  $t$  секундъ, будетъ равно  $—it \div 10$ . Подставляя эти величины въ формулу (а), получимъ:

$$\omega = Ni \div 10$$

какъ раньше и было показано.

6. *Вращеніе вокругъ магнитнаго полюса проводника, по которому проходитъ токъ.* Если часть электрической цѣпи устроить такъ, что она будетъ имѣть возможность двигаться вокругъ магнитнаго полюса, то произойдетъ вращеніе ея вокругъ этого полюса. На фиг. 17 стальной магнитъ поставленъ вертикально и вокругъ него сдѣланъ желобокъ, наполненный ртутью. Въ этотъ желобокъ опущенъ одинъ конецъ проволоки, по которой проходитъ токъ силою  $i$  амперовъ. Другой ея конецъ виситъ на крючкѣ. Если напряженіе полюса равняется  $m$  единицамъ магнетизма, то общее число магнитныхъ линий, исходящихъ изъ этого полюса будетъ  $4\pi m$  и, если желобокъ прилегаетъ вплотную къ магниту, то практически проводникъ при движеніи пересѣчетъ ихъ всѣхъ. Слѣдовательно, на основаніи только что полученной формулы, работа производимая при одномъ оборотѣ проводника будетъ:

$$\omega = 4\pi m i \div 10 = 1,257 m i .$$

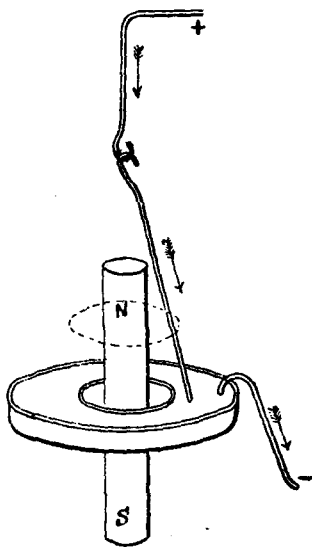
Раздѣливъ на  $2\pi$ , получимъ величину момента пары вращенія вокругъ оси:

$$\gamma = 2 m i \div 10 = 0,2 m i$$

Очевидно, что полюсъ стремится съ той же силой вращаться вокругъ проводника, но по обратному направленію.

7. *Каждая электрическая цѣпь стремится принять такую форму, чтобы магнитный потокъ, черезъ нее проходящій, былъ максимумъ.*

Фиг. 17.



Вращеніе вокругъ магнитнаго полюса проводника, по которому проходитъ токъ.

Этотъ законъ данъ нѣсколько въ другомъ видѣ Максвелемъ. Онъ весьма удобенъ для того, чтобы заранѣе опредѣлять направленіе движенія проводника, или какой нибудь части электрической цѣпи, помѣщенной въ магнитное поле. Для примѣра рассмотримъ случай изображенный на фиг. 16 стр. 47. Токъ въ проводникѣ, какъ показываетъ стрѣлка идетъ слѣва на право. Этотъ токъ, согласно правилу изложенному на стр. 38, произведетъ магнитный потокъ направленный сверху внизъ. Находящійся подъ проводникомъ сѣверный полюсъ магнита производитъ потокъ обратнаго направленія, т. е. снизу вверхъ. Поэтому проводникъ будетъ стремиться двигаться такъ, чтобы уменьшить этотъ противоположный по направленію магнитный потокъ. Другимъ примѣромъ можетъ служить плавучее кольцо и элементъ Де-ла-Рива, которое притягивается однимъ полюсомъ магнита и отталкивается другимъ.

8. *Двѣ электрическія цѣпи (или два проводника, по которымъ проходитъ токъ), благодаря взаимному дѣйствию стремятся перемѣнить контуръ свой такъ, чтобы магнитный потокъ, происходящій отъ ихъ взаимнаго дѣйствія, былъ наибольшій.*

Это правило ничто иное, какъ распространеніе обыкновеннаго правила о взаимномъ притягиваніи и отталкиваніи параллельныхъ токовъ и токовъ, встрѣчающихся подъ нѣкоторымъ угломъ. Токи притягиваются или отталкиваются только благодаря вліянію магнитныхъ полей, которыя они производятъ въ окружающемъ пространствѣ. Два параллельные тока, идущіе по одному и тому же направленію, производятъ каждый вокругъ себя магнитное поле и каждый стремится двигаться въ бокъ черезъ магнитное поле другого.

Въ случаѣ двухъ параллельныхъ кольцевыхъ проводниковъ, какъ въ тангенсъ-гальванометрахъ, проводниковъ одинаковаго діаметра, лежащихъ рядомъ, сила ихъ взаимнаго дѣйствія мѣняется обратно пропорціонально разстояніямъ между ними по оси, и пропорціонально произведенію чиселъ амперъ-оборотовъ въ каждомъ изъ проводниковъ.

### Типическія формы электромагнитовъ.

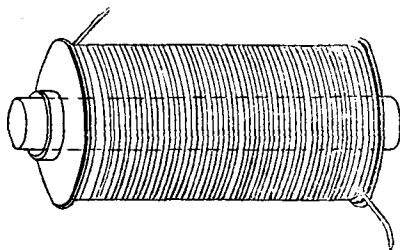
Теперь мы перейдемъ къ классификаціи электромагнитовъ по ихъ формѣ. Я не претендую на то, что я нашелъ какую нибудь



полную классификацію, какъ это сдѣлалъ Никлесь въ своей книгѣ, гдѣ всевозможныя формы электромагнитовъ разбиты на тридцать семь различныхъ классовъ. Такая классификація произвольна и не имѣетъ никакого значенія. Для нашей цѣли достаточно отобрать тѣ формы, которыя можно распределить въ четыре или пять классовъ, а остальные рассмотреть отдѣльно.

1. *Полосовой электромагнитъ.* Полосовой электромагнитъ состоитъ изъ прямого сердечника (сплошнаго, трубчатого или пластинчатого), окруженнаго обмоткой. Электромагнитъ Стюжана

Фиг. 18.

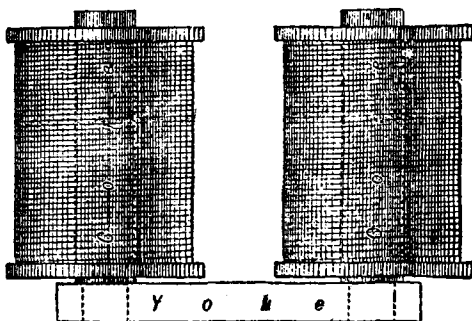


Полосовой электромагнитъ.

(фиг. 3) можетъ служить образцомъ такого электромагнита. Фиг. 18 тоже изображаетъ прямой магнитъ съ цилиндрическимъ сердечникомъ.

2. *Подковообразный электромагнитъ.* Подъ именемъ подково-

Фиг. 19.

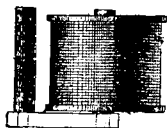


Типъ дууполнаго электромагнита.

образнаго магнита подразумѣваютъ двѣ его формы. Первый электромагнитъ Стюржена (фиг. 1) дѣйствительно походилъ на подкову, т. к. онъ былъ сдѣланъ изъ одного куска ковannaго желѣза, въ полъ дюйма въ диаметрѣ и одинъ футъ длиною, согнутаго въ дугу. Въ послѣдніе годы стала больше употребляться другая форма, показанная на фиг. 19. Въ ней два отдѣльныхъ стержня приклепаны или привинчены къ соединительной полосѣ, сдѣланной тоже изъ ковannaго желѣза. На фиг. 7 показана особенная форма подковообразнаго электромагнита, устроеннаго Джоулемъ.

3. *Хромой электромагнитъ.* Предыдущую форму можно измѣ-

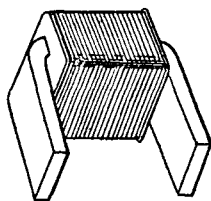
Фиг. 20.



нить, снабдивъ обмоткой, только одинъ сердечникъ, другой же оставивъ голымъ. Во Франціи такой электромагнитъ называется *aimant boiteux*, по англійски *club-footed electromagnet*, нѣмецкое его имя *hinkender Magnet*. По русски эти названія можно перевести словомъ *хромой электромаг-*

*нитъ.* Въ послѣдствіи объ этой формѣ, изображенной на фиг. 20, будетъ сказано больше. Форму изображенную на фиг. 21, можно тоже рассмат-

Фиг. 21.



*Подковообразный электромагнитъ съ одной обмоткой на соединительной полосѣ.*

ривать, какъ видъ подковообразнаго магнита, у котораго обмотка сдѣлана только на соединительной полосѣ, оба же сердечника оставлены непокрытыми.

4. *Электромагнитъ съ внѣшней желѣзной обкладкой.* Эта форма электромагнитовъ отличается отъ обыкновенныхъ полосовыхъ только тѣмъ, что въ ней имѣется внѣшняя желѣзная обкладка, покрывающая обмотку, соединенная на одномъ концѣ электромагнита съ внутреннимъ сердечникомъ. Такой электромагнитъ изображенъ на фиг. 22. Въ немъ внутренній полюсъ окруженъ коль-

цевымъ внѣшнимъ другого имени. Для этого типа арматурой служить или желѣзный дискъ или желѣзная крышка. Интересно, что эта внѣшняя желѣзная обкладка была изобрѣтаема много разъ. Въ первый разъ она была изобрѣтена въ 1850 г. и честь изобрѣ-

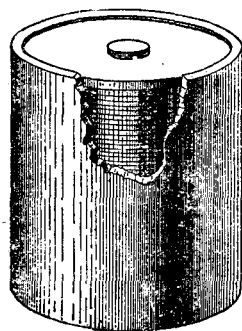
тения оспаривали Ромерсгаузенъ, Гиллемень и Фабръ \*). Она описана въ книгѣ Davis'a Magnetism, изданной въ Бостонѣ въ 1855 г. Приблизительно черезъ 16 лѣтъ г. Фаулкнеръ изъ Манчестра вновь изобрѣлъ его подъ именемъ Atlanda. Разборъ свойствъ этой формы электромагнитовъ былъ сдѣланъ въ 1876 г., въ Society of Telegraph Engineers. Въ томъ же году проф. Грагамъ Белль примѣнилъ ее для приемниковъ въ своихъ телефонахъ. Существуетъ нѣсколько видовъ электромагнитовъ, въ которыхъ возвратная часть желѣзной цѣпи расположена снаружи обмотки. Всѣ такіе электромагниты, я предлагаю называть электромагнитами съ внѣшней обкладкой (iron clad), соотвѣтственно тому, какъ это принято для динамо-машинъ.

Одна изъ такихъ формъ, устроенная Кромвелль Верлеемъ, состоитъ въ томъ, что на прямой магнитъ надѣто двѣ желѣзныхъ шапки. Кольцевые концы этихъ шапокъ образуютъ два полюса различныхъ наименованій, лежащихъ совершенно рядомъ.

Новое видоизмѣненіе этого типа изображено на фиг. 23. Эта форма электромагнита отличается большой простотой устройства и значительной подъемной силой и употребляется для электромагнитныхъ тормазовъ.

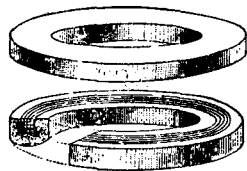
*Электромагнитъ Румкорфа.* Эта форма электромагнита, которую пользуют для опытовъ надъ диамагнетизмомъ и магнитнымъ вращеніемъ плоскости поляризаціи свѣта, изобрѣтена въ 1846 г. Верде такъ описываетъ тотъ экземпляръ (фиг. 24), который служилъ ему для изслѣдованій магнитнаго вращенія плоскости поляризаціи свѣта. Сердечниками для электромагнита служили два цилиндра изъ мягкаго желѣза А В и А' В', каждый длиною 20 сантиметровъ и диамет-

Фиг. 22.



*Электромагнитъ съ внѣшней желѣзной обкладкой.*

Фиг. 23.

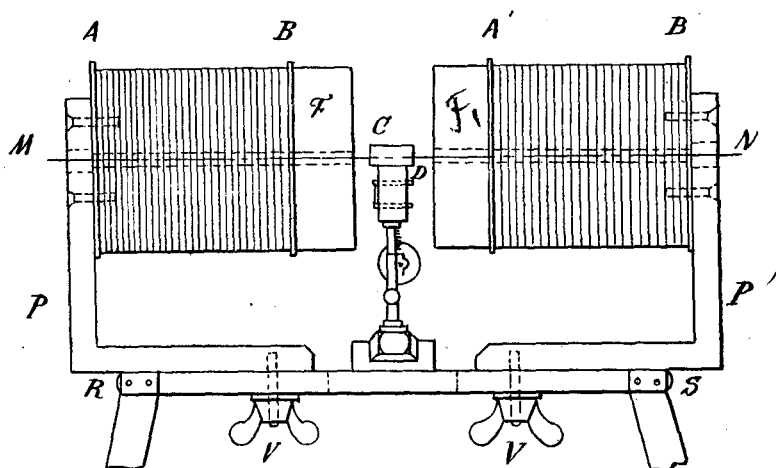


*Кольцеобразный электромагнитъ съ внѣшней желѣзной обкладкой.*

\*) Судя по сообщенію Никлеса (Comptes rendus 1857 г. стр. 253), она была открыта Фабромъ въ лабораторіи Никлеса.

ромъ въ 7,5 снт., просверленные вдоль по оси, чтобы сквозь нихъ можно было пропускать лучъ свѣта. При помощи соединени-

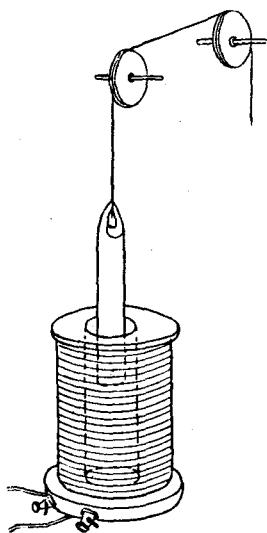
Фиг. 24.



Электромагнитъ Румкорфа.

тельныхъ полюсъ P и P', тоже сдѣланныхъ изъ мягкаго желѣза, эти сердечники были прикрѣплены къ полюсъ RS. Для оптическихъ опытовъ получалось весьма однородное магнитное поле послѣ того, какъ къ концамъ сердечниковъ привинчивались два куска мягкаго желѣза F и F', каждый 14 снт. въ діаметръ и 5 снт. толщиной. Каждая обмотка состояла изъ 250 метровъ мѣдной проволоки діаметромъ въ 2,5 милиметра. При другихъ своихъ изслѣдованіяхъ Верде пользовался другимъ электромагнитомъ, похожимъ на изображенный на фиг. 19, который былъ снабженъ просверленными полюсными наконечниками, какъ это дѣлалъ раньше Фарадей.

Фиг. 25.

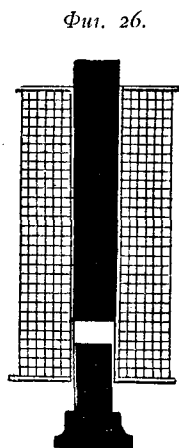


Катушка съ втягивающимся стержнемъ.

5. *Подвижной сердечникъ и катушка.* Желѣзный сердечникъ втягивается въ полюку катушку, когда по ней проходитъ токъ. Эта форма электромагнита будетъ подробно рассмотрѣна въ главѣ VIII, теперь же

достаточно замѣтить только одно ея свойство. Тогда какъ въ обыкновенныхъ электромагнитахъ сила дѣйствующая на близлежащую арматуру велика, но ея дѣйствіе замѣтно только на небольшомъ пространствѣ, въ электромагнитахъ этой формы наоборотъ сила невелика, но зато дѣйствуетъ на значительномъ, сравнительно, протяженіи.

6. *Промежуточные формы.* Существуетъ нѣсколько видовъ электромагнитовъ, обладающихъ отчасти свойствами обыкновенныхъ электромагнитовъ, отчасти свойствами катушки со стержнемъ. Если въ катушку вставить и закрѣпить въ ней короткій сердечникъ, нѣсколько выдающійся наружу, и снабдить ее другимъ сердечникомъ, который можетъ втягиваться въ нее и подъ конецъ пристать къ первому сердечнику, то дѣйствіе такого электромагнита будетъ среднее между дѣйствіемъ катушки съ обмоткой и дѣйствіемъ обыкновеннаго электромагнита. Иногда для того, чтобы улучшить магнитную цѣпь, такія электромагниты снабжаются наружной желѣзной обкладкой.

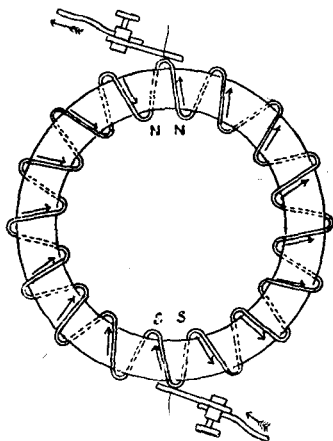


7. *Электромагниты съ послѣдовательными полюсами (consequent Poles).* Электромагниты, у которыхъ обмотка сдѣлана или части ея соединены такъ, что на разныхъ частяхъ сердечника токъ идетъ въ различныхъ направленіяхъ, отличаются тѣмъ, что они обладаютъ «*послѣдовательными полюсами*». Такъ называются тѣ полюсы, которые получаются между двумя полюсами другаго имени. Если, напримѣръ, стальная полоса намагничена такъ, что на обоихъ ея концахъ находятся сѣверные полюсы, а посрединѣ южный, то этотъ полюсъ и носить названіе послѣдовательнаго и считается въ магнитномъ отношеніи эквивалентнымъ двумъ сѣвернымъ, помѣщеннымъ по концамъ. Электромагниты съ послѣдовательными полюсами встрѣчаются не часто, ихъ употребляютъ для нѣкоторыхъ видовъ динамо-машинъ и электрическихъ двигателей, въ которыхъ они служатъ иногда для полученія магнитнаго поля, иногда для арматуръ. Примѣромъ можетъ служить всѣмъ извѣст-

*Электромагнитъ съ двумя сердечниками подвижнымъ и неподвижнымъ (Бонелли).*

ное кольцо Грамма. Положимъ, что желѣзный сердечникъ, имѣющій форму кольца (фиг. 27), вполне покрытъ обмоткой изъ мѣдной проволоки (на чертежѣ обмотка идетъ слѣва на право),

Фиг. 27.



Кольцевой электромагнитъ съ послѣдовательными полюсами.

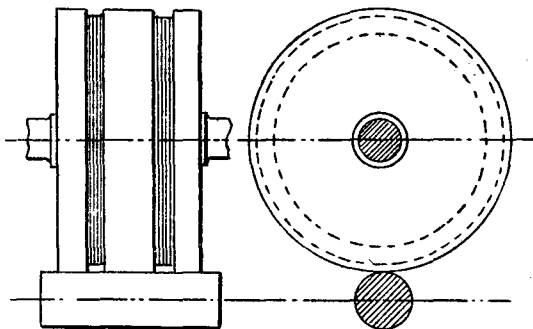
которая замыкается сама на себя. Если токъ входитъ съ одной стороны и выходитъ съ другой, то въ обмоткѣ одной половины кольца токъ будетъ идти справа налѣво, а въ другой наоборотъ слѣва направо. Результатомъ этого будетъ то, что каждая часть кольца будетъ дѣйствовать какъ магнитъ, имѣющій южный полюсъ тамъ, гдѣ токъ входитъ и сѣверный, гдѣ токъ выходитъ изъ обмотки. Поэтому тутъ образуются два послѣдовательныхъ полюса: одинъ двойной сѣверный наверху и одинъ тоже двойной южный внизу. Положеніе этихъ полюсовъ перемѣщается:

полюсы будутъ перемѣщаться, при перемѣщеніи точекъ соединенія обмотки кольца съ внѣшней цѣпью. Это свойство и есть самая важная отличительная черта разсматриваемой формы электромагнитовъ.

8. *Круглые электромагниты.* Этимъ именемъ называются особаго рода электромагниты, изобрѣтенные Вильгельмомъ Веберомъ. Они имѣютъ (какъ показано на фиг. 155), сердечникъ или цилиндрическій, или въ формѣ блока, съ желобкомъ на окружности, въ который помѣщается обмотка изъ мѣдной проволоки. Если въ желобокъ обыкновеннаго желѣзнаго блока намотать изолированной мѣдной проволоки и пропустить по ней токъ, то одна часть его сдѣлается сѣверной полюсной поверхностью, другая южной. Кусокъ желѣза пристаеетъ къ каждой точкѣ окружности такого магнита. Фиг. 28 представляетъ двойной круглый магнитъ, съ сѣвернымъ полюсомъ на среднемъ кольцѣ и двумя южными на боковыхъ. Такіе электромагниты предлагали употреблять вмѣсто

зубчатыхъ колесъ для передачи движенія. Необходимое сцѣпленіе тутъ происходило благодаря магнитному притяженію. Никлесь

Фиг. 28.

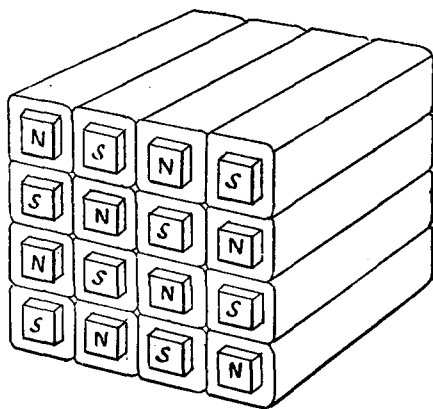


Круглый электромагнитъ.

нѣсколько измѣнилъ форму этихъ магнитовъ, обматывая цилиндръ снаружи по сегменту, къ которому должна приставать арматура.

9. *Различныя формы.* Различныхъ формъ электромагнитовъ очень много. Нѣкоторыя изъ нихъ будутъ рассмотрѣны при даль-

Фиг. 29.



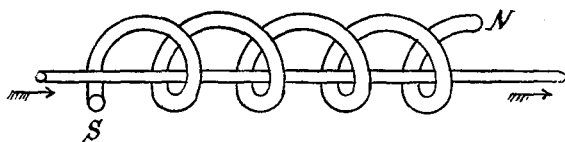
Электромагнитъ въ видѣ пучка.

нѣйшемъ изложеніи, здѣсь же только я рассмотрю два вида ихъ. Фиг. 29 представляетъ электромагнитъ, состоящій изъ пучка

полосовыхъ магнитовъ. Каждый изъ этихъ полосовыхъ магнитовъ обладаетъ своей отдѣльной обмоткой и всѣ они сложены такъ, чтобы полюсы чередовались. Такая форма была придана электромагниту въ надеждѣ получить болѣе сильное приставаніе къ нему желѣзной плиты. На самомъ же дѣлѣ гораздо болѣе сильное приставаніе можно получить, если тѣмъ же количествомъ желѣза и мѣдной проволоки воспользоваться иначе. Напримѣръ, если обмотать всей проволокой внутренніе восемь стержней, а остальные безъ всякой обмотки помѣстить снаружи, для того, чтобы они (какъ это дѣлается въ электромагнитахъ съ наружной желѣзной обкладкой) служили возвратнымъ путемъ для магнитныхъ линій.

Фиг. 30 представляетъ спиральный электромагнитъ, въ кото-

Фиг. 30.



Спиральный электромагнитъ.

ромъ длинный желѣзный сердечникъ навить въ видѣ спирали, вокругъ прямого мѣднаго проводника. Въ этомъ электромагнитѣ относительное расположеніе мѣди и желѣза обратно тому, которое принято обыкновенно. Но такое примѣненіе не имѣетъ ни малѣйшаго преимущества. Наоборотъ оно имѣетъ значительныя неудобства, во первыхъ потому, что благодаря магнитной проницаемости воздуха, много магнетизма утечетъ, не дойдя до полюсовъ, а во вторыхъ потому, что, для возбужденія электромагнита потребуются токъ громадной силы. Дѣйствительно, такъ какъ въ этомъ электромагнитѣ проводникъ проходитъ всего разъ, вмѣсто того, чтобы дѣлать, какъ обыкновенно, много оборотовъ вокругъ сердечника, очевидно, что токъ для возбужденія магнетизма потребуетъ въ этомъ случаѣ болѣе большой.

Кромѣ этихъ формъ есть еще много другихъ, напримѣръ многополюсныхъ, которыми пользуются только для полученія магнитнаго поля въ динамо-машинахъ и электрическихъ двигателяхъ. Свѣдѣнія о такихъ магнитахъ можно найти въ сочиненіяхъ, касающихся динамо-машинъ, а также и въ главѣ XII настоящей книги.



## Матерьялы нужные для устройства электромагнитовъ.

Три сорта матерьяловъ нужны для устройства электромагнита. Во первыхъ—магнитное вещество, изъ котораго состоитъ магнитная цѣпь, включая сюда якорь, сердечникъ, на которомъ сдѣлана обмотка, и часть соединяющую сердечники. Во вторыхъ—электропроводное вещество для обмотки. Въ третьихъ—изолирующее вещество препятствующее образованію контакта между двумя сосѣдними проводниками тока въ обмоткѣ, а также между проводникомъ тока и сердечникомъ электромагнита и вообще препятствующее потерѣ электричества.

I. *Магнитныя вещества для сердечниковъ.* Намъ нужно будетъ изучить только свойства желѣза и стали, хотя никкель, кобальтъ и магнитный желѣзнякъ (магнитная окись желѣза), тоже принадлежатъ къ числу магнитныхъ матерьяловъ. Магнитныя свойства желѣза и стали настолько важны для насъ, что ихъ изученію специально посвящена глава III. Механическія свойства этихъ веществъ настолько хорошо извѣстны, что нѣтъ надобности говорить о нихъ.

II. *Электропроводныя вещества для обмотокъ.* Единственный матерьялъ, который мы рассмотримъ, именно мѣдь, употребляется для этой цѣли всегда и всюду. Правда пробовали употреблять вмѣсто мѣди другіе металлы, какъ желѣзо, нейзильберъ, серебро. Желѣзо пытались примѣнить въ надеждѣ, что оно, какъ магнитное вещество, будетъ дѣйствовать двояко: проводя токъ и насыщаясь магнитными линіями. Однако такое примѣніе желѣза нельзя одобрить: во первыхъ потому, что желѣзная проволока, обладая гораздо большимъ электрическимъ сопротивленіемъ, чѣмъ мѣдная проволока той же толщины, нагревается сильнѣе и заставляетъ тратить напрасно большое количество электрической энергіи. Во вторыхъ потому, что желѣзная проволока, наматываясь поперекъ сердечника и попеременно со слоями изолирующаго вещества, расположена неудобно для того, чтобы проводить продольныя магнитныя линіи. Серебро предлагали употреблять вмѣсто мѣди потому, что оно болѣе электропроводно. Но за послѣднее время очистка мѣди, особенно электролитическимъ путемъ, достигла такого совершенства, что полученная этимъ путемъ мѣдь не только

равняется по электропроводности серебру, но часто и превосходить его. Мѣдь «высокой проводимости» находится теперь въ продажѣ повсюду и для электромагнитовъ не слѣдуетъ употреблять мѣди, проводимость которой меньше 98% проводимости чистой мѣди. Нейзильберъ не годится для электромагнитовъ, благодаря своей слабой проводимости, которая достигаетъ только 8% проводимости чистой мѣди. Его единственное достоинство—это постоянство величины проводимости при разныхъ температурахъ. Въ главѣ VI будутъ даны тѣ свѣдѣнія и правила, которыя должны руководить конструкторомъ электромагнитовъ, при выборѣ толщины мѣдной проволоки и ея количества, нужнаго для обмотки электромагнита. Пока замѣтимъ, что конструкторъ вовсе не обязанъ употреблять непременно для обмотки круглую проволоку, хотя она исключительно употребляется для маленькихъ электромагнитовъ. Для большихъ обмотокъ толстая круглая проволока почти не пригодна по двумъ причинамъ: ее трудно сгибать и она оставляетъ между слоями много пустаго мѣста. Въ этихъ случаяхъ лучше употреблять кабели, сдѣланные изъ семи тонкихъ проволокъ, сплетенныхъ вмѣстѣ и покрытыхъ соответствующимъ изолирующимъ слоемъ. Также можно употреблять проволоки съ прямоугольнымъ поперечнымъ сѣченіемъ. Всѣ фабрики, готовящія мѣдныя проволоки для электрическихъ цѣлей, готовятъ теперь кабели и прямоугольныя проволоки любой толщины, т. к. они постоянно требуются для динамо-машинъ и другихъ электрическихъ приборовъ.

III. *Изолирующія вещества для предотвращенія потери электричества.* Изолирующія вещества нужны для того, чтобы предотвратить проходъ электричества отъ одного слоя проволоки къ другому, а также изъ проволоки въ желѣзный сердечникъ электромагнита. Кромѣ того нужно механически удерживать слои обмотки вмѣстѣ, это обыкновенно достигается тѣмъ, что обмотка дѣлается на катушкѣ или рамкѣ. Если катушка или рамка сдѣланы изъ дерева, эбонита или какого нибудь другаго не металлическаго вещества, то онѣ сами служатъ изоляторами и уменьшаютъ возможность образованія электрическаго контакта между сердечникомъ и его обмоткой. Если же катушка металлическая, то нужно принять нѣкоторыя предосторожности, чтобы воспрепятствовать электричеству пройти изъ обмотки въ металлическую катушку. Теоретически одинъ контактъ между проволокой и катушкой,

или между проволокой и сердечникомъ не имѣеть никакого значенія, т. к. токъ не перейдетъ изъ проволоки въ катушку или сердечникъ, если только не будетъ существовать другаго контакта, который позволить ему вернуться обратно въ проволоку. На самомъ же дѣлѣ существованіе однако контакта, увеличиваетъ вѣроятность потери электричества, т. к. тогда нужно еще образованіе только одного контакта. Поэтому очень желательно изолировать обмотку насколько возможно лучше. Стремленіе электричества перейти изъ одного проводника въ другой (т. е. вѣроятность образованія короткаго замыканія) зависитъ отъ разности электрическихъ напряженій этихъ проводниковъ. Чѣмъ эта разность больше, тѣмъ вѣроятнѣе, что изолирующее вещество будетъ пробито и образуется короткое замыканіе. Обыкновенно разность напряженій между двумя сосѣдними оборотами одного и того же слоя не велика, но разность напряженій между оборотами проволоки въ одномъ слоѣ и оборотами въ слоѣ, лежащемъ непосредственно надъ нимъ, можетъ быть очень велика. Поэтому нужно совершеннѣе изолировать слой отъ слоя, чѣмъ оборотъ проволоки отъ другаго въ одномъ и томъ же слоѣ. На этомъ же основаніи очень важно хорошо изолировать проволоку отъ катушки, т. к. всѣ слои проволоки непосредственно прилегаютъ къ бокамъ катушки. Пояснимъ сказанное числовымъ примѣромъ. Положимъ, что электромагнитъ помѣщенъ между двумя главными проводниками, по которымъ проходитъ токъ въ 100 вольтъ, получаемый отъ динамо-машины. Другими словами разность электрическихъ напряженій въ этихъ проводникахъ равна 100 вольтамъ. Положимъ далѣе, что обмотка этого электромагнита состоитъ изъ двадцати слоевъ и въ каждомъ слоѣ проволока дѣлаетъ пятьдесятъ оборотовъ. Мы предположимъ, кромѣ того, что обмотка сдѣлана обыкновеннымъ образомъ, т. е. начинается у одного конца катушки, доходитъ до другого и возвращается обратно и т. д. Такимъ образомъ второй слой кончается именно надъ началомъ перваго. Если разность напряженій въ главныхъ проводникахъ равна 100 вольтамъ, то разность напряженій между концомъ втораго слоя и началомъ перваго (лежащаго какъ разъ подъ нимъ) будетъ равняться одной десятой всей разности, т. е. 10 вольтамъ, т. к. очевидно, что эта часть обмотки равна одной десятой всей обмотки. Между этими двумя точками обмотки проволока дѣлаетъ 100 оборотовъ, поэтому разность напряженій

между оборотами въ одномъ и томъ же слоѣ́ будетъ всего  $\frac{1}{10}$  вольта. Далѣе, т. е. разность напряженій между двумя оконечностями обмотки равна 100 вольтамъ и обѣ оконечности лежатъ около боковъ катушки, то стремленіе электричества перейти въ катушку будетъ сильнѣе, чѣмъ стремленіе перейти изъ слоя въ слой. Приблизительно можно сказать, что напряженіе изолирующаго вещества (т. е. стремленіе электричества пробить его) пропорціонально квадрату числа вольтъ электрическаго напряженія. Въ разсматриваемомъ случаѣ́ изолирующее вещество, находящееся между катушкой и проволокой должно выдержать натяженіе въ 100 разъ больше, чѣмъ вещество между двумя слоями и въ миллионъ разъ больше, чѣмъ вещество находящееся между двумя сосѣдними оборотами въ одномъ слоѣ́.

*Изолированіе проволокъ.* Для большихъ электромагнитовъ употребляемыхъ въ цѣпяхъ, напряженіе которыхъ не превосходитъ 500 вольтъ, достаточно для изолированія проволокъ покрывать ихъ двойнымъ слоемъ бумажной нити, которую затѣмъ смазать хорошенько шеллаковымъ лакомъ и подвергнуть въ продолженіи нѣсколькихъ часовъ нагрѣванію паромъ. Для маленькихъ электромагнитовъ, которые употребляются въ телеграфныхъ аппаратахъ, телефонахъ и лучшихъ электрическихъ звонкахъ, предпочтительнѣе обматывать проволоки шелковыми нитями и затѣмъ погружать обмотку въ растопленный парафинъ. Нельзя посоветовать употреблять для изолированія проволокъ, изъ которыхъ дѣлается обмотка на электромагнитахъ, такихъ веществъ, какъ гуттаперча, каучукъ, пенъка или пропитанная озокеритомъ лента. Кабели и прямоугольные проводники надо покрывать толстымъ слоемъ бумажной ленты и затѣмъ, намотавши ихъ на катушку, покрывать ихъ слоемъ шеллаковаго лака.

*Изолированіе слоевъ.* Изолировать слой отъ слоя, особенно *первый оборотъ одною слоя отъ послѣдняго оборота проволоки слѣдующаго,* надо очень тщательно. Въ маленькихъ электромагнитахъ не нужно принимать какихъ либо особенныхъ предосторожностей, но въ большихъ электромагнитахъ, снабженнымъ обмоткой, состоящей изъ многихъ слоевъ тонкой проволоки, которые предназначаются для токовъ высокаго напряженія, хорошо помѣщать между слоями или тонкую Виллесденову бумагу (Willesden paper), или тонкій

листъ вулканизированнаго фибра, или даже кусокъ тонкаго холста или бумажнаго полотна, пропитаннаго шеллаковымъ лакомъ.

*Изолированіе сердечниковъ и катушекъ.* Въ тѣхъ случаяхъ, когда обмотка дѣлается непосредственно на сердечникѣ, безъ катушки или рамы, то самый сердечникъ долженъ быть покрытъ изолирующимъ веществомъ, напимѣръ покрашенъ хорошей, прочной, непроводящей краской, какъ асфальтовый лакъ (Parap) и эмаль Аспиналля (Aspinally enamel), или же покрытъ лакированнымъ холстомъ, вложенъ въ хорошо пригнанную трубку изъ вулканизированнаго фибра, или наконецъ накрытъ нѣсколькими слоями тонкой, хорошо пропитанной лакомъ, прочной бумаги. Точно такъ же должно изолировать и металлическія катушки. Особенно хорошо нужно изолировать боковыя ихъ стѣнки. Въ тѣхъ случаяхъ, когда обмотка дѣлается непосредственно на сердечникѣ, употребляютъ часто металлическія стѣнки, чтобы удержать обмотку отъ расползанія. Такія стѣнки, находящіяся на концахъ сердечника, нужно отдѣлять отъ обмотки или слоемъ вулканизированнаго фибра, дерматина (dermatine), Виллесденовой бумаги (Willesden paper) или, за неимѣніемъ этихъ веществъ, слоемъ промасленнаго холста или хорошо пропитанной лакомъ тонкой бумаги. Только такими мѣрами можно предовратить контактъ. Очень часто происходятъ неприятыя случайности съ тѣмъ концомъ проволоки, который выходитъ наружу изъ самаго нижняго слоя. Этотъ конецъ часто ломается и тогда приходится вновь перематывать обмотку. Если же онъ не сломится совсѣмъ, а только надломится, то онъ можетъ повредить изолирующіе слои между нимъ и другими частями сердечника или катушки. Поэтому слѣдуетъ раньше, чѣмъ начать обматывать катушку, прикрѣпить къ выходящему концу, кусокъ особой крѣпкой проволоки или кабеля и хорошенько изолировать его.

*Огнеупорная изолировка.* Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, которые встрѣчаются правда рѣдко, приходится употреблять такое изолирующее вещество, которое не портилось бы даже при сильномъ нагрѣваніи. Азбестъ, хотя самъ по себѣ и дурной изоляторъ, даже въ толстомъ слоѣ, тѣмъ не менѣе считается единственнымъ веществомъ, которое можно употреблять въ этихъ случаяхъ для покрытія проволокъ. Для изолированья слоя отъ слоя можно употреблять азбестъ и слюду. Точно также можно употреблять и

азбестовую краску. Обмотку можно сдѣлать изъ голой мѣдной проволоки, помѣщая между ея оборотами толстыя азбестовыя нити и азбестовое полотно между слоями. Для выходящихъ наружу концовъ могутъ служить глиняныя трубки.

*Изолированіе для токовъ большаю напряженія.* Въ случаяхъ, когда электромагниты устраивается для цѣпей съ очень большимъ напряженіемъ, превосходящимъ 1000 вольтъ, необходимо изолировать слой отъ слоя и всю обмотку отъ катушки, насколько возможно лучше. Въ этомъ случаѣ не годятся ни лакированная бумага, ни холстъ, ни вулканизированная фибра. Только слюда и эбонитъ лучшаго сорта могутъ служить изоляторами при такихъ напряженіяхъ. Многіе конструкторы, вмѣсто того чтобы наматывать обмотку слоями, наматываютъ ее секціями, отдѣляя каждую секцію отъ другой эбонитовой стѣнкой. На сердечникъ тоже надѣвается эбонитовая трубка. Такой способъ устройства обмотки примѣняется для индукціонныхъ катушекъ. Пропитанная озокеритомъ бумага, спрессованная изъ нѣсколькихъ слоевъ въ горячемъ состояніи (способъ Ферранти), кажется еще единственный матеріаль, который тоже можетъ служить изоляторомъ при этихъ напряженіяхъ.

---

## ГЛАВА III.

### Свойства железа.

Знаніе магнитныхъ свойствъ различныхъ сортовъ желѣза составляетъ необходимое основаніе теоріи электромагнитовъ и конечно, мнѣ не придется просить извиненія за нѣсколько длинное изложеніе этого вопроса. Во всѣхъ современныхъ сочиненіяхъ по магнетизму объяснены тѣ термины, которые я буду употреблять здѣсь, нѣкоторые изъ нихъ объяснены въ главѣ II. Магнетизмъ, который раньше разсматривали какъ нѣчто распределенное по наружной поверхности магнита, теперь считается за явленіе, зависящее отъ внутренней структуры тѣла и магнитныя тѣла теперь разсматриваютъ какъ хорошіе проводники магнетизма, т. е., другими словами, считаютъ, что они обладаютъ магнитной *проницаемостью*. Эта магнитная проницаемость можетъ быть выражена числомъ. Положимъ, что нѣкоторая магнитная сила, происходящая, напримѣръ, вслѣдствіе прохожденія электрическаго тока по проволочной спирали, дѣйствуетъ на пространство, наполненное воздухомъ. Результатомъ этого дѣйствія будетъ появленіе въ названномъ пространствѣ нѣсколькихъ магнитныхъ линий силъ и величина магнитной силы, обозначаемая буквой  $H$ , часто опредѣляется выраженіемъ, что она произвела въ воздухѣ  $H$  магнитныхъ линий силъ на квадратный сантиметръ. Теперь, если пространство, которое было занято воздухомъ, будетъ наполнено желѣзомъ, то, вслѣдствіе бѣльшей магнитной проницаемости желѣза, число магнитныхъ линий силъ на квадратный сантиметръ увеличится. Полученное бѣльшее число выразитъ степень намагничиванія желѣза. Оно обозначается буквою  $B$ . \*) Отношеніе  $\frac{B}{H}$  означаетъ

\*) Три величины, здѣсь разсматриваемыя, имѣютъ слѣдующія различныя названія:

$B$  — Внутреннее намагничиваніе.

— Магнитная индукція или просто индукція.

— Напряженность (сила) индукціи.

— Проникновеніе.

— Число магнитныхъ линий (силъ) на квадратный сантиметръ вещества.

проницаемость вещества и обозначается буквою  $\mu$ . Итакъ мы можемъ сказать, что  $B$  въ  $\mu$  разъ больше  $H$ . Напримѣръ положимъ, что кусокъ желѣза былъ подверженъ намагничивающей силѣ, которая могла бы произвести въ воздухѣ 50 магнитныхъ линій на квадратный сантиметръ. Эта же сила произвела въ желѣзѣ 16062 магнитныхъ линій силъ на квадратный сантиметръ. Раздѣливъ послѣднее число на первое (50), получимъ 321—число выражающее величину проницаемости желѣза при данномъ магнитномъ состояніи. Итакъ магнитная проницаемость желѣза въ 321 разъ болѣе магнитной проницаемости воздуха. Проницаемость такихъ немагнитныхъ веществъ какъ: шелкъ, бумага и другіе изоляторы принимается равной единицѣ и практически равна проницаемости воздуха. Этотъ способъ выражать явленіе усложняется однако тѣмъ обстоятельствомъ, что всѣ сорта желѣза стремятся къ магнитному насыщенію. Во всѣхъ сортахъ желѣза способность намагничиваться уменьшается тѣмъ болѣе, чѣмъ оно сильнѣе намагничено. Другими словами, когда кусокъ желѣза будетъ намагниченъ до извѣстной степени, то онъ становится едва проницаемымъ для дальнѣйшаго намагничиванія и, хотя полное насыщеніе никогда не достигается, всетаки практически скоро наступаетъ предѣлъ, далѣе котораго намагничиваніе идти не можетъ. Джоуль одинъ изъ первыхъ замѣтилъ это стремленіе желѣза къ магнитному насыщенію. Современныя изслѣдованія показали, какъ уменьшается проницаемость, когда намагничиваніе ведется далеко. Практически граница намагничиванія  $B$  для хорошаго ковкаго желѣза около 20000 магнитныхъ линій силъ на квадратный сантиметръ или около 125000 на кв. дюймъ.

Для чугуна этотъ предѣлъ есть 12000 линій силъ на кв. сантиметръ или около 70000 на кв. дюймъ. При постройкѣ электро-

$H$  — Намагничивающая сила въ нѣкоторой точкѣ.

— Магнитная сила въ точкѣ.

— Напряженность магнитной силы.

— Число магнитныхъ линій (силъ) на кв. сант., которое было бы въ воздухѣ.

$\mu$  — Магнитная проницаемость.

— Проницаемость.

— Удѣльная проводимость для магнитныхъ линій силъ.

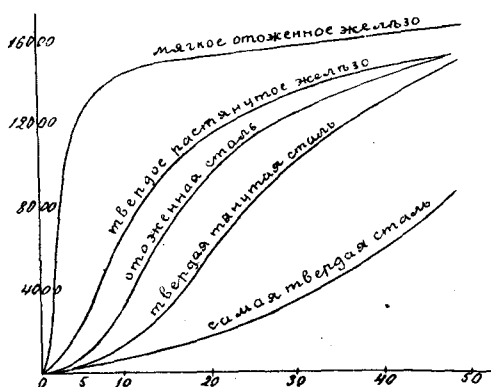
— Умножающая магнитная способность тѣла.



магнита, раньше чѣмъ возможно будетъ вычислить величину куска желѣза для сердечника, необходимо знать магнитныя свойства этого куска по той простой причинѣ, что то же самое магнитное дѣйствіе можетъ быть произведено маленькимъ кускомъ желѣза высокой проницаемости и большимъ кускомъ слабой проницаемости. Кроме того желѣзо дурной проницаемости требуетъ большаго количества мѣдной проволоки для обмотки, т. к. для того, чтобы довести его намагничиваніе до требуемой степени, необходима большая намагничивающая сила, чѣмъ если-бы оно обладало высокой проницаемостью.

Удобный способъ изучить магнитныя свойства какого-нибудь куска желѣза представляетъ пользованіе кривыми намагничиванія, т. е. кривыми, которыя получаютъ, если мы будемъ по горизонтальной оси откладывать величины намагничивающей силы  $H$ , а по вертикальной—соотвѣтственныя величины намагни-

Фиг. 31.



Кривыя намагничиванія различныхъ магнитныхъ веществъ.

чиванія  $B$ . На чертежѣ 31, который въ нѣсколько измѣненномъ видѣ взятъ изъ изслѣдованій проф. Юинга (Ewing), даны пять кривыхъ для мягкаго отожженнаго желѣза, желѣза подвергнувшагося холодной проковкѣ, отожженной стали, стали подвергнутой холодной проковкѣ и стали закаленной и не отпущенной (хрупкой и самой твердой). Замѣтимъ, что форма кривой для всѣхъ образцовъ имѣетъ одинъ и тотъ же характеръ. Для ма-

лыхъ значеній  $H$  величина  $B$  тоже мала и увеличивается вмѣстѣ съ  $H$ . Далѣе кривая быстро поднимается и затѣмъ, для всѣхъ мягкихъ сортовъ желѣза, перегибается и становится почти параллельной горизонтальной оси. Когда намагничиваемое желѣзо находится въ состояннн, соотвѣтствующемъ точкамъ ниже перегиба, то говорятъ, что оно далеко отъ насыщеннн, когда же оно соотвѣтствуетъ точкамъ выше перегиба, то говорятъ, что оно близко къ насыщеннн, т. к. при этомъ состояннн нужно значительное увеличеннн намагничивающей силы, чтобы едва увеличить намагничиваннн желѣза. Для мягкаго кованнаго желѣза состояннн близкое къ насыщеннн наступаетъ тогда, когда  $B$  достигаетъ величины 16000 линнн на кв. сантиметръ, или когда  $H$  приближается къ 50. Какъ мы видѣли, не экономично дальше увеличивать  $B$ , или, иными словами, не нужно пользоваться намагничивающей силой больше 50.

### Способы измѣреннн проницаемости.

Существуетъ четыре экспериментальныхъ способа измѣреннн проницаемости.

1. *Магнитометрический способъ* принадлежитъ Мюллеру и состоитъ въ томъ, что полоса окружается намагничивающей обмоткой и наблюдается отклоненнн, которое производитъ намагниченная такимъ образомъ полоса въ магнитометрѣ.

2. *Способъ уравновѣшваннн.* Этотъ способъ есть видоизмѣненнн предыдущаго. Въ немъ употребляется компенсирующнй магннтъ, чтобы уравновѣснть влнннн, произведенное намагниченнымъ желѣзомъ на магнитную стрѣлку. Работы по этому способу производилъ Фонъ-Фейлицъ (Von-Feilitzch), но окончательную форму онъ получилъ въ магнитныхъ вѣсахъ проф. Юза (Hughes) Студентами Техническаго Училища были произведены, при помощи этихъ вѣсовъ, изслѣдованнн нѣсколькихъ сортовъ желѣза и стали. Результаты этихъ изслѣдованнн находятся у меня.

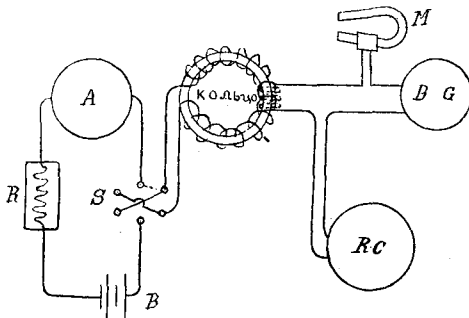
Описанные методы стоятъ во всѣхъ отношенннхъ ниже тѣхъ, къ описаннн которыхъ я перехожу.

3. *Индукцннные методы.* Существуетъ нѣсколько такихъ методовъ, но всѣ они сводятся къ возбужденнн индуктированнаго тока въ обмоткѣ изслѣдуемаго желѣза. Количество электричества,

которое въ ней появляется, пропорціонально числу магнитныхъ линій. Обратимъ вниманіе на три изъ этихъ методовъ.

*А. Методъ кольца.* При изслѣдованіи по этому методу, принадлежащему Киргофу, изслѣдуемому желѣзу придается форма кольца, на которомъ дѣлаютъ первичную, или намагничивающую, обмотку и вторичную, въ которой индуцируется токъ. По этому способу дѣлались наблюденія Столѣтовымъ, Роуландомъ, Бозанке, Юингомъ и Гопкинсономъ. На фиг. 32 показано расположеніе

Фиг. 32.



*Методъ измѣренія проницаемости при помощи кольца. (Расположеніе приборовъ Роуланда).*

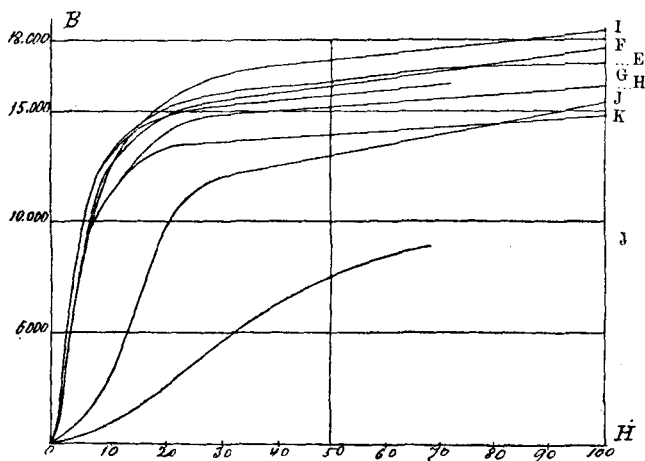
приборовъ, которыми пользовался Роуландъ: В — батарея, дающая намагничивающій токъ; S — коммутаторъ для прерыванія и измѣненія направленія тока; R — рсостать, А — амперметръ; BG — баллистическій гальванометръ; по его первому отклоненію измѣряется количество электричества, индуцированнаго во вторичной обмоткѣ; RC — земной индукторъ или вращающееся кольцо, служащее для калиброванія баллистическаго гальванометра. Выше помѣщается приспособленіе, состоящее изъ магнита и катушки, и служащее для успокаиванія гальванометра въ промежуткахъ между наблюденіями. Какъ первичная, такъ и вторичная обмотка сдѣланы на кольцѣ. На рисункѣ первичная обмотка обозначена болѣе толстой линіей. Обыкновенно начинаютъ опытъ со слабымъ намагничивающимъ токомъ, направленіе котораго быстро мѣняютъ и затѣмъ вновь дѣлаютъ прежнимъ. Затѣмъ токъ усиливаютъ и поступаютъ точно также, т. е. быстро мѣняютъ два раза его направленіе. Поступая такимъ образомъ доходятъ до край-

нихъ предѣловъ изслѣдованія. Намагничивающая сила вычисляется изъ наблюдений слѣдующимъ образомъ: Если сила тока, измѣренная амперметромъ, будетъ  $i$ , число оборотовъ намагничивающей спирали— $s$ , и длина ея (т. е. средняя окружность желѣзнаго кольца) въ сантиметрахъ— $l$ , то величина  $H$  дается слѣдующей формулой:

$$H = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{S i}{l} = 1,2566 \cdot \frac{S i}{e}$$

Бозанке примѣнилъ этотъ методъ къ изслѣдованію нѣсколькихъ желѣзныхъ колець и получилъ очень интересные результаты. На флиг. 33 приведены величины  $H$  и  $B$  для семи колець. Одно

Флиг. 33.



Данныя Бозанке относительно магнитныхъ свойствъ желѣзныхъ и стальныхъ колець.

изъ нихъ, обозначенное буквой I, было изъ литой стали. Оно было сначала изслѣдовано, пока сталь была мягкой, затѣмъ закалено и вновь изслѣдовано. Второе, обозначенное буквой I было изъ лучшаго желѣза завода Ловморъ, остальные пять изъ желѣза (best Lowmoor iron) съ маркою «корона» (Crown iron). Кольца эти, обозначенныя буквами G, E, F, H, K, отличались другъ отъ друга величиной.

Въ прилагаемой таблицѣ II помѣщены величины В при различныхъ степеняхъ намагничиванія.

Таблица II

*величинъ В въ 5 кольцахъ изъ желѣза съ клеймомъ «Корона».*

НАЗВАНІЕ	G	E	F	H	K
Средн. діаметръ	21,5 сан.	10,035 сан.	21,1 сан.	10,735 сан.	22,725 сан.
Толщина полосы	2,535 »	1,298 »	1,292 »	0,7137 »	0,7544 »
<i>Намагничив. сила</i>					
0,2	126	73	62	82	85
0,5	377	270	224	208	214
1	1449	1293	840	675	885
2	4564	3952	3533	2777	2417
5	9900	9147	8293	8479	8884
10	13023	13357	12540	11376	11388
20	14911	14653	14710	14066	13273
50	16217	15704	16062	15174	13890
100	17148	16677	17900	16134	14837

Я имѣю возможность показать методъ изслѣдованія проницаемости. У меня здѣсь желѣзное кольцо, площадь поперечнаго сѣченія котораго равна 1 кв. сан. Его намагничивающая обмотка соединена съ батареей изъ двухъ аккумуляторовъ. Поверхъ ея сдѣлана вторичная обмотка въ 100 оборотовъ, соединенная, какъ у Роуланда, съ баллистическимъ гальванометромъ, который снабженъ зеркальцемъ, отражающимъ на экранъ пучекъ свѣта. Въ цѣпь съ гальванометромъ включенъ земной индукторъ, подобранный такъ, что при поворотѣ онъ пересѣкаетъ 840000 магнитныхъ линій. Спротивленіе гальванометра подобрано такъ, чтобы при поворотѣ индуктора, первое отклоненіе его стрѣлки, которымъ измѣряется количество индуктированнаго электричества, было 8,4 дѣлений

шкалы. Такъ какъ вторичная обмотка состоитъ изъ 100 оборотовъ, то при послѣдующемъ опытѣ, мы будемъ знать, что отклоненіе стрѣлки гальванометра, произведенное индуктированнымъ въ этой обмоткѣ токомъ, будетъ въ 1 дѣленіе на 1000 линій въ желѣзѣ. Я замыкаю намагничивающій токъ.

Первое отклоненіе было 11 дѣлений; при размыканіи 11 дѣлений въ другую сторону. Слѣдовательно намагничивающая сила производитъ въ желѣзѣ 11000 магнитныхъ линій и т. к. площадь поперечнаго сѣченія желѣза равна 1 кв. сан., то  $V = 11000$ . Опредѣлимъ теперь величину  $H$ . Первичная обмотка состоитъ изъ 180 оборотовъ, токъ по ней проходящій имѣетъ силу ровно въ 1 амперъ, слѣдовательно вся намагничивающая сила равна 180 «амперь-оборотамъ». Средняя длина окружности кольца, т. е. длина этой намагничивающей спирали въ 180 оборотовъ равна 32 сан. Слѣдовательно, по приведенной раньше формулѣ:

$$H = \frac{1,2566 \times 186}{32} = 7.$$

Итакъ  $V = 11000$ , а  $H = 7$ , отсюда проницаемость, равная ихъ отношенію, будетъ около 1570. Этотъ грубый опытъ, иллюстрируетъ идею метода. Опыты Бозанке рѣшили спорный вопросъ, служатъ-ли внѣшніе слои желѣза защитой внутреннѣхъ отъ намагничиванія. Если бы это было такъ, то кольцо изъ тонкаго желѣза имѣло бы большую величину для  $V$ , чѣмъ кольцо изъ болѣе толстаго. Но этого не наблюдается. Наоборотъ самое толстое кольцо  $G$  показываетъ наибольшее намагничиваніе.

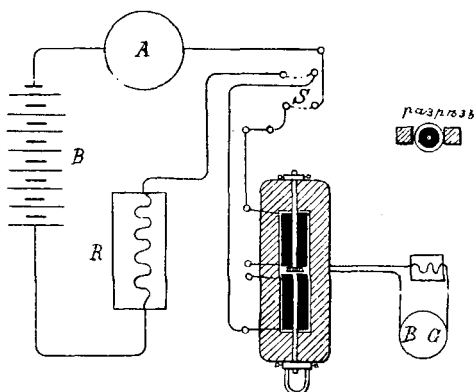
*Б. Методъ съ полосой.* Въ этомъ методѣ вмѣсто кольца употребляютъ длинную желѣзную полосу. По всей своей длинѣ она покрыта первичной обмоткой, вторичная же состоитъ изъ пяти оборотовъ и помѣщена ровно на серединѣ полосы. Роуландъ, Бозанке и Юингъ употребляли этотъ методъ. Юингъ пользовался полосами, длина которыхъ превосходила ихъ діаметръ болѣе чѣмъ въ 100 разъ и благодаря этому онъ избѣгалъ вліянія концовъ.

*В. Методъ раздваиванія полосы.* Этотъ методъ, принадлежащій доктору Гопкинсону лучше всего объясняется фиг. 34.

Приборъ состоитъ изъ куска отожженнаго кованнаго желѣза въ 18 дюймовъ длину,  $6\frac{1}{2}$  д. шириною и 2 д. толщиною. Въ серединѣ его сдѣлана прямоугольная вырѣзка, служащая для помѣ-

шенія намагничивающей обмотки. Изъ изслѣдуемаго образчика желѣза дѣлають два точеныхъ круглыхъ цилиндра въ 12,65 мил.

Фиг. 34.



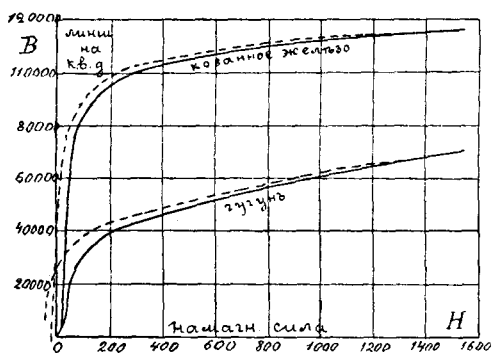
*Методъ Гопкинсона измѣренія магнитной проницаемости, при помощи раздвиганія полосы.*

въ діаметрѣ, которые могутъ скользить въ отверстіи, сдѣланномъ въ большомъ кускѣ желѣза. Эти цилиндрическіе стержни прикасаются между собою по серединѣ вырѣзки въ большомъ кускѣ. Чтобы прикосновеніе было полное, ихъ концы тщательно полируются. Одинъ изъ цилиндровъ закрѣпляется накрѣпко, другой же снабжается рукояткой для того, чтобы его можно было быстро вынимать. Двѣ большія намагничивающія катушки помѣщены во внутренней пустотѣ такъ, чтобы ихъ концы не касались и въ промежуткѣ между ними помѣщаютъ катушку, въ которой будетъ возбуждаться индуктированный токъ. Эта катушка сдѣлана изъ слоновой кости и въ ея центральное отверстіе проходитъ подвижной цилиндръ. Концы ея обмотки присоединены къ баллистическому гальванометру BG, сама же она привязана къ каучуковой пружинѣ, (не показанной на фиг.), которая извлекаетъ ее изъ магнитнаго поля тотчасъ же, какъ только подвижной цилиндръ будетъ вынутъ. На этой маленькой катушкѣ сдѣлано 350 оборотовъ проволоки, на большихъ же 2008. Токъ получается отъ 8 элементовъ Грове (B) и регулируется жидкимъ реостатомъ R и шунтовымъ сопротивленіемъ. Въ намагничивающую цѣпь включены, коммутаторъ S и амперметръ A. При помощи этихъ приборовъ можно изслѣдовать

образчикъ желѣза при всякихъ намагничивающихъ силахъ, какъ большихъ, такъ и малыхъ. Этотъ приборъ, кромѣ того, позволяетъ производить наблюденія съ цѣлымъ рядомъ убывающихъ или увеличивающихся намагничивающихъ силъ, не мѣняя направленія тока.

Гопкинсонъ изслѣдовалъ 35 образцовъ желѣза, химическій составъ которыхъ былъ хорошо извѣстенъ. Два изъ нихъ особенно важны для нашей цѣли: отожженное кованное желѣзо и сѣрый чугуны вродѣ того, который употреблялъ Матеръ и Платтъ (Mather and Platt) для своихъ динамо-машинъ. Гопкинсонъ выразилъ свои результаты кривыми, при помощи которыхъ можно построить достаточно точныя числовыя таблицы. Кривыя для сказанныхъ

Фиг. 35.



Кривыя намагничиванія желѣза.

двухъ образцовъ приведены на фиг. 35, но съ однимъ маленькимъ измѣненіемъ. Англійскіе инженеры, принужденные пользоваться системой дюйма вмѣсто международной метрической, предпочитаютъ выражать магнитныя дѣйствія на квадратный дюймъ, вмѣсто квадратнаго сантиметра. Это измѣненіе сдѣлано и величины  $H$  и  $B$  выражаютъ число магнитныхъ линій въ воздухѣ и желѣзѣ на квадратный дюймъ. Проницаемость выражается, конечно, однимъ и тѣмъ же отвлеченнымъ числомъ для обѣихъ мѣръ. Въ таблицѣ III приведемъ данныя для квадратнаго дюйма, въ таблицѣ IV для квадратнаго сантиметра. Образчики желѣза тѣ же самыя \*).

\*) Таблица IV не есть переводъ таблицы III, а каждая есть результатъ самостоятельныхъ наблюденій.



## Таблица III

(за единицу принять кв. дюймъ).

КОВАННОЕ ОТОЖЖЕННОЕ ЖЕЛѢЗО.			СЪРЫЙ ЧУГУНЬ.		
В <sub>n</sub>	μ	Н <sub>n</sub>	В <sub>n</sub>	μ	Н <sub>n</sub>
30000	2926	10,2	25000	833	30
40000	2857	14	30000	445	53,5
50000	2392	20,9	40000	245	163
60000	2166	27,7	50000	112	447
70000	1750	40	60000	64	940
80000	1368	63	70000	40	1750
90000	856	105	—	—	—
100000	407	245	—	—	—
110000	161	686	—	—	—
120000	64	1850	—	—	—
130000	28	4500	—	—	—
140000	18	7630	—	—	—

## Таблица IV

(за единицу принять кв. сант.).

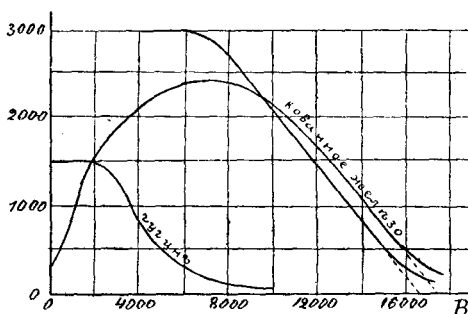
ОТОЖЖЕННОЕ КОВАННОЕ ЖЕЛѢЗО.			СЪРЫЙ ЧУГУНЬ.		
В	μ	Н	В	μ	Н
5000	3000	1,66	4000	800	5
9000	2250	4	5000	500	10
10000	2000	5	6000	279	21,5
11000	1692	6,5	7000	133	42
12000	1412	8,5	8000	100	80
13000	1083	12	9000	71	127
14000	823	17	10000	53	188
15000	526	28,5	11000	37	292
16000	320	50	—	—	—
17000	161	105	—	—	—
18000	90	200	—	—	—
19000	54	350	—	—	—
20000	30	666	—	—	—

Замѣтимъ, что кривыя Голкинсона двойныя: однѣ для увеличивающихся намагничивающихъ силъ, другія для уменьшающихся. Но это обстоятельство не имѣетъ большаго значенія для устройства электромагнитовъ. Если желѣзо, особенно твердые его сорта и сталь, подвергнутся сначала сильному намагничиванію, а потомъ слабому, то они удерживаютъ большую степень намагничиванія, чѣмъ еслибы были прямо подвергнуты болѣе слабому намагничиванію. Напримѣръ фиг. 33 показываетъ, что кованное желѣзо, подвергшееся намагничивающей силѣ, увеличивающейся отъ  $H_n=0$  до  $H_n=200$ , имѣетъ  $B_n=95,000$  но послѣ того, какъ  $H_n$  достигнетъ величины  $H_n=1000$  и затѣмъ снова уменьшится до  $H_n=200$ , то  $B_n$  уже будетъ равняться не 95000, а  $B_n=98000$ .

Желѣзо, которое обладаетъ значительной задерживающей способностью и для котораго слѣдовательно кривыя при увеличеніи намагничивающей силы и при ея уменьшеніи значительно разнятся между собой, не слѣдуетъ употреблять для электромагнитовъ. Для этихъ послѣднихъ требуется желѣзо съ возможно меньшимъ остаточнымъ магнетизмомъ. Кривая чугуна показываетъ, что въ немъ этотъ остаточный магнетизмъ гораздо больше, чѣмъ въ кованномъ желѣзѣ. Въ числовыхъ таблицахъ III и IV взяты величины среднія между двумя кривыми.

Возьмемъ какой либо примѣръ, чтобы показать, какъ слѣдуетъ

Фиг. 37.



Кривыя проницаемости.

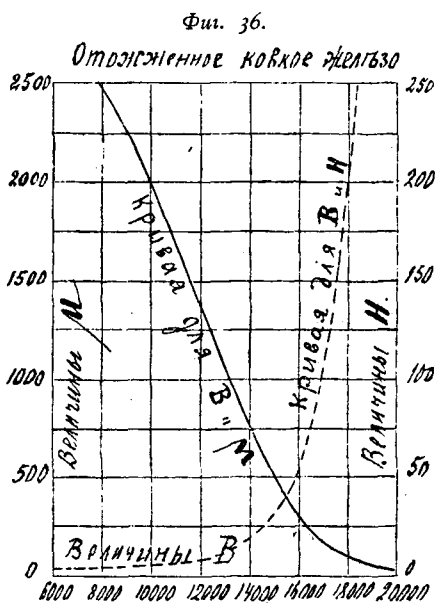
пользоваться этими таблицами. Рѣшимъ, напримѣръ, вопросъ, какова должна быть намагничивающая сила, чтобы произвести въ кован-

номъ желѣзѣ магнетизмъ въ 110000 линій на кв. дюймъ. Таблица III и фиг. 35 показываетъ, что эта сила должна быть равна 664 и, что при этомъ магнитномъ состоянii проницаемость желѣза всего 166. Такъ какъ 1 кв. дюймъ равенъ 6,45 кв. сантиметровъ, то 110000 линій на кв. дюймъ соответствуютъ 17000 на кв. сан. и при  $H_n = 664$ ,  $H$  будетъ приблизительно равно 100.

Очень распространенъ теперь обычай выражать результаты опытовъ кривыми, подобными тѣмъ, которыя изображены на фиг. 37. По вертикальной оси отложены величины  $\mu$ , а по горизонтальной —  $B$ . Двѣ кривыя относятся къ даннымъ Гопкинсона табл. IV, третья къ даннымъ Бидвеля табл. V. Замѣтимъ, что для образцовъ Гопкинсона отожженного ковкого желѣза, въ предѣлахъ для  $B = 7000$  и  $B = 16000$ , между  $\mu$  и  $B$  существуетъ линейная зависимость и  $\mu$  можетъ быть выражено формулой:

$$\mu = (17000 - B) \div 3,5$$

На основанii данныхъ таблицы IV построена кривая (фиг. 36).



Кривыя магнитныхъ свойствъ желѣза на основанii таблицы IV.

въ извѣстномъ масштабѣ для того, чтобы облегчить вычисленіе  $\mu$  и  $H$  по данной величинѣ  $B$ . Напримѣръ, если мы желаемъ знать,

какова будетъ проникаемость этого сорта желѣза, когда  $B$  достигнетъ величины 12000 линій на кв. сант., то изъ кривой относящейся къ  $B$  и  $\mu$  найдемъ, что при этой степени намагничиванія  $\mu$  будетъ около 1400.

Для того, чтобы облегчить изслѣдованіе новыхъ сортовъ желѣза, въ послѣднее время Свинбурнъ предложилъ новую методу, въ которой не нужно употреблять баллистическаго гальванометра. Подробности читатель можетъ найти въ оригинальной статьѣ \*).

#### 4. Методы, основанные на приставаіи.

Другая группа способовъ измѣренія магнитной проникаемости основана на законахъ магнитнаго приставаіа. Этихъ способовъ тоже существуетъ нѣсколько.

*Г. Методъ раздаиванія кольца.* Шельфордъ Бидуелль (Shelford Bidwell) любезно одолжилъ мнѣ приборъ, которымъ онъ пользовался для своихъ изслѣдованій по этому методу. Онъ состоитъ изъ кольца, сдѣланнаго изъ круглой желѣзной полосы въ 6,4 мил. толщиной. Внешній діаметръ этого кольца 8 сант. Оно распилено по діаметру пополамъ и обѣ половины обмотаны изолированной мѣдной проволокой, которая дѣлаетъ всего 1929 оборотовъ. Когда оба полукольца сложены вмѣстѣ, то они составляютъ, практически, замкнутую цѣпь. Когда токъ проходитъ по обмоткѣ, то они намагничиваются и притягиваются другъ къ другу. Зная силу, которую надо приложить, чтобы разъединить ихъ, можно, на основаніи закона магнитнаго приставаіа, о которомъ будетъ говорено дальше, опредѣлить  $B$ . Этотъ законъ состоитъ въ слѣдующемъ: Сила приставаіа (на данную поверхность прикосновенія) пропорціональна квадрату числа магнитныхъ линій, которыя проходятъ черезъ поверхность прикосновенія. Теперь зная  $B$  и, вычисливъ по даннымъ раньше правиламъ  $H$ , мы можемъ опредѣлить и проникаемость. Таблица V содержитъ результаты работъ Бидуелля.

\*) The Electrician. October 10, 1890.

## Таблица V

(за единицу принятъ кв. сант.).

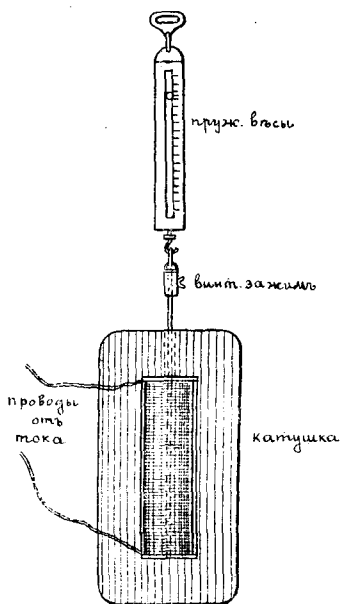
МЯГКОЕ ЖЕЛѢЗО, ВЫДѢЛАННОЕ НА ДРЕВЕСНОМЪ УГЛѢ.		
В	μ	Н
7390	1899,1	3,9
11550	1121,4	10,3
15460	386,4	40
17330	150,7	115
18470	88,8	208
19330	45,3	427
19820	33,9	585

*Д. Методъ раздваиванія полосы.* Въ этомъ способѣ, принадлежащемъ тоже Бидуеллю, изслѣдуемому желѣзу придаютъ форму прямой полосы съ ушками съ обоихъ концовъ и распиливаютъ ее по срединѣ. Затѣмъ ее помѣщаютъ въ вертикальную намагничивающую катушку. За верхній крючекъ весь приборъ подвѣшивается, къ нижнему же прикрѣпляютъ чашку отъ вѣсовъ. Затѣмъ черезъ катушку пропускаютъ токъ и замѣчаютъ наибольшій грузъ, который можно помѣстить на чашку, не оторвавъ нижней половины желѣзнаго стержня.

*Е. Методъ пермеметра.* Я изобрѣлъ этотъ способъ для изслѣдованія различныхъ сортовъ желѣза. Въ отличіе отъ всѣхъ предъидущихъ способовъ, которые можно назвать лабораторными, мой методъ можетъ быть примѣненъ въ каждой мастерской. Онъ не требуетъ ни баллистическаго гальванометра, ни кольцеобразной формы изслѣдуемаго образца, ни обматыванія его проволокой. Я рѣшилъ назвать мой приборъ *пермеметромъ*. По наружному виду, какъ это показываетъ фиг. 38, онъ похожъ на приборъ Гопкинсона. Прямоугольный кусокъ желѣза, внутри котораго помѣщена намагничивающая катушка съ латунной трубкой вдоль

оси, имѣть 12 д. длины,  $6\frac{1}{2}$  д. ширины и 3 д. толщины. Съ одного конца въ немъ продѣлано отверстіе, въ которое вставляется испытываемый образецъ.

Фиг. 38.



Пермеаметръ.

Этому образцу придается форма цилиндра, одно изъ оснований котораго отшлифовано. Когда цилиндръ помѣщенъ въ катушку и токъ пропускается черезъ нее, нижній конецъ цилиндра прилипаетъ къ большому куску желѣза и эта сила, или, вѣрнѣе, корень квадратный изъ этой силы, можетъ служить мѣрой проникновенія магнитной силы сквозь прикасающуюся поверхность. Въ первомъ пермеаметрѣ, который я построилъ, намагничивающая катушка была въ 13,64 сант. длины, съ 371 оборотомъ проволоки. Слѣдовательно токъ силою въ 1 амперъ давалъ  $H = 34$ . Толщина проволоки такова, что по ней можно провести 30 амперовъ и получить, слѣдовательно,  $H = 1000$ . Для примѣра

я беру два образца: образецъ желѣза, выдѣланнаго на древесномъ углѣ и образецъ лучшаго желѣза. Я подвѣшиваю приборъ на пружинные вѣсы, хорошо калиброванные и снабженные автоматическимъ указателемъ, который остается на цифрѣ, указывающей наибольшей вѣсъ, и пропускаю токъ въ 25 амперовъ. Сила приставанія перваго образчика желѣза  $12\frac{1}{2}$  фун., втораго же  $7\frac{1}{2}$  фун. Въ первомъ  $B$  около 19000 и т. к.  $H = 850$ , то  $\mu = 22,3$ . Законъ приставанія, которыми я пользуюсь для вычисленія  $B$  будетъ изложенъ дальше, пока же я довольствуюсь тѣмъ, что даю окончательную формулу:

$$B = 1,317 \times \sqrt{P \div A} + H$$

гдѣ  $A$  — площадь поверхности прикосновенія, въ квадратныхъ дюймахъ, а  $P$  — число фунтовъ, когда стержень отпадаетъ. Я при-

бавлю, что приборъ въ окончательной формѣ сдѣланъ братьями Надлеръ (Nadler Broth), извѣстными конструкторами электрическихъ аппаратовъ.

*Предѣлъ намагничиванія и проницаемости.* Разсматривая результаты наблюдений, мы можемъ замѣтить, что всѣ кривыя намагничиванія и проницаемости носятъ одинъ и тотъ же характеръ, т. е. стремятся къ практическому максимуму, который, однако, не одинъ и тотъ же для различныхъ веществъ. Джоуль полагалъ, что «никакая сила не можетъ дать притягательной силы болѣе 200 фун. на квадратный дюймъ», наибольшая же сила, полученная имъ самимъ была 175 фун. на кв. дюймъ. Роуландъ, предполагалъ, что предѣлъ притягательной силы есть 177 фун. на кв. дюймъ, даже при безконечно большой силѣ намагничивающаго тока. Это соотвѣтствуетъ величинѣ В около 17500 на квадр. сантиметръ. Однако часто получали величины В больше этой. Бидуелль получилъ 19820 и даже больше, т. к. въ его вычисленіяхъ величина Н взята меньше, чѣмъ слѣдуетъ. Гопкинсонъ даетъ 18250 для кованнаго желѣза, 19840—для мягкой стали Уитворта. Каппъ даетъ 16740 для кованнаго желѣза, 20460 для желѣза, дѣланнаго на древесныхъ угляхъ въ листахъ и 23250 для того же желѣза въ видѣ проволоки. Бозанке нашель наибольшее число въ средней части длинной полосы. Для одного образца оно было 21428, для другаго 29388, для третьяго 27688. Юингъ, работая съ необычайно большой намагничивающей силой, увеличилъ величину В для желѣза завода Ловмуръ до 31560 (величина  $\mu$  при этомъ уменьшилась до 3) и даже до 45350. Послѣднее число соотвѣтствуетъ силѣ приставанія въ 1000 фунтовъ на квадратный дюймъ.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены нѣкоторыя данныя Юинга, относящіяся къ намагничиванію шведскаго желѣза въ весьма сильномъ магнитномъ полѣ.

Чугунъ далеко уступаетъ въ этомъ отношеніи желѣзу. Гопкинсонъ, пользуясь намагничивающей силой въ 240, нашель для величины В слѣдующія значенія: въ сѣромъ чугунѣ—10783; въ ковкомъ чугунѣ—12408; въ половинчатомъ чугунѣ—10546. Юингъ намагничивающей силой, приблизительно въ 50 разъ большей, увеличилъ въ чугунѣ В до 31760. Митисъ металлъ, который самъ по себѣ есть сортъ ковкаго чугуна, т. к. состоитъ изъ сплава кованнаго желѣза съ небольшимъ количествомъ алюминія, какъ

## Таблица VI.

*Шведское желѣзо (единица кв. сант.).*

Н	В	$\mu$
1490	22650	15,20
3600	24650	6,85
6070	27130	4,47
8600	30270	3,52
18310	38960	2,13
19450	40820	2,10
19880	41140	2,07

я нашель, болѣе магнитенъ, чѣмъ чугуны и немного хуже кованнаго желѣза. Онъ представляетъ отличный матеріалъ для электромагнитовъ, въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется дешевизна.

Прежде предполагали, что для величины В существуетъ нѣкоторый предѣлъ, лежащій напр. для кованнаго желѣза около 20000. Числа, полученные Юингомъ при громадныхъ намагничивающихъ силахъ, показали, что это не такъ. Но съ другой стороны они показали, что разность В—Н стремится къ предѣлу. Другими словами та часть величины В, которая зависитъ отъ присутствія желѣза, стремится къ дѣйствительному предѣлу. Этотъ максимумъ наступаетъ для кованнаго желѣза при 21360, а для чугуна—при 15580.

### Вліяніе воздушныхъ слоевъ, находящихся въ магнитной цѣпи.

Всѣ предыдущіе результаты относятся только къ одному желѣзу, т. е. кривыя намагничиванія относятся только къ магнитнымъ веществамъ. Они показываютъ намъ ту магнитную силу (Н), которую нужно употребить, чтобы заставить В магнитныхъ линій пройти сквозь кубическій сантиметръ вещества. Если мы имѣемъ дѣло съ кускомъ желѣза, поперечное сѣченіе котораго больше



одного кв. сант., а длина больше 1 сант., то для того, чтобы представить явленіе, намъ придется (до тѣхъ поръ пока намагничивается *только* желѣзо), лишь измѣнить масштабъ кривыхъ. Для примѣра положимъ, что мы работаемъ съ кольцомъ, сдѣланнымъ изъ квадратной полосы мягкаго отожженнаго желѣза (того же сорта, который употреблялъ Гопкинсонъ) и пусть толщина полосы будетъ 2 сант., а средняя длина кольца 80 сант. Теперь, вмѣсто  $B$  и  $H$ , у насъ будутъ  $N$ —общее число магнитныхъ линій внутри поперечнаго сѣченія желѣза, и  $NI$ —линейный интеграль намагничивающей силы вдоль по длинѣ желѣзной цѣпи.

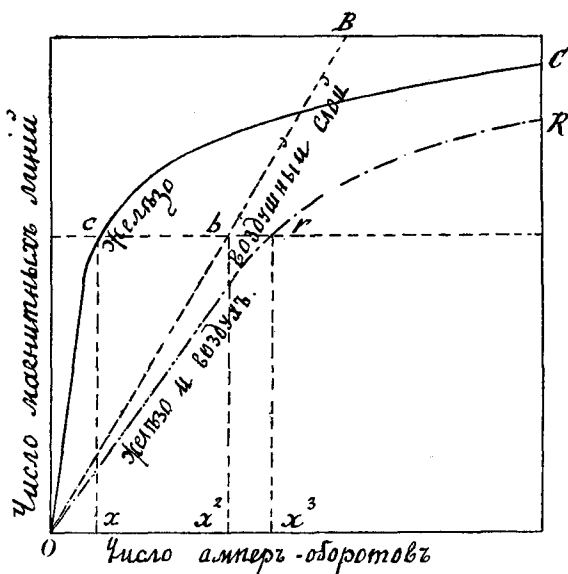
Для этого случая мы должны слѣдующимъ образомъ перемѣнить масштабъ кривыхъ для  $B$  и  $H$  (фиг. 36): т. к. площадь поперечнаго сѣченія кольца равна 4 кв. с., то при всякой степени намагничиванія  $N$  будетъ въ-четверо больше  $B$ . Поэтому та точка горизонтальной шкалы, которая обозначена  $B=16000$ , теперь обозначится  $N=64000$ . Далѣе, т. к. длина желѣза 50 с., то та точка шкалы (на правой сторонѣ), которая обозначена  $H=50$  и которая соотвѣтствуетъ данному намагничиванію, обозначится знакомъ  $NI=4000$ . Послѣ такой перемѣны, кривая будетъ изображать магнитныя свойства всего кольца, она покажетъ намъ, какую мы должны употребить намагничивающую силу (которую получили, пропуская по обмоткѣ токъ) для того, чтобы получить желаемую величину для  $N$ , т. е. желаемое число магнитныхъ линій. Когда мы будемъ знать  $NI$ , то уже не трудно будетъ вычислить нужное число амперъ-оборотовъ, т. к., на основаніи сказаннаго раньше, число амперъ-оборотовъ, умноженное на 1,257 равняется линейному интегралу намагничивающей силы.

Очевидно, что въ случаяхъ, когда въ магнитной цѣпи есть слой воздуха или слой какого нибудь другаго не магнитнаго вещества, (проницаемость всѣхъ такихъ веществъ равна проницаемость воздуха, т. е. единицѣ), необходимо употребить большую намагничивающую силу для того, чтобы провести то же число магнитныхъ линій сквозь этотъ слой, обладающій столь малой проницаемостью.

Фигура 39 пояснить сказанное. На этой фигурѣ кривая  $OcC$  изображаетъ отношеніе между числомъ магнитныхъ линій въ желѣзной полосѣ и числомъ амперъ-оборотовъ ( $NI \div 1,257$ ), нужныхъ для того, чтобы провести это число магнитныхъ линій

сквозь желѣзо. Напримѣръ, чтобы достигнуть высоты  $c$ , возбуждающій токъ долженъ имѣть величину, представляемую длиной  $Ox$ .

Фиг. 39.



Кривыя намагничиванія для магнитной цепи съ воздушнымъ слоемъ.

Прямая  $O b B$  представляетъ отношеніе между потокомъ магнитныхъ линій въ воздушномъ слоѣ и числомъ амперъ-оборотовъ, нужнымъ, чтобы провести эти линіи сквозь воздушный слой. Если-бы слой былъ бы въ 1 кв. сант. въ сѣченіи и 1 сант. длиной, то 0,795 амперъ оборотовъ произвели бы поле  $H=V=1$ . Въ настоящемъ случаѣ предполагается, что сѣченіе слоя больше 1 кв. сант., а толщина меньше 1 с. Въ этомъ случаѣ линія наклоняется такъ, что длина  $Ox_2$  представляетъ число амперъ-оборотовъ, нужныхъ для того, чтобы довести магнитный потокъ до величины  $b$ , которая лежитъ на той же высотѣ шкалы, что и  $c$ . Теперь уже легко соединить эти два случая вмѣстѣ, т. к. общая величина возбуждающей силы, нужной для проведения даннаго числа магнитныхъ линій сквозь желѣзо и воздухъ (пренебрегая утечкой), равна суммѣ силъ, нужныхъ для того, чтобы провести это же число линій отдѣльно черезъ воздушный слой и черезъ желѣзо. Точка  $x_3$  расположена такъ, что  $Ox_3$  равняется суммѣ

$Ox_1$  и  $Ox_2$ , т. е. такъ, что разстояніе точки  $r$  отъ вертикальной оси равно суммѣ разстояній отъ той же оси точекъ  $s$  и  $b$ . Если такимъ же образомъ найти положеніе еще нѣсколькихъ точекъ, то на основаніи первыхъ двухъ линій, можно построить кривую  $OxR$ . Можно видѣть, что вообще присутствіе воздушнаго слоя въ магнитной цѣпи, заставляетъ кривую наклоняться ниже, причемъ первоначальный уголъ наклоненія опредѣляется размѣрами воздушнаго слоя.

Мы отсылаемъ затѣмъ читателя къ весьма интереснымъ опытамъ, сдѣланнымъ въ Парижѣ Ледюкомъ \*), который однако сдѣлалъ ошибку при изученіи трубнообразныхъ сердечниковъ.

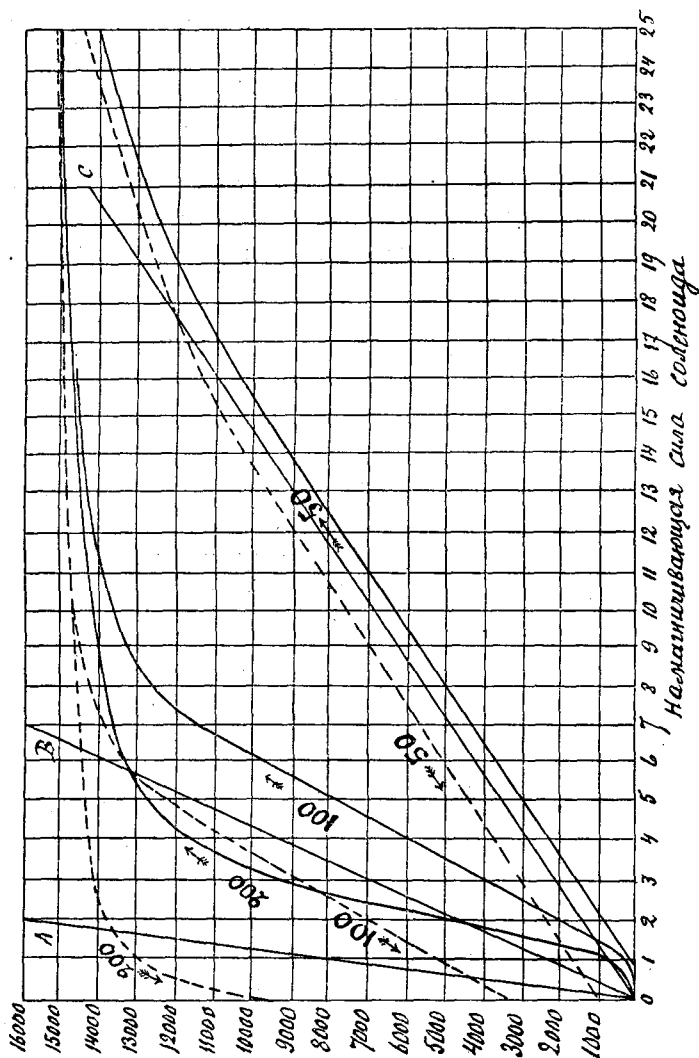
### Вліяніе длины прямыхъ сердечниковъ.

Изъ раньше сказаннаго ясно, что, если въ намагничивающую обмотку помѣстить короткій желѣзный сердечникъ, то придется для того, чтобы намагнитить (го до извѣстной степени, употребить бо́льшую намагничивающую силу, чѣмъ, если бы сердечникъ былъ длинный или же имѣлъ бы форму кольца. Понятно, что тутъ играетъ главную роль сопротивленіе возвратнаго воздушнаго пути для магнитныхъ линій, который въ случаѣ болѣе длиннаго желѣзнаго стержня или кольца, становится короче. Кривыя на фигурѣ 40 построены на основаніи данныхъ проф. Юинга, относящихся къ проволокамъ изъ отожженнаго мягкаго желѣза. Сначала былъ взятъ кусокъ проволоки длиною въ 200 діаметровъ, затѣмъ его укоротили до длины въ 100 діаметровъ и наконецъ до длины въ 50 діаметровъ. Сплошныя кривыя получены при возрастающихъ силахъ, а пунктирныя — при намагничивающихъ силахъ, убывающихъ до нуля. Три прямыя линіи  $OA$ ,  $OB$  и  $OC$  показываютъ намагничивающія силы, которыя нужны были, чтобы провести магнитныя линіи сквозь воздухъ. Для примѣра рассмотримъ кривую, относящуюся къ куску проволоки, длиною въ 50 діаметровъ. Для того, чтобы увеличить  $B$  до 9000 потребовалась намагничивающая сила  $H=14$ , но изъ этой силы  $^{13}/_{14}$ , какъ пока-

\*) Lum. Electr. 1888.

зываетъ прямая ОС пошло на то, чтобы провести магнитныя линіи черезъ воздухъ на обратномъ пути. Слѣдовательно въ дѣй-

Фиг. 40.



Намагничиваніе крутильхъ стержней разной длины, сдѣланныхъ изъ мягкаго желѣза

ствительности для того, чтобы получить въ желѣзномъ стержнѣ  $B=9000$ , требуется только намагничивающая сила  $H=1$ .

## Вліяніе мѣсть соединеній кусковъ желѣза.

Теперь мы, будучи въ состояніи вычислить добавочную намагничивающую силу, нужную для проведенія магнитныхъ линій сквозь воздушный слой, достаточно подготовлены для того, чтобы рассмотретьъ еще одинъ вопросъ, которымъ долго пренебрегали, именно вопросъ о вліяніи на сопротивленіе магнитной цѣпи мѣсть соединенія кусковъ желѣза. Подковообразные магниты не всегда дѣлаются изъ одной согнутой въ дугу полосы. Они часто имѣютъ форму изображенную на фиг. 11, и состоятъ изъ двухъ прямыхъ стержней, привинченныхъ или приклепанныхъ къ соединительной полостѣ. Опредѣлить вліяніе на потокъ магнитныхъ линій поперечнаго разрѣза въ желѣзномъ стержнѣ — дѣло опыта. Арматура никогда не находится въ полномъ соприкосновеніи съ электромагнитомъ, иначе она держалась бы безъ всякой намагничивающей силы; неполное прикосновеніе это представляетъ значительное магнитное сопротивленіе. Этотъ вопросъ разсматривался проф. Дж. Томсономъ (J. J. Thomson) и Невеллемъ (Newell) въ Proceedings of Cambridge Philosophical Society въ 1887 г., и, въ новѣйшее время проф. Юингомъ (Ewing), изслѣдованія котораго напечатаны въ Сентябрской книжкѣ Phil. Mag. за 1888 годъ. Юингъ изслѣдовалъ не только вліяніе разрѣзовъ съ двумя плоскими поверхностями, но изслѣдовалъ также вліяніе внѣшнихъ давленій на дѣйствіе мѣсть соединенія при различныхъ намагничивающихъ силахъ. Мы не будемъ разсматривать вліянія внѣшняго давленія, но соберемъ результаты, которые получилъ Юингъ, работая съ полосой изъ кованнаго желѣза, которая разрѣзывалась поперегъ, сначала на два куска, потомъ на четыре, и наконецъ на восемь.

Положимъ, что мы намагнитили наше желѣзо до состоянія, когда на кв. сант. приходится около 16000 линій (т. е. сила приставанія равна 150 фун. на кв. дюймъ); при этомъ потребуется намагничивающая сила  $H$  равная 50. Изъ предыдущей таблицы видно, что каждое соединеніе прибавляетъ сопротивленіе, равное сопротивленію слоя воздуха въ 0,0005 дюйма толщиной, или равное сопротивленіе, которое представилъ бы слой желѣза толщиной въ одну шестую дюйма. При небольшихъ намагничивающихъ силахъ

Таблица VII.

Вліяніе соединеній въ желѣзной ковальной полости (безъ давленія).

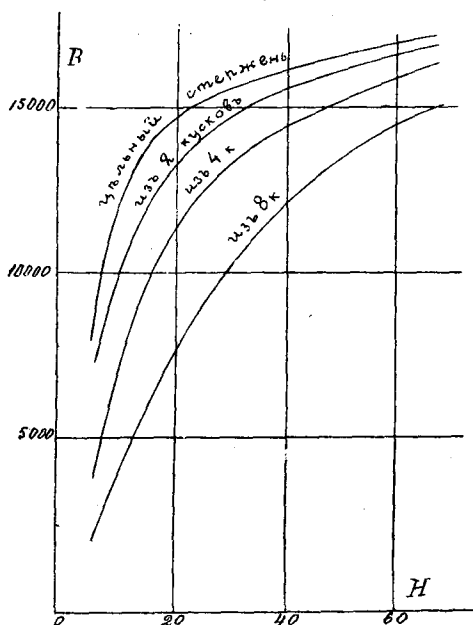
Н	В				Средняя толщина эквивалентнаго слоя воздуха для одного разрѣза.		Толщина желѣза соответствующаго сопротивленія для одного разрѣза.	
	Сплошная.	Разрѣзан. на двое.	Разрѣзан. на 4 части.	Разрѣзан. на 8 част.	Сантим.	Дюймы.	Сантим.	Дюймы.
7,5	8500	6900	4809	2600	0,0036	0,0014	4	1,57
15	13400	11550	8900	5550	0,0030	0,0012	2,53	1,00
30	15350	14550	12940	9800	0,0020	0,0008	1,10	0,433
50	16400	15950	15000	13300	0,0013	0,0005	0,43	0,169
70	17100	16840	16120	15200	0,0009	0,0004	0,22	0,087

дѣйствіе, которое производитъ разрѣзь при хорошихъ поверхностяхъ контакта, приблизительно равно тому, которое произведетъ воздушный слой въ  $\frac{1}{800}$  дюйма толщиной или тому, которое произойдетъ отъ прибавленія къ цѣпи куска желѣза въ 1 д. длины. При большихъ намагничивающихъ силахъ это явленіе однако исчезаетъ, вѣроятно благодаря взаимному притяженію разрѣзанныхъ частей. При большихъ намагничивающихъ силахъ, доходящихъ до 15000 и 20000 линій на кв. сантиметръ, сила приставанія будетъ около 130—230 ф. на кв. дюймъ и сопротивленіе соединеній значительно уменьшается и доходитъ до  $\frac{1}{20}$  своей первоначальной величины. Юингъ, прибѣгая къ давленію въ 670 ф. на кв. дюймъ, которое въ сплошномъ кускѣ уменьшаетъ намагничиваемость, нашель, что это уменьшеніе приблизительно компенсируется лучшей проводимостью поверхностей разрѣза. Старые разрѣзы, сжатые такимъ образомъ, совершенно не дѣйствуютъ какъ разрѣзы, но тутъ мы теряемъ столько же сколько и выигрываемъ, т. к. желѣзо становится менѣ намагничиваемымъ.

Результаты работъ Юинга представлены кривыми на фиг. 41. Вредное дѣйствіе разрѣзовъ значительно уменьшается, когда по поверхности разрѣзанныхъ частей совершенно плоскія и совершенно исчезаетъ при сильномъ внѣшнемъ давленіи.

Вліяніе давленія было въ этихъ опытахъ Юинга очень велико. При давленіи 3210 фунтовъ на кв. дюймъ (т. е. 226 килограмм-

Фиг. 41.



Кривыя Юинга, показывающія вліянія соединеній.

## Таблица VIII.

Вліяніе давленія на мѣста соединенія.

Н	В { подъ давленіемъ 3210 ф. на кв. дюймъ.		Толщина эквивалентнаго воздушнаго слоя (въ миллиметрахъ).
	Сплошной стержень.	Стержень разръ- занный на 8 част.	
7,5	7500	3600	0,020
10	10000	4900	0,019
20	13900	8300	0,018
30	15200	10700	0,017
50	16500	13750	0,011
70	17200	15700	0,007

## Таблица IX.

Вліяніє различныхъ величинъ давленія.

Давленіє въ килогр. на кв. сантиметръ.	В (при $H = 5$ ).		Толщина эквивалент- наго воздушнаго слоя (въ миллиметрахъ).
	До разръза.	Послѣ разръза и шлифовки.	
0	5600	4700	0,022
56,5	5400	4670	0,020
131	4700	4200	0,017
169,5	4050	3800	0,010
226	3650	3650	0,000

мовъ на кв. сантиметръ) сопротивленіе мѣстъ соединенія уменьшалось вмѣстѣ съ увеличеніемъ намагничивающей силы. Таблица VIII и IX даютъ величины В и Н для сплошнаго стержня и для стержня, состоящаго изъ восьми кусковъ. Въ четвертомъ столбцѣ помѣщены толщины эквивалентныхъ воздушныхъ слоевъ.

Давленіе въ слабомъ магнитномъ полѣ вообще стремится совершенно сблизить хорошо отшлифованныя поверхности кусковъ желѣза. Это видно изъ прилагаемой таблицы IX.

## Вліяніє механическихъ дѣйствій.

Кусокъ мягкаго желѣза, подвергнутый разнымъ механическимъ дѣйствіямъ, мѣняетъ свои магнитныя свойства. Продольное растяженіе желѣза во время намагничиванія увеличиваетъ его проницаемость, тогда какъ продольное сжатіе уменьшаетъ ее. Это послѣднее дѣйствіе сжатіе хорошо иллюстрируется цифрами, приведенными во второмъ столбцѣ послѣдней таблицы (таблицы IX). Изъ нихъ видно, что давленіе 226 килограммовъ на кв. сантиметръ, или около  $1\frac{1}{2}$  тонъ на кв. дюймъ, уменьшаетъ величину В съ 5600 до 3650, т. е. уменьшаетъ проницаемость желѣза съ 1120 до 730. Растяженіе тоже мѣняетъ мягкость желѣза. Кусокъ



проволоки изъ мягкаго желѣза, сдѣланный болѣе твердымъ посредствомъ растяженія, обладаетъ уже свойствами болѣе приближающимися, какъ это можно видѣть изъ кривой Юинга (фиг. 31), къ свойствамъ стали. Скручиваніе тоже вліяетъ на магнитныя свойства желѣза. Подробности относительно этого вопроса можно найти въ сочиненіяхъ Юинга относительно магнетизма. Необходимо обратить вниманіе на одно существенное обстоятельство: всѣ механическіе процессы, какъ-то: ковка, прокатываніе, скручиваніе и т. п. сильно портятъ магнитныя свойства отожженнаго желѣза. Отожженное кованное желѣзо, до котораго не касался инструментъ, не обладаетъ почти никакимъ остаточнымъ магнетизмомъ даже послѣ того, какъ на него дѣйствовала намагничивающая сила. Но стоитъ только попилить его напильникомъ, чтобы оно потеряло это свойство. Стюрженъ первый обратилъ на это вниманіе. Въ инструкціи для конструкторовъ чувствительныхъ приборовъ для англійскихъ телеграфовъ, сказано, что напильникъ не долженъ касаться сердечниковъ послѣ ихъ проковки. Частые удары арматуры по полюсамъ электромагнита съ теченіемъ времени производятъ ухудшеніе свойствъ желѣза.

### Вліяніе сотрясеній.

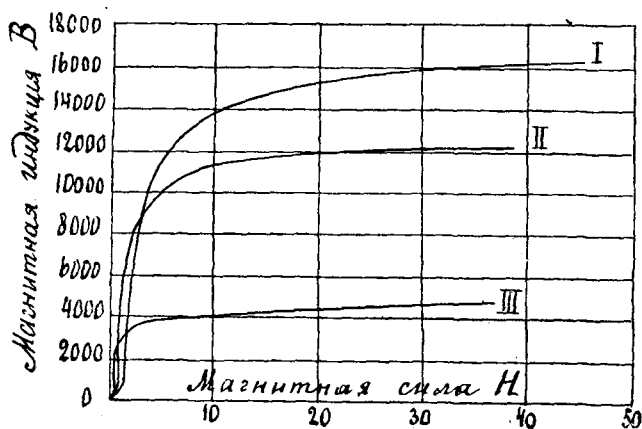
Сотрясенія уничтожаютъ весь остаточный магнетизмъ и заставляютъ желѣзо прійти въ состояніе соотвѣтствующее данной намагничивающей силѣ. Если изслѣдовать какой нибудь образецъ желѣза въ то время, когда онъ приведенъ въ быстрое колебательное движеніе, то разница между поднимающейся кривой намагничиванія и опускающейся кривой будетъ едва замѣтна. Для проволоки изъ мягкаго желѣза достаточно одного слабого удара, чтобы уничтожить въ ней весь остаточный магнетизмъ.

### Вліяніе теплоты.

Если желѣзо нагрѣть, то его магнитныя свойства претерпѣваютъ значительныя измѣненія. Возвышеніе температуры имѣетъ различное дѣйствіе въ зависимости отъ магнитнаго состоянія и сорта желѣза, подвергаемаго нагрѣванію. Въ мягкомъ желѣзѣ, помѣщенномъ въ слабое магнитное поле, повышеніе температуры

производитъ увеличеніе проницаемости. Это увеличеніе продолжается до тѣхъ поръ, пока желѣзо не накалится до красна, т. е. до температуры около 760 Ц. При этой температурѣ проницаемость достигаетъ громадной величины около 10000. Затѣмъ она быстро уменьшается и, когда температура достигаетъ 780<sup>0</sup> Ц., желѣзо перестаетъ быть магнитнымъ веществомъ. При этой температурѣ его проницаемость не отличается значительно отъ проницаемости воздуха или пустоты. Въ очень сильномъ магнитномъ полѣ повышение температуры съ самаго начала понижаетъ проницаемость, сначала медленно, затѣмъ скорѣе, пока температура не достигнетъ 780<sup>0</sup>, когда желѣзо перестаетъ быть магнитнымъ. Вліяніе повышения температуры на сталь совершенно другого рода. Въ очень слабомъ магнитномъ полѣ, гдѣ  $H$  приблизительно равно 0,2, повышение температуры увеличиваетъ проницаемость какъ твердой, такъ и мягкой стали. Это повышение продолжается пока температура не достигнетъ 700<sup>0</sup> Ц., когда проницаемость внезапно падаетъ до нуля. Въ магнитномъ полѣ, въ которомъ  $H=2$ , намагничиваніе при низкихъ температурахъ сильнѣе и оно прекращается при температурѣ значительно ниже 700<sup>0</sup> Ц. Въ сильномъ полѣ, гдѣ  $H=40$ , проницаемость при повышеніи температуры по-

Фиг. 42.

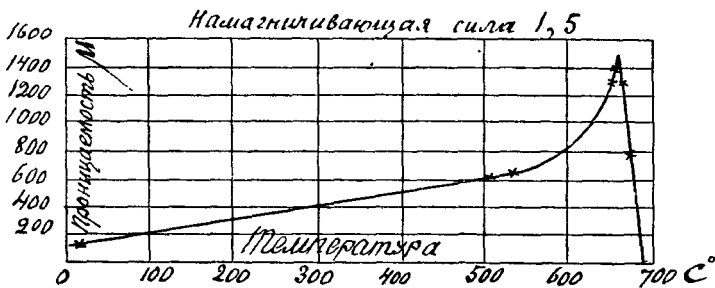


Намагничиваніе стали при разныхъ температурахъ.

стоянно уменьшается. При высокихъ температурахъ всѣ явленія остаточнаго магнетизма уменьшаются. Фиг. 42 показываетъ влія-

не температуры на изменение кривых намагничивания стали. Три кривые относятся къ температурамъ  $12^{\circ}$ ,  $620^{\circ}$  и  $715^{\circ}$  Ц.

Фиг. 43.



Зависимость между проницаемостью (въ слабомъ полѣ) и температурой для твердой стали.

Кривая на фиг. 43, взятая изъ изслѣдованій Гопкинсона, показываетъ увеличеніе намагничиванія твердой стали, подверженной дѣйствию слабой намагничивающей силы, вмѣстѣ съ повышеніемъ температуры. Это увеличеніе намагничиванія идетъ до нѣкоторой точки, гдѣ намагничиваніе сразу начинаетъ падать и при нѣкоторой критической температурѣ совершенно пропадаетъ.

### Остаточный магнетизмъ.

Всѣмъ извѣстно свойство нѣкоторыхъ магнитныхъ веществъ, особенно твердой стали и твердыхъ сортовъ желѣза, не размагничиваться послѣ того, какъ ихъ намагнитили, а сохранять нѣкоторый остаточный магнетизмъ. Точно также извѣстно, что замкнутый магнитный проводникъ, даже изъ самаго мягкаго желѣза, будетъ обладать значительнымъ количествомъ остаточнаго магнетизма до тѣхъ поръ, пока магнитная цѣпь не будетъ разомкнута. Отличнымъ примѣромъ, подтверждающимъ сказанное, можетъ служить электромагнитъ съ хорошо пригнанной арматурой, стержень котораго составляетъ съ ней сплошную магнитную цѣпь. Если по обмоткѣ такого электромагнита пропустить токъ и затѣмъ прервать его, то арматура обыкновенно не отпадаетъ и даже нужно употребить значительное усиліе, чтобы оторвать ее. Но

зато, разъ ее оторвали, она уже не пристаеъ вновь къ электромагниту. Это доказываетъ, что остаточный магнетизмъ не постоенень. Точно такъ же, намагничивая стальной подковообразный магнитъ въ то время, когда на его полюсахъ лежить якорь, можно его «пересытити», т. е. довести его до такой степени намагничиванія, которую онъ не можетъ удержать навсегда и которая уменьшается, какъ только вы оторвете въ первый разъ якорь. Всѣ явленія остаточнаго магнетизма относятся къ обширному классу явленій магнитнаго «*послѣдствія*». Въ тѣхъ явленіяхъ, которыя мы теперь будемъ разсматривать, магнитныя силы, если только они достаточно велики, производятъ на молекулы намагничиваемаго тѣла дѣйствіе, результатъ котораго остается послѣ того, какъ силы уже перестали дѣйствовать. При этомъ, если причины, производящія дѣйствіе мѣняются непрерывно, то и слѣдствія ихъ тоже мѣняются непрерывно, только съ нѣкоторымъ опозданіемъ въ фазѣ. Не надо смѣшивать этихъ явленій съ многочисленными явленіями запаздыванія магнетизма во времени, которымъ объяснялось многое, на самомъ дѣлѣ зависѣвшее отъ совершенно другихъ причинъ. Разсматриваемыя явленія зависятъ отъ запаздыванія скорѣе въ фазѣ, чѣмъ во времени и происходятъ независимо отъ того, ведутся ли операціи быстро или медленно.

Кривая на фиг. 35 показываетъ, что если увеличивать постепенно намагничивающую силу  $H$  отъ нуля до ея наибольшей величины и затѣмъ снова уменьшать до нуля, то происходящее при этомъ внутреннее намагничиваніе  $B$  сначала увеличивается, достигаетъ максимума и затѣмъ начинаетъ уменьшаться, но къ нулю не возвращается. Кривая, получающаяся при уменьшеніи намагничивающей силы, т. е. низходящая, не совпадаетъ съ кривой восходящей, т. е. получающейся при увеличиваніи намагничивающей силы. Дѣйствительно въ образчикѣ, къ которому относится кривая, послѣ того, какъ намагничивающая сила была уничтожена, еще остался остаточный магнетизмъ приблизительно около 47000 линій на кв. дюймъ, или 7300 линій на кв. сантиметръ. Было предложено называть то число линій, или ту величину  $B$ , которая остается послѣ уничтоженія намагничивающей силы «*остаточностью*» (remanence). Чтобы уничтожить эту остаточность, нужна нѣкоторая отрицательная намагничивающая сила. Если употребить достаточную обратную намагничивающую силу, то кривая опустится и

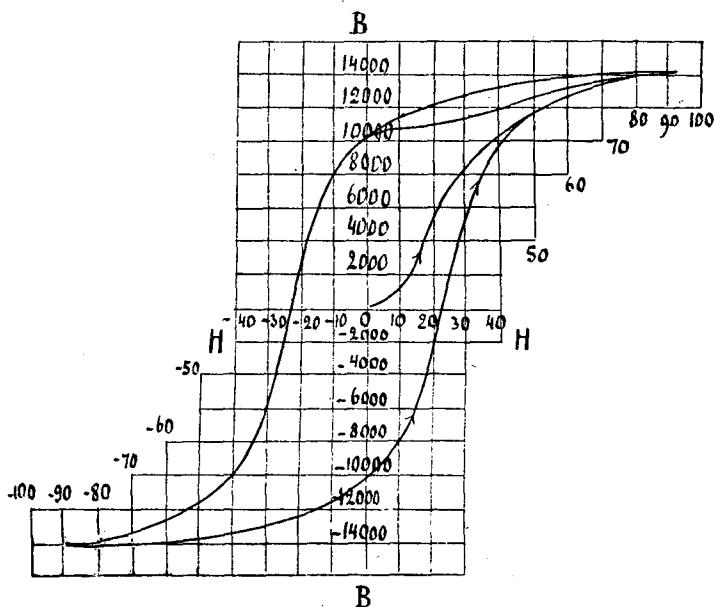
пересѣчетъ горизонтальную ось въ нѣкоторой точкѣ слѣва отъ начала ея. Если еще увеличить намагничивающую силу, то желѣзо снова начнетъ намагничиваться, но магнитныя линіи пойдутъ въ обратномъ направленіи. Ту отрицательную намагничивающую силу, которая нужна для уменьшенія остаточнаго магнетизма до нуля, Гопкинсонъ назвалъ «*понудительною силою*» (coercive force.) Въ нашемъ образцѣ понудительная сила равна 2 въ единицахъ С. G. S. и 13, если за единицу длины принять дюймъ. Такую силу, необходимую для того, чтобѣ избавить разсматриваемый образецъ желѣза отъ остаточнаго магнетизма, можно разсматривать, какъ мѣру способности этого образца удерживать постоянный магнетизмъ. Для твердой стали и твердыхъ сортовъ желѣза понудительная сила всегда больше, чѣмъ для мягкихъ. Напримѣръ для мягкаго кованаго желѣза она равняется приблизительно 2, тогда какъ для твердой стали ея величина можетъ доходить до 50. Болѣе подробныя свѣдѣнія относительно стали даны въ главѣ XVI, гдѣ говорится о постоянныхъ магнитахъ.

### Гистерезисъ.

Профессоръ Юингъ, изучавшій остаточныя явленія въ разныхъ сортахъ желѣза и стали, назвалъ *гистерезисомъ* стремленіе явленій опаздывать въ фазѣ отъ причинъ ихъ производящихъ. Обыкновенный способъ изученія гистерезиса состоитъ въ томъ, что изслѣдуемый образецъ подвергаютъ полному циклу (или ряду цикловъ) намагничиванія. Напримѣръ начинаютъ съ намагничивающей силы, равной нулю, и постепенно увеличиваютъ ее до значительной степени (напримѣръ до  $H=200$ ), затѣмъ ее начинаютъ уменьшать до нуля. Когда намагничивающая сила достигнетъ нуля, мѣняютъ ея направленіе и увеличиваютъ ее до значительной отрицательной величины, наконецъ послѣ этого снова уменьшаютъ до нуля. Подобный циклъ представленъ на фиг. 44, которая взята изъ изслѣдованій Юинга, относящихся къ отожженной стальной фортепианной струнѣ. Кривая начинается въ центрѣ чертежа и имѣетъ сначала выпуклую форму, а затѣмъ выгибается въ обратную. Когда  $H$  достигаетъ величины 90,  $B$  становится немногимъ больше 14000. Когда  $H$  затѣмъ начинаетъ уменьшаться обратно до нуля, то кривая тоже возвращается, но не по тому пути, по

которому она подымалась потому, что когда  $H$  уменьшится до 20,  $B$  уменьшится всего до 12000 и, когда  $H = 0$ , то остаточность

Фиг. 44.



Цикль намагничиванія стальной отожженной проволоки.

приблизительно равна 10500. Если, начиная съ этой точки  $H$  опять увеличить до 90, то  $B$  опять увеличится до 14000, какъ это показываетъ тонкая кривая. Если же въ точкѣ, гдѣ  $H = 0$ , переменить направление намагничивающей силы, кривая спускается влѣво и пересѣкаетъ горизонтальную ось въ точкѣ, гдѣ  $H = -24$ . Поэтому понудительная сила въ данномъ случаѣ будетъ равна 24. Если обратная намагничивающая сила будетъ увеличиваться до  $H = -90$ , то обратное намагничиваніе увеличивается до  $B = -14000$  и даже нѣсколько больше. Если затѣмъ эту обратную намагничивающую силу уменьшить до нуля, то кривая начнетъ подыматься вправо, пресѣчетъ вертикальную ось въ точкѣ  $B = -10500$  (отрицательная остаточность). Опять, переменяя направление намагничивающей силы и увеличивая ее, увидимъ, что при  $H = +24$ , намагничиваніе вновь становится равнымъ нулю. Если продолжать

дальше увеличивать  $H$ , то намагничиваніе растеть очень быстро, но не идетъ по первому пути, хотя приходитъ въ ту же точку, когда  $H$  достигнетъ величины 90.

### Циклы намагничиванія.

Если подвергать описанному циклу намагничиванія куски желѣза или стали, то полученная, по предыдущему, кривая будетъ всегда замкнутая, подобная изображенной на фиг. 44. Варбургъ \*) и Юингъ \*\*) показали, что это свойство кривой имѣеть особенное значеніе, т. к. площадь заключающаяся внутри, служитъ мѣрой количества работы, теряемой при подверганіи желѣза полному циклу намагничиванія. Совершенно подобно тому, какъ на діаграммахъ индикатора для паровой машины, площадь, ограничиваемая кривой, служитъ мѣрою тепла, превращаемаго машиной въ полезную работу при каждомъ циклѣ превращеній, такъ тутъ площадь внутри кривой служитъ мѣрою работы, превращаемой (безъ пользы) въ тепло.

Чтобы лучше понять значеніе діаграммъ, въ которыхъ по одной оси отложены значенія намагничивающей силы, а по другой—соотвѣтствующія величины намагничиванія, мы скажемъ нѣсколько словъ о діаграммахъ индикаторныхъ. Въ индикаторныхъ діаграммахъ величины давленія (причина) откладываются по вертикальной оси, а величины объемовъ—въ цилиндрѣ (слѣдствіе) по горизонтальной. Если средняя величина давленія равна  $p$  и объемъ измѣнился на нѣкоторую величину  $d v$ , то работа, затраченная при этомъ измѣненіи объема, выразится произведеніемъ  $p d v$ . Вся площадь, ограничиваемая кривой просто представляетъ сумму такихъ элементарныхъ площадей, и даетъ величину работы совершаемой при одномъ циклѣ. Символически это можно выразить формулой:

$$w = \int p d v.$$

Точно также въ магнитномъ циклѣ существуютъ двѣ переменныя: намагничивающая сила  $H$  (причина) и намагничиваніе  $B$

\*) Wied. Ann. XIII, 1881, ст. 141.

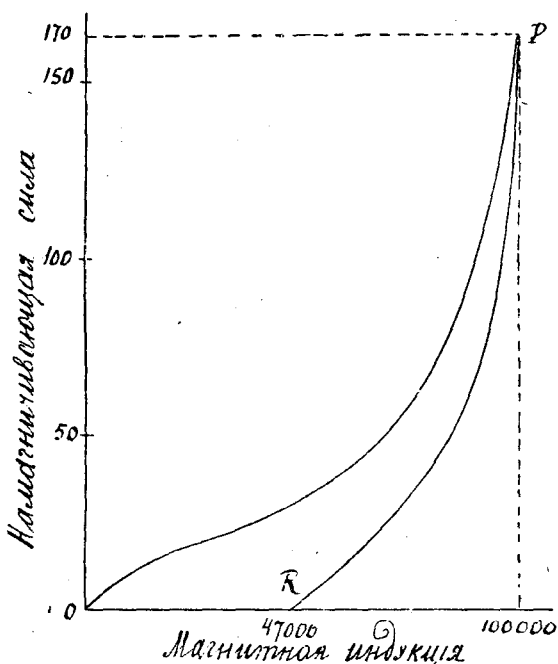
\*\*) Proc. Roy. Soc. XXXI, 1881; XXXIV, 1884; XXXV, 1885 и Phil. Trans. 1885 pt. II.

(слѣдствіе). Если средняя величина намагничивающей силы будетъ  $H$  и намагничиваніе увеличится на величину  $dV$ , то элементарная работа, произведенная при этомъ, будетъ пропорціональна произведенію  $H dV$ . Слѣдовательно при полномъ циклѣ, площадь ограничиваемая кривой (эта площадь опять равна суммѣ элементарныхъ площадей) будетъ пропорціональна всей работѣ, произведенной въ этомъ циклѣ, или

$$w = \int H dV.$$

На фиг. 45, которая относится къ мягкому отожженному

Фиг. 45.



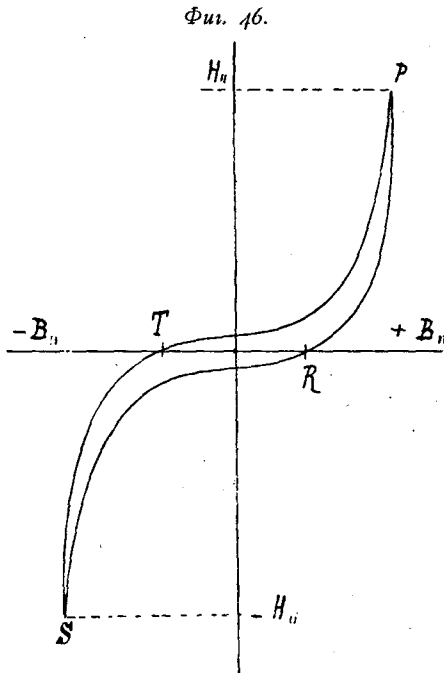
Работа, затрачиваемая при намагничиваніи и производимая при разматничиваніи.

железу, изслѣдованному Гопкинсономъ, (см. фиг. 35 и 36), по вертикальной оси отложены величины  $H$ , а по горизонтальной  $V$ . Такимъ образомъ онѣ соотвѣтствуютъ величинамъ  $r$  и  $v$  въ индикаторныхъ діаграммахъ. Кривая, начинающаяся въ точкѣ  $O$ , относится къ ряду наблюдений, сдѣланныхъ съ намагничивающими



силами, постепенно увеличивающимися от  $H=0$  до  $H=170$  приблизительно, когда соответствующее число магнитныхъ линий въ желѣзѣ достигаетъ 100000 на кв. дюймъ. Вторая кривая относится ко второму ряду наблюдений, въ которомъ намагничивающія силы уменьшались постепенно до нуля. При этомъ остаточный магнетизмъ былъ таковъ, что на кв. дюймъ оставалось около 47000 магнитныхъ линий.

Прилагая принципъ индикаторныхъ диаграммъ къ этимъ кривымъ, мы увидимъ, что площадь, ограничиваемая первой кривой, осью абсциссъ и ординатой точки  $P$ , представляетъ произведение магнитной силы на намагничиваніе и слѣдовательно она пропорциональна работѣ, произведенной при намагничиваніи желѣза до состоянія, соответствующаго точкѣ  $P$ . Такимъ же образомъ площадь, ограничиваемая второю кривою, осью абсциссъ и ординатою



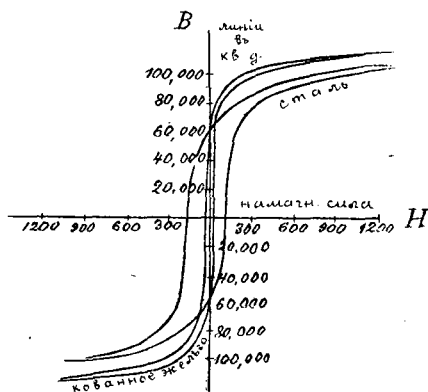
Магнитный цикл для отожженнаго ковannaго желѣза.

точки  $P$ , представляетъ работу, произведенную при размагничиваніи желѣза отъ состоянія, соответствующаго точкѣ  $P$  до состо-

янія, соответствующаго точкѣ R, гдѣ намагничивающая сила равна нулю. Разность между этими площадями т. е. площадь, заключающаяся между двумя кривыми и осью абсциссъ, представляетъ разность между работой, затраченной при намагничиваніи, и произведенной при размагничиваніи. Отъ затраты этой работы остался только остаточный магнетизмъ. Если намагничивающія силы измѣнять съ  $H_1$  до  $-H_1$  и обратно т. е. произвести полный циклъ намагничиванія, то величина  $B$  тоже будетъ измѣняться въ теченіи цикла и между двумя кривыми образуется замкнутая площадь (фиг. 46). Эта діаграмма относится къ мягкому ковальному желѣзу. Ее можно сравнить съ кривой фиг. 44, относящейся къ мягкой стали. Въ этой послѣдней діаграммѣ величины  $B$  и  $H$  даны въ единицахъ C. G. S. и величины  $B$  отложены по вертикальной оси.

Для сравненія на фиг. 47 даны рядомъ кривая для мягкаго

Фиг. 47.



Гистерезисъ въ стали и ковальному желѣзу.

кованнаго желѣза и для стали. Во всѣхъ этихъ діаграммахъ площадь внутри кривыхъ даетъ величину работы, потерянной при подверганіи желѣза или стали полнымъ цикламъ намагничиванія. Въ очень мягкомъ желѣзѣ, гдѣ восходящая и нисходящая кривыя очень близки другъ къ другу, площадь, заключающаяся между ними мала и дѣйствительно при намагничиваніи и размагничиваніи такого желѣза теряется весьма мало энергіи. Съ другой сто-

роны площадь между кривыми для твердыхъ сортовъ желѣза и особенно стали значительна и, при подверганіи ихъ циклу намагничиванія, теряется большое количество энергіи. На гистерезисъ можно смотрѣть, какъ на нѣкоторое молекулярное магнитное треніе, благодаря существованію котораго переменное намагничиваніе желѣза нагрѣваетъ его. Въ этомъ заключается важность этого явленія для электромагнитовъ, въ которыхъ употребляютъ токи переменнаго направленія съ частыми переменными, и его необходимо принимать во вниманіе при ихъ устройствѣ.

Слѣдующая таблица X даетъ число ваттовъ (ваттъ =  $1/746$  лошадиной силы) теряемыхъ благодаря гистерезису въ мягкомъ желѣзѣ, раздѣленномъ на пластинки, когда его подвергаютъ ряду быстрыхъ цикловъ намагничиванія.

Таблица X.

*Потеря энергіи въ ваттахъ отъ гистерезиса.*

В	$V_n$	Ватты теряем. на куб. футъ при 10 циклахъ въ сек.	Ватты теряем. на куб. футъ при 100 циклахъ въ сек.
4000	25800	40	400
5000	32250	57,5	575
6000	38700	75	750
7000	45150	92,5	925
8000	51600	111	1110
10000	64500	156	1560
12000	77400	206	2060
14000	90300	262	2620
16000	103200	324	3240
17000	109650	394	3940
18000	116100	487	4870

Изъ этой таблицы видно, что количество потерянной энергіи увеличивается при увеличеніи намагничиванія гораздо скорѣе,

чѣмъ оно само. Такъ при  $B = 1800$  оно въ шесть разъ больше, чѣмъ при  $B = 6000$ . При весьма быстрыхъ циклахъ намагничиванія, потеря отъ гистерезиса меньше, чѣмъ при медленныхъ.

Гопкинсонъ замѣтилъ, что площадь  $\int H dV$  равна приблизительно площади прямоугольника, высота котораго равна остаточности, а ширина удерживающей силѣ.

Юингъ даетъ слѣдующія величины для потери энергіи при одномъ циклѣ весьма сильнаго намагничиванія разныхъ сортовъ желѣза и стали:

Таблица XI.

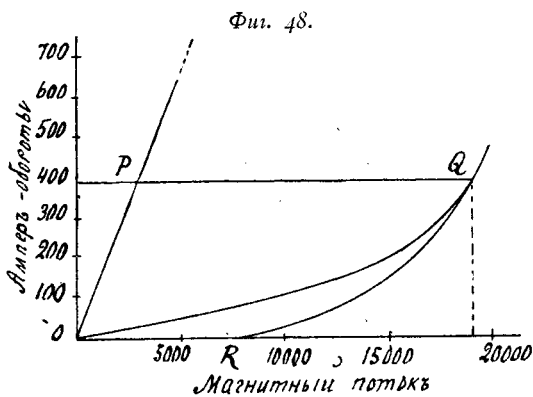
*Потеря энергіи отъ истерезиса.*

ИЗСЛѢДУЕМЫЯ СОРТА.	Число эрговъ на куб. сант. потерянныхъ при полномъ циклѣ намагничиванія.
Очень мягкое желѣзо . . . . .	9300
Менѣе мягкое . . . . .	16300
Твердая тянутая желѣзная проволока. . . . .	60000
Отожженная стальная проволока. . . . .	70500
Закаленная стальная проволока . . . . .	76000
Фортепианная стальная струна (въ обыкн. состояніи)	116000
»   »   » (отожженная) . . . . .	94000
»   »   » (закаленная). . . . .	117000

Многіе образцы, изслѣдованные Гопкинсономъ, дали еще большія цифры, такъ въ закаленной въ маслѣ вольфрамовой стали, которую, благодаря ея большой удерживающей силѣ, употребляютъ для устройства постоянныхъ магнитовъ, теряется при каждомъ циклѣ не меньше 216864 эрговъ на кубич. сантиметръ.

*Цикль дѣйствій электромагнита.* Переходя отъ изученія свойствъ матеріаловъ, къ изученію свойствъ электромагнитныхъ приборовъ, мы можемъ опять воспользоваться графическимъ методомъ, изображая отношенія между намагничивающими силами и на-

магничиваніемъ посредствомъ кривыхъ. Фиг. 48 относится къ подковообразному электромагниту. Прямая ОР получается, когда



Цикль дѣйствій электромагнита.

арматура электромагнита помѣщена на разстояніи около  $\frac{1}{25}$  дюйма отъ его полюсовъ и намагничивающая сила увеличивается. При этомъ положеніи арматуры, вслѣдствіе сопротивленія воздушнаго слоя, нѣкоторая данная намагничивающая сила (данное число амперъ-оборотовъ въ обмоткѣ) произведетъ меньшее намагничиваніе, чѣмъ, если бы магнитная цѣпь была замкнута.

Кривая QR получается, когда арматура наложена на полюсы и намагничивающая сила уменьшается. Положимъ теперь, что такой электромагнитъ заставляють притягивать его арматуру. Мы должны прослѣдить весь циклъ явленій, которыя при этомъ происходятъ, совершенно такъ, какъ всякій техникъ слѣдитъ за полнымъ цикломъ явленій, происходящихъ во время полного движенія взадъ и впередъ поршня пароваго цилиндра.

Намагничивающій токъ начинаетъ дѣйствовать, когда арматура удалена отъ полюсовъ электромагнита и намагничиваетъ сердечникъ до состоянія, соответствующаго точкѣ Р. Положимъ, что въ этотъ моментъ арматура начинаетъ притягиваться къ сердечнику. Намагничиваніе усиливается, т. к. толщина воздушнаго слоя уменьшается и, слѣдовательно, сопротивленіе магнитной цѣпи тоже. Во все время движенія арматуры производится нѣкоторая механическая работа и во все это время намагничивающая сила сохраняетъ одну и ту же величину. Эта часть цикла изображена

прямой PQ. Если теперь прекратить намагничивающій токъ, то намагничиваніе уменьшается по кривой QR. Часть энергіи останется въ видѣ магнетизма. Если арматурѣ позволить вернуться къ ея первоначальному положенію, и такимъ образомъ ввести въ магнитную цѣль слой воздуха, то остаточный магнетизмъ почти совершенно исчезнетъ (предполагается, что сердечникъ сдѣланъ изъ мягкаго желѣза) и энергія, которою онъ обладалъ, превратится въ тепло. Площадь OPQRO представляетъ все количество энергіи, затраченное при полномъ циклѣ. Часть ея потеряна благодаря гистерезису (OQRO), другая часть (OPQO) затрачена на произведеніе механической работы. Въ дѣйствительности дѣйствіе электромагнита не распадается на четыре такихъ отдѣльныхъ періода, т. к. арматура обыкновенно начинаетъ двигаться раньше, чѣмъ намагничиваніе достигнетъ точки P и она начинаетъ возвращаться въ первоначальное положеніе раньше, чѣмъ исчезнетъ весь остаточный магнетизмъ. Въ дѣйствительности діаграмма цикла не состоитъ изъ двухъ прямыхъ и двухъ магнитныхъ кривыхъ точно такъ же, какъ получающаяся въ дѣйствительности индикаторная діаграмма паровой машины не состоитъ изъ двухъ изотермъ и двухъ адиабатъ, какъ идеальный циклъ Карно.

На самомъ дѣлѣ движеніе арматуры само по себѣ индуцируетъ въ обмоткѣ электромагнита нѣкоторую электродвижущую силу, которая стремится уменьшить намагничивающій токъ и которая существуетъ все время, пока продолжается движеніе арматуры. Дѣйствіе электромагнитныхъ аппаратовъ зависитъ поэтому отъ величины этой противоположной электродвижущей силы и отъ того, насколько она уменьшаетъ главный, производящій работу, токъ. Но діаграмма наша не выражаетъ электрическихъ потерь, она касается только магнитныхъ количествъ. Мы бы могли теперь распространиться о томъ, какъ энергія электрическимъ путемъ передается магнитной системѣ; какъ арматура, увеличивая при приближеніи магнитную индукцію, (т. к. при этомъ уменьшается сопротивление магнитной цѣпи), производитъ обратную электродвижущую силу и т. д., но такимъ разсужденіямъ не мѣсто въ настоящей главѣ. Они относятся къ теоріи электрическихъ двигателей, для ознакомленія съ которой читатель долженъ обратиться къ спеціальнымъ сочиненіямъ, касающимся динамомашинъ или электрической передачи работы. Нужно замѣтить

еще, что наша діаграмма не даетъ величины работы въ какойнибудь моментъ дѣйствія. Въ теченіи той части цикла, которая соотвѣтствуетъ линіи PQ, когда арматура приближается къ полюсамъ, сила все время увеличивается. Съ другой стороны въ той части цикла, которая соотвѣтствуетъ линіи RO, работа затрачивается на движеніе арматуры, вмѣсто того, чтобы производиться ею. Вообще магнитная діаграмма совершенно подобна діаграммѣ цикла Карно. Эта послѣдняя не даетъ количество тепла, соотвѣтствующихъ разнымъ частямъ цикла. Теплота поглощается вдоль по одной изотермѣ и выдѣляется вдоль по другой, но длина и положеніе этихъ изотермъ не даютъ ничего относительно количества тепла, взятыхъ изъ машины, или ей отданныхъ. Такимъ образомъ діаграмма механической работы не даетъ никакихъ свѣдѣній относительно количества тепла; такимъ же образомъ діаграмма магнитной работы, не даетъ ничего относительно механическихъ количествъ.

Никакой электромагнитъ не можетъ совершить механическую работу безъ того, чтобы фигура его системы не измѣнилась и при этомъ не перемѣнилось намагничиваніе магнитной цѣпи. Измѣненіе фигуры стремится произойти въ томъ направленіи, чтобы магнитный потокъ сталъ наибольшимъ.

### Постепенное увеличеніе намагничиванія.

Еще одинъ видъ послѣдствій былъ открытъ Юингомъ и названъ имъ *вязкимъ гистерезисомъ* (*viscous hysteresis*). Этимъ именемъ называется постепенное увеличеніе намагничиванія желѣза въ то время, какъ намагничивающая сила остается строго постоянной. Это постепенное увеличеніе намагничиванія можетъ продолжаться полчаса и больше и достигать нѣсколькихъ процентовъ всей величины намагничиванія. Это настоящее, хотя и медленное, запаздываніе намагничиванія и его не нужно смѣшивать ни съ запаздываніемъ въ фазѣ, разсмотрѣннымъ подъ именемъ гистерезиса, ни съ кажущимся запаздываніемъ, происходящимъ вслѣдствіи самоиндукціи намагничивающаго тока, ни съ запаздываніемъ, наблюдаемымъ въ цѣльныхъ кускахъ желѣза и происходящимъ отъ паразитныхъ токовъ, циркулирующихъ въ массѣ желѣза.

### Размагничиваніе желѣза.

Чтобы совершенно избавить кусокъ желѣза отъ остаточнаго магнетизма, его надо подвергнуть дѣйствию ряда убывающихъ намагничивающихъ силъ. Причина этого та, что, для того, чтобы уничтожить магнетизмъ, оставшійся отъ дѣйствія одной намагничивающей силы, надо упогрѣбить другую, обратнаго направленія, но болѣе слабую. Одинъ изъ способовъ состоитъ въ томъ, что кусокъ желѣза, который надо размагнитить, помѣщаютъ въ трубообразную спираль и черезъ нее пропускаютъ токъ перемѣннаго направленія достаточной силы и при этомъ медленно вынимаютъ кусокъ изъ катушки.

Такимъ способомъ можно размагнитить часы, которыя намагнитились, находясь случайно вблизи электромагнита. Болѣе простой способъ, но не всегда дѣйствительный, состоитъ въ томъ, что часы подвѣшиваютъ на шнурокъ вблизи сильнаго электромагнита. Затѣмъ шнурокъ закручиваютъ и даютъ ему свободно раскручиваться. Во время вращенія часовъ, происходящаго отъ раскручиванія шнура, ихъ медленно удаляютъ отъ электромагнита.

### Размагничивающее дѣйствіе полюсовъ. Свойства короткихъ кусковъ желѣза.

Часто говорятъ, что полюсы магнита стремятся развить нѣкоторую саморазмагничивающую силу. Извѣстно, что желѣзные кольца и вообще замкнутыя магнитныя цѣпи обладаютъ большимъ остаточнымъ магнетизмомъ, чѣмъ прямыя или вообще не замкнутыя сами на себя формы кусковъ желѣза (объ этомъ уже говорилось раньше и будетъ сказано еще нѣсколько словъ дальше). Это обстоятельство можно разъяснить слѣдующими соображеніями. Во первыхъ способность удерживать магнетизмъ найдена только въ твердыхъ тѣлахъ; никогда не замѣчалось, чтобы какая нибудь жидкость или газъ, а точно также и такъ называемыя немагнитныя тѣла, обладали этимъ свойствомъ. Во вторыхъ, для того, чтобы произвести магнитный потокъ въ воздухѣ или въ желѣзѣ надо затратить нѣкоторое количество энергій; все время пока потокъ существуетъ, онъ представляетъ изъ себя запасъ



потенціальной энергіи совершенно подобно тому, какъ согнутая пружина \*). Въ третьихъ потенциальная энергія всегда стремится уменьшиться до минимума. Поэтому, когда магнитная система предоставлена самой себѣ и намагничивающая сила перестаетъ дѣйствовать, то магнетизмъ стремится уничтожиться, исключая случая, когда существуетъ такое взаимодействіе частей системы, которое стремится удерживать систему въ томъ магнитномъ состояніи, въ которомъ она была оставлена. Въ жидкостяхъ и газахъ такого взаимодействія нѣтъ, поэтому они размагничиваются мгновенно. Въ твердыхъ тѣлахъ, какъ напр. желѣзо, существуетъ такое взаимодействіе (см. Теорію магнетизма Юинга стр. 109). Результатомъ взаимодействія является тотъ фактъ, что въ случаяхъ, когда магнитный потокъ все время идетъ по желѣзу, какъ это имѣетъ мѣсто въ желѣзныхъ кольцахъ или подковообразныхъ магнитахъ съ приложенной къ полюсамъ арматурой, количество остаточнаго магнетизма бываетъ очень велико. Когда мы введемъ въ магнитную цѣпь слой воздуха, то магнитному потоку приходится проходить сквозь слой воздуха, который мало того, что меньше проницаемъ, чѣмъ желѣзо, но еще стремится самъ по себѣ размагнититься. Та самая остаточная сила, которая, дѣйствуя только въ желѣзѣ, была достаточна для поддержанія значительнаго потока въ желѣзной цѣпи, не въ состояніи поддержать такого потока въ цѣпи со слоемъ воздуха и магнитный потокъ въ этой части цѣпи уменьшается, совершенно такъ, какъ уменьшается магнитный потокъ въ полюсныхъ частяхъ постоянныхъ магнитовъ, когда арматура снята. (См. опытъ въ главѣ VII). Въ кольцѣ изъ мягкаго желѣза каждая часть служитъ для другихъ замыкающей арматурой и если арматурное дѣйствіе какой нибудь части уничтожится, то магнетизмъ въ другихъ частяхъ уменьшается. Поэтому воздушный слой въ магнитной цѣпи стремится ее размагнитить.

---

\*) Аналогія тутъ даже полнѣе, чѣмъ это кажется на первый взглядъ. Если пружина *совершенно упруга*, то *вся* энергія, затраченная на сгибаніе пружины, возвращается при ея разгибаніи. Но, если она не совершенно упруга, то разгибаясь она не приметъ своей первоначальной формы, а сохранитъ нѣкоторое остаточное натяженіе, и конечно не вся затраченная энергія будетъ возвращена. Часть ея теряется превращаясь въ тепло, часть производитъ остаточное натяженіе. Это явленіе совершенно аналогично потерѣ энергіи отъ гистерезиса при намагничиваніи куска желѣза.

Старинный взгляд на этотъ фактъ состоялъ въ томъ, что считалось, что магнетизмъ полюсныхъ поверхностей самъ стремился перейти съ нихъ по боковымъ путямъ въ нейтральную часть магнита.

Если теперь мы вернемся назадъ и обратимся къ фигурѣ 40, которая касается свойствъ короткихъ и длинныхъ цилиндрическихъ сердечниковъ, то мы теперь легче поймемъ, почему для короткихъ сердечниковъ поднимающаяся и опускающаяся кривыя ближе другъ къ другу, чѣмъ для длинныхъ. Мы также поймемъ, почему короткіе цилиндры и шарики не обладаютъ почти никакимъ остаточнымъ магнетизмомъ, такъ сказать не имѣютъ *магнитной памяти*.

Не входя въ теоретическій разборъ свойствъ эллипсоидовъ\*), замѣтимъ только, что такіе короткіе куски, когда на нихъ дѣйствуетъ внѣшняя намагничивающая сила и они помѣщены въ воздухѣ, составляютъ очень небольшую часть всей магнитной цѣпи и слѣдовательно очевидно, что практически они должны размагничиваться сами по себѣ.

Разсмотрѣнные свойства желѣза имѣютъ практическое значеніе для устройства электромагнитовъ. Именно нужно устраивать такъ, чтобы арматура не касалась полюсовъ въ тотъ моментъ, когда прерывается токъ. Чтобы уничтожить остаточный магнетизмъ предлагалось много способовъ. Геккетъ (Hesquet) помѣщаетъ тонкій листъ мѣди или бумаги между цилиндрическими сердечниками и соединительной полосой электромагнита. Этотъ слой немагнитнаго вещества конечно слегка увеличитъ сопротивление цѣпи и уменьшитъ немного намагничиваніе. Троттеръ нашель, что подобный способъ необходимо примѣнять для электромагнитовъ въ нѣкоторыхъ типахъ динамомашинокъ.

Болѣе обыкновенное средство состоитъ въ томъ, что между арматурой и полюсами помѣщаютъ куски какаго нибудь немагнитнаго вещества. Иногда вдѣлываютъ въ полюсы гвозди изъ латуни, которые слегка возвышаются надъ поверхностью полюсовъ. Въ другихъ случаяхъ приклеиваютъ къ полюсамъ или къ арматурѣ тонкіе куски бумаги или картона.

---

\*) См. статью Юинга въ The Electrician Vol. XXIV стр. 340, гдѣ сдѣланъ чрезвычайно ясный математическій разборъ свойствъ эллипсоидовъ.

## Теорія Юинга.

Проф. Юингъ недавно предложилъ теорію индуктированнаго намагничиванія, объясняющую тѣ факты, съ которыми мы встрѣчаемся въ магнитной цѣпи. Признавая вообще идею Пуассона и Вебера, по которой на магнитъ нужно смотрѣть, какъ на совокупность элементарныхъ магнитовъ, предварительно намагниченныхъ и, что намагничиваніе состоитъ только въ группировкѣ этихъ элементарныхъ магнитовъ по прямымъ линіямъ, Юингъ показалъ, что вовсе не необходимо, какъ это думалъ Максвелъ и другіе, признавать существованіе внутренняго тренія сопротивляющагося движенію элементарныхъ магнитовъ. Точно также вовсе не нужно, какъ это дѣлалъ Юзъ (Hughes) предполагать, что, когда тѣло находится въ немагнитномъ состояніи, то всѣ элементарные магниты располагаются по замкнутымъ кривымъ.

Юингъ показалъ, что всѣ явленія можно объяснить, если предположить, что элементарные магниты подвержены нѣкоторымъ взаимодействующимъ магнитнымъ силамъ. Онъ иллюстрировалъ это, построивъ модель, состоящую изъ большаго числа магнитныхъ стрѣлокъ, вращавшихся на остріяхъ, которыя были помѣщены на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга. При отсутствіи внѣшней намагничивающей силы, стрѣлки принимали такое положеніе, которое соотвѣтствовало взаимному уничтоженію всѣхъ внѣшнихъ дѣйствій, причемъ положеніе каждой отдѣльной стрѣлки могло быть различно и она не направлялась предпочтительнѣе въ одну сторону, чѣмъ въ другую. Небольшія намагничивающія силы производили на это собраніе магнитныхъ стрѣлокъ небольшое дѣйствіе, но строго пропорціональное своей величинѣ. Когда они уничтожались, то стрѣлки оставались въ томъ же положеніи, въ которомъ были и раньше. Это соотвѣтствуетъ тому факту, что при небольшихъ намагничивающихъ силахъ никогда не появляется остаточнаго магнетизма, каково бы ни было вещество, на которое онѣ дѣйствуютъ и какая бы форма ему ни была придана. Увеличивая намагничивающую силу, мы однако достигнемъ точки, когда дальнѣйшее увеличеніе произведетъ нарушеніе равновѣсія для нѣкоторыхъ группъ стрѣлокъ и одна или нѣсколько стрѣлокъ внезапно повернутся и примутъ новое положеніе. Эта неустой-

чивость равновѣсія и быстрая перемѣна положенія стрѣлокъ соотвѣтствуетъ непостоянству и быстрому измѣненію проникаемости, особенно въ мягкомъ желѣзѣ, которая проявляется сильнымъ возвышеніемъ кривой намагничиванія, когда намагничивающая сила достигнетъ нѣкоторой величины. Если, послѣ того, какъ нѣкоторыя стрѣлки приняли новое положеніе, уничтожить намагничивающую силу, то стрѣлки не возвращаются въ первоначальное положеніе, они сохраняютъ свое положеніе и могутъ вмѣстѣ дѣйствовать какъ магнитъ. Это соотвѣтствуетъ остаточному магнетизму, который всегда наблюдается, послѣ того, какъ на кусокъ магнитнаго вещества дѣйствовала достаточно большая намагничивающая сила. Совершенно подобно тому, какъ остаточный магнетизмъ можно уничтожить ударомъ или толчкомъ, такимъ же образомъ можно уничтожить и внѣшнее дѣйствіе системы магнитныхъ стрѣлокъ. Если еще увеличить намагничивающую силу, то всѣ стрѣлки повернутся и примутъ новое положеніе, при этомъ ихъ взаимное дѣйствіе будетъ настолько слабо, что не въ состояніи повернуть ихъ обратно. Теперь уже увеличивая намагничивающую силу, мы не будемъ въ состояніи увеличить направляющее ея дѣйствіе. Всѣ эти факты вполнѣ соотвѣтствуютъ явленіямъ, наблюдаемымъ въ магнитныхъ веществахъ. Потеря энергіи отъ гистеризиса въ модели представляется потерей энергіи на преодоленіе сопротивленія воздуха при поворотѣ стрѣлокъ и т. д. Желаящимъ ближе познакомиться со многими поразительными аналогіями между явленіями, наблюдаемыми въ этой модели и явленіями въ магнитныхъ веществахъ, какъ-то между явленіями, зависящими отъ температуры и др., рекомендуемъ обратиться къ оригинальнымъ статьямъ Юинга \*).

---

\*) Proc. Roy. Soc. June 1890, а также The Electrician Vol. XXV pp. 514, 541, 550.

## ГЛАВА IV.

### *Принципъ магнитной цѣпи. Законъ магнитнаго приставанія. Устройство электромагнитовъ для наибольшаго приставанія.*

Въ настоящей главѣ разсмотримъ законы магнитной цѣпи въ приложеніи къ электромагниту и остановимся въ особенности на результатахъ, получавшихся иногда изъ опытовъ различныхъ авторитетныхъ ученыхъ, показывающихъ зависимость между конструкціей различныхъ частей электромагнита и его дѣйствіемъ. Намъ придется имѣть дѣло не только съ размѣрами, сѣченіемъ, длиною и сортомъ желѣза, изъ котораго сдѣланъ сердечникъ и желѣзная арматура, но придется обратить вниманіе на то, какимъ образомъ форма сердечника и арматуры, вліяетъ на дѣйствіе электромагнита на арматуру, какъ при ихъ соприкосновеніи, такъ и на разстояніи. Но прежде, чѣмъ перейти къ этой послѣдней, и самой трудной части предмета, мы займемся исключительно изученіемъ силы, съ которою электромагнитъ дѣйствуетъ на арматуру, когда они находятся въ соприкосновеніи. Другими словами, займемся *закономъ приставанія*.

### Принципъ магнитной цѣпи.

Въ предисловіи къ этой книгѣ я сказалъ нѣсколько словъ объ историческомъ развитіи идеи о магнитной цѣпи и указалъ на то, какъ развилось это понятіе, вслѣдствіе наблюдений надъ явленіями.

Законъ магнитной цѣпи былъ формулированъ впервые лишь въ 1873 г. профессоромъ Роуландомъ изъ Балтиморы. Онъ показалъ, что если мы будемъ разсматривать простѣйшіе случаи и найдемъ (какъ это дѣлается въ электрической цѣпи) выраженія для намагничивающей силы, которая стремится провести магнетизмъ сквозь всю цѣпь и затѣмъ раздѣлимъ его на величину сопротивленія намагничиванію, вычисленному для всей цѣпи, то частное даетъ намъ величину *магнитнаго потока*. Это значитъ, что можно вычислить количество магнетизма, которое такимъ образомъ прохо-

дить по магнитной цѣпи, совершенно такимъ же образомъ, какъ вычисляютъ силу электрическаго тока по закону Ома. Роуландъ пошелъ значительно дальше этого, такъ какъ онъ примѣнилъ это вычисленіе къ опытамъ Джоуля, сдѣланнымъ 30 лѣтъ тому назадъ, и нашелъ степень намагничиванія, которой Джоуль подвергалъ желѣзо своихъ магнитовъ и силу тока, который онъ пропускалъ по ихъ обмоткѣ. Теперь надо формулировать этотъ законъ для того, чтобы имъ можно было бы пользоваться для дальнѣйшихъ вычисленій. Чтобы выразить его словами, безъ какихъ либо обозначеній, мы должны прежде всего сосчитать число оборотовъ проволоки въ обмоткѣ и знать число амперовъ тока, проходящаго по ней потому, что вся намагничивающая сила, т. е. то, что стремится провести магнетизмъ сквозь желѣзо, въ дѣйствительности пропорціональна силѣ тока и числу разъ, которые токъ проходитъ вокругъ желѣза (т. е. числу амперъ оборотовъ). Затѣмъ мы должны опредѣлить сопротивленіе, оказываемое магнитной цѣпью, прохожденію магнитныхъ линій. Здѣсь я прямо употребляю собственное выраженіе Джоуля, которое впоследствии было принято Роуландомъ и которое мы впередъ для краткости и для избѣжанія употребленія нѣсколькихъ словъ, будемъ просто называть *магнитнымъ сопротивленіемъ*. Хивезайдъ (Heaviside) предлагаетъ другой терминъ, именно *магнитная неподатливость* или *упорство* (reluctance), чтобы не смѣшивать сопротивленіе магнетизму въ магнитной цѣпи, съ сопротивленіемъ электрической цѣпи, но не стоитъ спорить изъ-за термина. Частное этихъ двухъ величинъ даетъ намъ число, которое я не долженъ называть силой магнитнаго тока, а просто назову количествомъ или числомъ магнитныхъ линій, протекающихъ по цѣпи, или, принимая терминъ, употребляемый на континентѣ, *магнитнымъ потокомъ*. Магнитный потокъ подобенъ электрическому. Итакъ законъ магнитной цѣпи можетъ быть представленъ въ слѣдующемъ видѣ:

$$\text{Магнитный потокъ} = \frac{\text{магнитодвижущая сила}}{\text{магнитное сопротивленіе.}}$$

Въ данномъ случаѣ, однако, гораздо удобнѣе имѣть дѣло съ символами, а потому я долженъ пояснить вамъ тѣ символы, которые я употребляю теперь и которыми пользовался съ давнихъ поръ. Для обозначенія числа оборотовъ въ обмоткѣ я употребляю букву  $S$ ; для силы тока, или числа амперовъ, букву  $i$ ; для длины полосы

или сердечника —  $l$ ; для площади поперечнаго сѣченія  $A$ ; для проницаемости желѣза — греческую букву  $\mu$ , а для величины магнитнаго потока, т. е. числа магнитныхъ линій, я употребляю букву  $N$ .

Такимъ образомъ разсматриваемый законъ выразится слѣдующими формулами:

$$\text{Магнитодвижущая сила} = \frac{4 \pi S i}{10}$$

$$\text{Магнитное сопротивление} = \Sigma \frac{l}{A \cdot \mu}$$

$$\text{Магнитный потокъ} = N = \left( \frac{4 \pi S i}{10} \right) \div \Sigma \frac{l}{A \cdot \mu}$$

Если мы помножимъ число оборотовъ проволоки въ обмоткѣ на число амперовъ, по ней проходящихъ, чтобы получить величину проходящаго тока, выраженную числомъ *амперъ-оборотовъ*, произведение помножимъ на  $4 \pi$  и раздѣлимъ на 10 (т. е. помножимъ на 1,257), то получимъ магнитодвижущую силу. Для магнитнаго сопротивленія надо вычислять сопротивление совершенно такъ, какъ бы вычисляли сопротивление электрическаго проводника электрическому току, или сопротивление проводника тепла — течению тепла. Оно будетъ прямо пропорціонально длинѣ и обратно пропорціонально поперечному сѣченію и проводимости, или, въ данномъ случаѣ, магнитной проницаемости. Если цѣпь простая то, чтобы найти величину сопротивленія, мы можемъ просто взять длину и раздѣлить ее на площадь поперечнаго сѣченія и проницаемость. Если же цѣпь не простая т. е. не состоитъ изъ желѣзнаго кольца одного сѣченія по всей окружности, то необходимо разсматривать цѣпь по частямъ (какъ это дѣлается въ электрической цѣпи) и, опредѣливъ въ отдѣльности сопротивление каждой части, сложить ихъ вмѣстѣ. Такъ какъ получится много такихъ *слагаемыхъ* членовъ, то я заранѣе обозначилъ сумму ихъ знакомъ  $\Sigma$ .

Не слѣдуетъ однако думать, что, если можно такъ легко написать формулу, то легко и примѣнить ее. Мы не можемъ изолировать магнитныя линіи такъ, какъ изолируемъ электрическій токъ. Послѣдній можно, предполагая, что напряженіе его не больше 10000 вольтъ, заставить проходить по мѣдному проводнику, употребивъ соотвѣтственный слой даннаго крѣпкаго изоли-

рующаго вещества (я употребляю слово «крѣпкій» какъ въ механическомъ, такъ и въ электрическомъ смыслѣ). Есть вещества, проводимость которыхъ въ сравненіи съ мѣдью можетъ оказаться въ миллионъ миллионъ разъ меньшею; это значить, что практически они прекрасные изоляторы. Для магнетизма такихъ веществъ не существуетъ. Наиболее изолирующее вещество для магнетизма, которое мы знаемъ, навѣрное меньше, чѣмъ въ 10000 разъ менѣе проницаемо, чѣмъ вещество наиболее проницаемое—именно желѣзо лучшаго качества. Когда имѣютъ дѣло съ электромагнитами, изогнутыя части которыхъ окружены мѣдью или воздухомъ, или какими либо другимъ изолирующимъ веществомъ, то имѣютъ дѣло съ веществами, проницаемость которыхъ не безконечно мала въ сравненіи съ проницаемостью желѣза, но все же довольно значительна. Намъ приходится большею частью имѣть дѣло съ хорошо намагниченнымъ желѣзомъ; проницаемость его отъ 1000 до 100 разъ болѣе, чѣмъ воздуха, т. е. проницаемость воздуха равна отъ  $\frac{1}{1000}$  до  $\frac{1}{100}$  проницаемости желѣза. Это значить, что значительная утечка магнитныхъ линий легко можетъ осложнить вычисленія и препятствовать точной оцѣнкѣ истиннаго магнитнаго сопротивленія въ какойнибудь части цѣпи. Предположимъ, впрочемъ, что мы устранили всѣ эти затрудненія и сдѣлали вычисленіе магнитнаго сопротивленія. Раздѣливъ теперь магнитодвижущую силу на сопротивление, получимъ полное число магнитныхъ линий. Этотъ законъ магнитной цѣпи въ его элементарной формѣ вполне подобенъ закону Ома для электрической цѣпи. Но обыкновенно въ этомъ законѣ нуждаются въ тѣхъ случаяхъ, когда вопросъ состоитъ не въ томъ, чтобы вычислить количество магнитныхъ линий по этимъ двумъ величинамъ, но большею частью въ этомъ законѣ встрѣчается надобность для обратныхъ вычисленій. Вы хотите знать, какъ построить такой магнитъ, который далъ-бы извѣстное число магнитныхъ линий. Вы начинаете съ предположенія, что вамъ нужно имѣть столько то магнитныхъ линий и вамъ необходимо знать, каково будетъ магнитное сопротивление и какая потребуется магнитодвижущая сила. Эта задача совершенно подобна той, съ которой приходится имѣть дѣло электрику. Для того, чтобы вычислить токъ по электровозбудительной силѣ и сопротивленію, ему не всегда приходится пользоваться закономъ Ома въ той формѣ, въ которой его обыкно-



венно пишутъ. Зачастую ему надо вычислить, какова должна быть электровозбудительная сила, которая дала бы требуемый токъ при извѣстномъ сопротивленіи. То же сдѣлаемъ и мы, и поэтому мы изложимъ нашъ законъ нѣсколько иначе. Мы желаемъ прежде всего найти число требуемыхъ амперъ-оборотовъ. Разъ мы это знаемъ, намъ уже легко будетъ сказать, какова должна быть мѣдная обмотка, какого рода должна быть проволока и сколько ея нужно. Обратившись къ нашему алгебраическому правилу, мы должны преобразовать его такъ, чтобы перенести все остальное, кромѣ амперъ-оборотовъ во вторую часть уравненія. Итакъ напишемъ формулу.

$$S i = \frac{N \times \Sigma \frac{l}{A \mu}}{1,257}$$

У насъ получится тогда число амперъ-оборотовъ, равное числу магнитныхъ линій, которое мы хотимъ заставить пройти черезъ цѣпь, умноженному на сумму магнитныхъ сопротивленій частей цѣпи и раздѣленному на 1,257. Число 1,257 есть величина постоянная, когда длина  $l$  выражена въ сантиметрахъ, площадь — въ квадратныхъ сантиметрахъ, а проницаемость — отвлеченнымъ числомъ. Многіе, къ сожалѣнію, предпочитаютъ вычислять на дюймы, фунты и футы. Они принуждены изучать цѣльныя таблицы, тогда какъ могли бы ихъ знать и безъ изученія. Если опредѣлить длину въ дюймахъ, а площадь въ квадратныхъ дюймахъ, то постоянная получится иная. Она будетъ въ этомъ случаѣ 0,3132 и формула такимъ образомъ будетъ:

$$S i = N \times \Sigma \frac{l_{\mu}}{A_{\mu} \mu} \times 0,3132.$$

На этомъ можно и закончить изложеніе закона магнитной цѣпи, съ тѣмъ, чтобы, по мѣрѣ надобности, отъ времени до времени возвращаться къ нему.

Прежде чѣмъ перейти къ какому нибудь изъ примѣненій, я хотѣлъ бы указать на то, что руководствуясь этимъ закономъ, можно привести въ систему и разъяснить одинъ за другимъ различные вопросы, подлежащіе разсмотрѣнію, а также и на то, что теперь не должно было бы остаться (если съ толкомъ примѣнять этотъ законъ) ни одного аномальнаго или парадоксальнаго явленія

въ электромагнитахъ. Если иногда нѣкоторыя явленія магнетизма и могутъ показаться сначала парадоксальными, то всѣ они становятся совершенно понятными, если можно сказать, какое получится намагничиваніе при данныхъ условіяхъ, или какую надо намагничивающую силу, чтобы получить данное количество магнетизма. Я употребляю здѣсь слово намагничиваніе въ широкомъ смыслѣ, а не въ математическомъ, въ которомъ оно иногда употребляется для обозначенія магнитнаго момента на кубическую единицу вещества. Я просто употребляю его для того, чтобы выразить то явленіе, что желѣзо или воздухъ, или какое бы то ни было другое вещество, подверглось процессу, возникшему благодаря индуктированнымъ въ немъ магнитнымъ линіямъ силъ.

### Законъ приставанія.

Теперь примѣнимъ законъ магнитной цѣпи прежде всего къ приставанію, т. е. къ подъемной силѣ электромагнита. О законѣ приставанія я говорилъ ранѣе, положивъ его въ основаніе системы измѣренія проницаемости. Законъ магнитнаго приставанія былъ разъ на всегда установленъ Максвеллемъ въ его большомъ трактатѣ и выраженъ слѣдующимъ образомъ:

$$P \text{ (динъ)} = \frac{V^2 \cdot A}{8\pi}$$

гдѣ  $A$  есть площадь въ квадратныхъ сантиметрахъ. Иначе

$$P \text{ (граммовъ)} = \frac{V^2 \cdot A}{8\pi \times 981}$$

Значитъ сила въ граммахъ на кв. сантиметръ равняется квадрату магнитной индукціи  $V$  (которая показываетъ число линій силъ на кв. сант.), раздѣленному на  $8\pi$  и на  $981$ . Чтобы измѣнить граммы въ фунты, нужно раздѣлить  $453,6$  и тогда получится формула:

$$P \text{ (фунтовъ)} = \frac{V^2 \cdot A}{11183000}$$

или, если за единицу длины принять дюймъ:

$$P \text{ (фунтовъ)} = \frac{V''^2 \cdot A''}{72134000}$$

Во избѣжаніе недоразумѣній въ будущемъ, мы теперь вычислимъ на основаніи закона приставанія слѣдующую таблицу,

Таблица XII.

*Наматничиваніе и магнитное приставаніе.*

В линій на кв. сантиметръ.	В <sub>n</sub> линій на кв. дюймъ.	Динъ на квадратн. сантиметръ.	Граммовъ на квадратн. сантиметръ.	Килограм. на квадратн. сантиметръ.	Фунтовъ на квадратн. дюймъ.
1000	6450	39790	40,56	0,0456	0,577
2000	12900	159200	162,3	0,1623	2,308
3000	19350	358100	365,1	0,3651	5,190
4000	25800	636600	648,9	0,6489	9,288
5000	32250	994700	1014,0	1,014	14,39
6000	38700	1432000	1460,0	1,460	20,75
7000	45150	1950000	1987,0	1,897	28,26
8000	51600	2547000	2596,0	2,596	36,95
9000	58050	3223000	3286,0	3,286	46,72
10000	64500	3979000	4056,0	4,056	57,68
11000	70950	4815000	4907,0	4,907	69,77
12000	77400	5730000	5841,0	5,841	83,07
13000	83850	6725000	6855,0	6,855	97,47
14000	90300	7800000	7550,0 ?	7,550 ?	113,1
15000	96750	8953000	9124,0	9,124	129,7
16000	103200	10170000	10390,0	10,39	147,7
17000	109650	11500000	11720,0	11,72	166,6
18000	116100	12890000	13140,0	13,14	186,8
19000	122550	14360000	14630,0	14,63	208,1
20000	129000	15920000	16230,0	16,23	230,8

въ которой величины силы приставанія въ граммахъ на кв. сантиметръ или въ фунтахъ на кв. дюймъ, помѣщены противъ соотвѣствующихъ величинъ  $B$ .

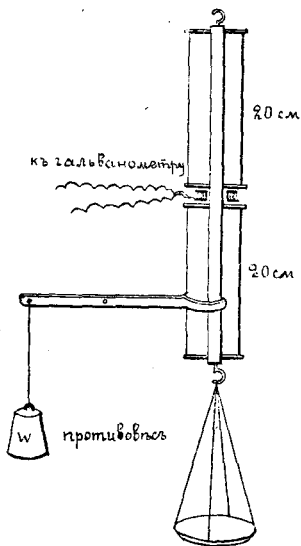
Это простое изложеніе закона приставанія предполагаетъ, что распредѣленіе магнитныхъ линий однообразно на рассматриваемой нами площади, но, къ несчастію, это не всегда случается. Когда распредѣленіе не равномерно, то арифметическая средняя изъ квадратовъ больше квадрата арифметической средней и, слѣдовательно, сила магнита на его конечной поверхности при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ можетъ получиться большая, чѣмъ вычисленная и большая, чѣмъ позволяетъ предположить средняя величина  $B$ . Если распредѣленіе линий не равномерно по поверхности соприкосновенія, то точное выраженіе силы приставанія въ динахъ будетъ:

$$P = \frac{1}{8\pi} \int B^2 \cdot dA.$$

причемъ интегрированіе производится по всей площади соприкосновенія.

Этотъ законъ приставанія былъ подтвержденъ опытами. Самыя убѣдительныя изслѣдованія были сдѣланы около 1886 года Бозанке изъ Оксфорда, приборъ котораго изображенъ на рисункѣ 49. Онъ взялъ два желѣзныхъ, хорошо отшлифованныхъ стержня, окружилъ ихъ намагничивающей обмоткой, укрѣпилъ верхній неподвижно, другой же повѣсилъ на рычагъ съ противовѣсомъ. Къ нижнему концу этого стержня онъ привѣсилъ чашку вѣсовъ и измѣрялъ приставаніе одного стержня къ другому, когда извѣстный токъ проходилъ по обмоткѣ. На мѣстѣ соединенія стержней онъ помѣстилъ маленькую катушку, которая была соединена съ баллистическимъ гальванометромъ, какъ это

Фиг. 49.



Про́вка Бозанке зако́новъ  
пристава́нiя.

было описано въ главѣ III, такъ, что въ то мгновеніе, когда двѣ поверхности разъединялись, или въ то мгновеніе, когда намагничиваніе прекращалось прерываніемъ тока, показаніе гальванометра давало возможность точно опредѣлить число магнитныхъ линій, пересѣкающихъ катушку.

Такимъ образомъ, зная площадь сѣченія можно найти число линій на кв. сантиметръ и, слѣдовательно, сравнить  $V^2$  съ давленіемъ на чашку вѣсовъ, раздѣленнымъ на число кв. сантиметровъ. Бозанке нашель, что даже тогда, когда поверхности были не абсолютно гладкія, совпаденіе было довольно близкое, разница была не болѣе  $1^0/0$  —  $2^0/0$ , исключая случаевъ, когда употреблялась малая намагничивающая сила, т. е. сила меньше 5 единицъ. Зная до какой степени неправильно происходятъ магнитныя явленія въ желѣзѣ при такихъ малыхъ намагничивающихъ силахъ, мы не будемъ удивляться недостатку пропорціональности. Совпаденіе было однако достаточно для того, чтобы можно было сказать, что опыты подтверждаютъ законъ приставанія, состоящей въ томъ, что сила пропорціональна квадрату магнитной индукціи черезъ площадь прикосновенія, интегрированной по всей этой площади.

### Устройство электромагнитовъ для приставанія.

Теперь, когда законъ приставанія такимъ образомъ установленъ, мы начинаемъ яснѣе понимать принципы устройства электромагнитовъ. Джоуль, не прибѣгая даже къ математикѣ, предвидѣлъ это, когда онъ, какъ бы инстинктивно, разсудилъ, что для того, чтобы изслѣдовать электромагнитъ по отношенію къ приставанію, лучше всего узнать, сколько кв. дюймовъ въ поверхности соприкосновенія электромагнита съ якоремъ. Онъ нашель, что можно намагнитить желѣзо до того, что оно поддерживаетъ 175 фунтовъ на кв. дюймъ и сомнѣвался, чтобы можно было достигъ силы приставанія въ 200 фунтовъ на кв. дюймъ. Въ слѣдующей таблицѣ XIII даны значенія  $V$  для магнитовъ Джоуля и нѣкоторыхъ другихъ (см. табл. I).

Теперь я возвращусь къ даннымъ таблицы XII и попрошу васъ сравнить послѣднюю графу съ первой. Въ ней помѣщены различныя величины  $V$ , т. е. величины намагничиванія, до кото-

## Таблица XIII.

Перечисленные результаты Джоуля.

НАЗВАНІЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВЪ	СЪЧЕНІЕ		ВЪСЬ		Фунтовъ на кв. дюймъ.	Килогр. на кв. сантим.	В	Отношеніе между вѣсомъ и поддерж. силой.	
	квдр. дюймъ.	квдр. сантим.	футы.	килогр.					
Электром. Джоуля.	№ 1	10	64,5	209,0	94,7	104,5	7,35	13600	139
	№ 2	0,196	1,26	49	22	125	8,75	14700	324
	№ 3	0,0436	0,28	12	5,4	137,5	9,75	15410	1286
	№ 4	0,0012	0,0077	0,202	0,09	81	5,7	11830	2384
Несбита. . . . .	4,5	29,1	142,8	64,7	158,5	11,2	16550	28	
Генри . . . . .	3,94	25,3	750	346	95	6,7	12820	36	
Сторжена . . . .	0,196	1,26	53	22,6	127,5	8,95	14850	114	

рыхъ можно довести желѣзо. Нѣтъ возможности вмѣстить болѣе 20000 магнитныхъ линій въ 1 кв. сантиметръ лучшаго желѣза и какъ показываютъ кривыя намагничиванія, нѣтъ необходимости для практическихъ цѣлей, достигать большаго числа магнитныхъ линій, чѣмъ 16000 на каждый кв. сантиметръ за исключеніемъ какихъ нибудь особенныхъ случаевъ. Простая причина этого та, что если усилить намагничивающую силу, на примѣръ отъ 0 до 50, то намагничивающая сила, равная 50, въ хорошемъ кованномъ желѣзѣ дастъ только 16000 линій на кв. сантиметръ, и проницаемость въ то же время упадетъ приблизительно до 320. При дальнѣйшемъ же увеличеніи намагничиванія, потеря будетъ еще больше. Для того, чтобы, на примѣръ, прибавить еще 1000 линій на кв. сантиметръ, т. е. увеличить число ихъ съ 16000 до 17000, пришлось бы примѣнить огромную намагничивающую силу, именно, пришлось бы ее удвоить. Очевидно лучше взять болѣе большой кусокъ желѣза и не намагничивать его слишкомъ сильно. Итакъ, не слѣдуетъ, чтобы число магнитныхъ линій на кв. сантиметръ очень превышало 16000, или, говоря о приставаніи и взявъ за единицу поверхности кв. дюймъ, а за единицу силы фунтъ, не слѣдуетъ

предназначать электромагнитъ для поддерживанія болѣе 150 фун. на кв. дюймъ.

Это будетъ нашимъ практическимъ правиломъ. Пояснимъ его на примѣрѣ.

Положимъ, требуется постронть электромагнитъ, который подерживалъ бы одну тонну. Раздѣлимъ тонну, или 2240 фун. на 150; получимъ необходимое число кв. дюймовъ, которое должно имѣть сѣченіе сердечника изъ кованнаго желѣза. Въ данномъ случаѣ оно будетъ 14,92 или, круглымъ числомъ, 15. Конечно надо употребить въ дѣло подковообразный магнитъ, или какой-либо въ этомъ родѣ, чтобы дѣйствовали оба полюса, тогда, т. к. поверхность обоихъ полюсовъ будетъ вдвое больше площади сѣченія сердечника, то эта послѣдняя должна имѣть  $7\frac{1}{2}$  кв. д. Если онъ сдѣланъ изъ круглаго желѣза, то оно должно имѣть  $3\frac{1}{2}$  д. въ диаметрѣ, если изъ квадратнаго, то сторона квадрата должна имѣть  $2\frac{3}{4}$  дюйма.

Такимъ образомъ мы опредѣлили толщину желѣза, но не длину его. Если принять во вниманіе законъ магнитной цѣпи, то длина желѣза должна быть по возможности мала. Чтобы рѣшить вопросъ о длинѣ надо подумать о цѣпи, для которой электромагнитъ предназначается. Въ данномъ случаѣ—для поддерживанія тяжелаго груза, а не для дѣйствія на якорь, отдѣленный толстымъ слоемъ воздуха. Мы имѣемъ дѣло съ приставаніемъ при соприкосновеніи. Вопросъ въ томъ, какой длины долженъ быть кусокъ желѣза, который мы хотимъ изогнуть въ видѣ подковы. Вотъ отвѣтъ: возьмите кусокъ желѣза не длиннѣе, чѣмъ нужно для того, чтобы было мѣсто для необходимаго числа оборотовъ обматывающей проволоки, по которой пойдетъ токъ, дающій требуемую намагничивающую силу. Но мы еще не знаемъ послѣдней, она должна быть вычислена при помощи закона магнитной цѣпи. Другими словами, мы должны какъ можно лучше вычислить величину магнитнаго потока и магнитное сопротивленіе, отсюда вычислить число амперъ-оборотовъ, затѣмъ необходимое количество мѣдной проволоки и такимъ образомъ дойдемъ до длины желѣзнаго стержня. Очевидно, что, если дано поперечное сѣченіе и значеніе  $B$ , то этимъ опредѣляется и число магнитныхъ линий  $N$ , которое пройдетъ черезъ сѣченіе. Само собой разумѣется, что длина увеличиваетъ магнитное сопротивленіе и потому, чѣмъ

больше длина, тѣмъ болѣе должно быть число амперъ-оборотовъ, и наоборотъ, чѣмъ меньше длина, тѣмъ меньше должно быть число амперъ-оборотовъ. Поэтому нужно устроить магнитъ на сколько возможно коренастѣе, т. е. сдѣлать его въ видѣ короткой дуги, какъ это и сдѣлалъ Джоуль, когда онъ встрѣтился съ этой задачей и какимъ то научнымъ инстинктомъ дошелъ до правильнаго рѣшенія.

Вамъ не надо болѣе длинны желѣза, чѣмъ требуется для помѣщенія на немъ обмотки. Итакъ, вы видите, что нельзя вычислить длину желѣза раньше, чѣмъ мы составимъ себѣ понятіе объ обмоткѣ и потому мы должны сдѣлать относительно нея нѣкоторое предположеніе. Возьмемъ простой идеальный случай. Пожмимъ, что мы имѣемъ прямую желѣзную полосу неопредѣленной длины, которую мы покрыли отъ одного до другаго конца намагничивающей обмоткой.

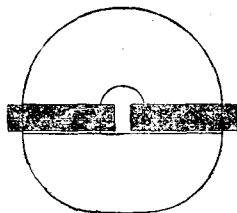
Какова должна быть толщина обмотки, сколько амперъ-оборотовъ на дюймъ длины потребуется для того, чтобы намагнитить стержень до какой либо извѣстной степени?

Это вопросъ рѣшается очень простымъ вычисленіемъ. Вы можете съ точностію вычислить, каково будетъ магнитное сопротивленіе каждаго дюйма длины стержня. Напримѣръ, если вы хотите намагнитить до 1600 линій на кв. сантиметръ, то проницаемость будетъ 320. Вы можете взять произвольное сѣченіе и разсматривать длину 1 дюйма. Такимъ образомъ вы можете вычислить магнитное сопротивленіе на дюймъ стержня и тогда же можете сказать сколько амперъ-оборотовъ на дюймъ было бы необходимо, чтобы получить желаемыя 1600 магнитныхъ линій на кв. сантиметръ. Зная законъ нагрѣванія мѣдной проволоки отъ дѣйствія тока и количество тепла, теряемое каждымъ квадратнымъ дюймою поверхности, не трудно вычислить минимумъ толщины мѣди, который можно употребить безъ опасности. Нельзя пользоваться слишкомъ тонкой проволокой, потому что, если вы возьмете мѣдную проволоку недостаточной толщины, вы все же должны будете пропустить по ней то же число амперовъ, которое нужно для полученія требуемаго числа амперъ-оборотовъ на дюймъ длины стержня, а если пропустить черезъ тонкую проволоку много амперовъ, то она накалится слишкомъ сильно и отсюда можетъ произойти нѣкоторая опасность.



Итакъ практическія соображенія заставляютъ взять для обмотки мѣдную проволоку извѣстной толщины. Я сдѣлалъ грубое вычисленіе для нѣкоторыхъ случаевъ и нашелъ, что для такихъ электромагнитовъ, какіе обыкновенно употребляютъ, нѣтъ ни одного случая въ практикѣ, гдѣ бы нужно было употребить обмотку изъ мѣдной проволоки толщиною болѣе полудюйма. Дѣйствительно, если вы употребите обмотку толщиною болѣе  $\frac{1}{2}$  дюйма, то не покроете ею всей длины желѣза. Въ самомъ дѣлѣ, для хорошаго кованнаго желѣза достаточно обмотки въ 1 д. длины и  $\frac{1}{2}$  д. толщины для того, чтобы довести 20 дюймовъ его до требуемой нами степени насыщенія, не нагревая обмотки слишкомъ сильно. Для нашего стержня неопредѣленной длины не нужно, чтобы обмотка была толще  $\frac{1}{40}$  дюйма. При этой обмоткѣ стержень не будетъ нагреваться очень сильно и будетъ доведенъ до требуемой степени насыщенія. Приблизительно 1 дюймъ обмотки въ  $\frac{1}{2}$  д. толщиною намагнититъ 20 дюймовъ длины стержня до той степени, при которой  $B = 16000$ . Затѣмъ, если мы имѣемъ полосу, согнутую въ подкову, сдѣланную для того, чтобы приставать къ плотно прилегающей къ ней арматурѣ, одинаковаго съ ней сѣченія, изъ желѣза того же качества, намъ не надо больше чѣмъ 1 дюймъ длины обмотки по внутренней длинѣ дуги, для каждой 20 д. желѣза. Очень коренастый магнитъ, изображенный на рисункѣ 50 будетъ потому хорошъ, если только возможно имѣть достаточно однородное повсюду желѣзо. Вмѣсто того, чтобы обматывать проволоку около полюсовъ, мы могли бы намотать ее на согнутую часть, тогда слой обмотки былъ бы въ  $\frac{1}{2}$  д. внутри дуги и гораздо меньше снаружи. Такой магнитъ, при плотно прилегающей арматурѣ, возбужденный баттареей, дающей въ обмоткѣ нужное число амперовъ тока, можетъ поддерживать одну тонну, если сердечникъ имѣетъ  $3\frac{1}{2}$  д. въ діаметрѣ. Что касается до меня, то въ данномъ случаѣ я предпочелъ бы не круглое желѣзо, т. к. квадратное или прямоугольное удобнѣе, впрочемъ круглое желѣзо потребовало бы меньшее количество мѣди для обмотки т. к. длина каждаго оборота была бы въ этомъ случаѣ наименьшей.

Фиг. 50.



Коренастый электромагнитъ.

Этого рода вычисленія требуютъ значительнаго измѣненія, какъ только приходится имѣть дѣло съ какимъ нибудь другимъ случаемъ. Очевидно, что для наибольшаго приставанія лучше всего взять короткую магнитную пѣсь съ большимъ поперечнымъ сѣченіемъ. При возможно большей площади сѣченія и возможно меньшей длинѣ, можно получить данное намагничиваніе и приставаніе при наименьшей намагничивающей силѣ. Вы замѣтите, что до сихъ поръ я еще не далъ вамъ доказательства для практическаго правила, которымъ я пользовался. Оно будетъ дано со временемъ. Также я не сказалъ ничего о томъ, какова должна быть толщина проволоки, малая или большая. Но это не важно т. к. амперъ обороты намагничивающей силы могутъ быть получены по желанію такъ или иначе. Положимъ, что намъ надо имѣть на какомъ либо магнитѣ 100 амперъ-оборотовъ намагничивающей силы, и мы возьмемъ тоненькую проволоку, по которой можно пропускать всего  $1/2$  ампера. Тогда намъ придется сдѣлать 200 оборотовъ этой тонкой проволоки. Или, положимъ, мы бы захотѣли употребить толстую проволоку, по которой могли бы проходить 10 амперовъ, тогда довольно будетъ десяти оборотовъ такой проволоки. Одно и тоже количество мѣди, нагрѣваемое соответственнымъ токомъ до одной и той же температуры, будетъ имѣть одинаковую намагничивающую силу, если его намотать на одинъ и тотъ же стержень. Правила наматыванія мѣдной проволоки будутъ изложены позднѣе.

### ВѢСЪ МАГНИТОВЪ И ИХЪ ПОДЪЕМНАЯ СИЛА.

Если вы обратитесь за справками о такъ называемой подъемной или поддерживающей силѣ магнита, другими словами, о силѣ приставанія, къ руководствамъ по магнетизму, то вы увидите, что со времени Бернулли, законъ подъемной силы привлекалъ вниманіе экспериментаровъ, которые одинъ за другимъ пытались дать его выраженіе въ зависимости отъ вѣса магнита. Бернулли, работая съ постоянными магнитами, далъ законъ извѣстный подъ именемъ закона Геккера (Häcker) и который выражается слѣдующимъ образомъ:

$$P = \alpha \sqrt[3/2]{W} \quad \text{или} \quad P = \alpha \left( \sqrt[3]{W} \right)^2$$

гдѣ  $W$  — вѣсъ магнита,  $P$  — наибольшій грузъ, который магнитъ можетъ поддержать,  $\alpha$  — постоянное число, зависящее отъ избранныхъ единицъ вѣса, качества стали и ея пригодности къ намагничиванію. Если вѣсъ выраженъ въ фунтахъ, то найдено, что  $\alpha$  для лучшей стали можетъ мѣняться отъ 18 до 24 — въ подковообразныхъ магнитахъ. Это выраженіе равносильно тому, что сила, которую можетъ проявить магнитъ, равна нѣкоторому постоянному числу, помноженному на корень степени  $3/2$  изъ вѣса самаго магнита (Бернулли работалъ со стальными магнитами, т. к. въ его время электромагниты не были еще изобрѣтены). Это правило пригодно только въ томъ случаѣ, когда имѣли дѣло съ магнитами одинаковой геометрической формы (напр. вѣ въ видѣ подковы), сдѣланными изъ одного и того же сорта стали и одинаково намагниченными. Прежде я очень много размышлялъ о законѣ Геккера, не понимая, что можетъ быть общаго между корнемъ степени  $3/2$  изъ вѣса магнита и его силой. Поломавъ себѣ голову довольно долго, я наконецъ увидѣлъ, что дѣло очень просто. Вотъ къ чему я пришелъ: когда вы имѣете дѣло въ какомъ либо веществомъ, напр. твердой сталью, то вѣсъ его пропорціоналенъ объему, кубическій корень изъ объема до нѣкоторой степени пропорціоналенъ длинѣ, а квадратъ кубическаго корня до нѣкоторой степени пропорціоналенъ квадрату длины, т. е. чему то подобному поверхности. Какой поверхности? Конечно поверхности полюсовъ. Это сложное правило превращается просто въ математическое изложеніе того факта, что магнитная сила даннаго вещества, намагниченнаго даннымъ образомъ, пропорціональна поверхности его полюсовъ. До этого закона Джоуль дошелъ естественнымъ путемъ. Во многихъ книгахъ вы прочтете, что хорошій магнитъ можетъ поддержать грузъ въ 20 разъ тяжелѣе своего вѣса. Не можетъ быть правила болѣе ложнаго чѣмъ это. Правда то, что хорошій стальной магнитъ, вѣсящій одинъ фунтъ, можетъ притягивать съ силою въ 20 фунтовъ соотвѣтственную, арматуру, но изъ этого не слѣдуетъ, чтобы магнитъ, вѣсящій 2 фун. въ состояніи былъ поддержать 40 фун. Это потому, что магнитъ вѣсящій ~~на~~ фунта, не имѣетъ полюсовъ съ поверхностью вдвое большей, чѣмъ первый при одинаковой формѣ. Надо помнить, что при этомъ поверхность полюсовъ пропорціональна лишь корню степени  $3/2$  изъ вѣса. Если вы возьмете магнитъ, который вѣситъ въ

8 разъ больше перваго, то его линейные размѣры будутъ въ два раза больше, а поверхность въ 4 раза, а съ магнитомъ, обладающимъ поверхностью вчетверо большей чѣмъ первый, при той же формѣ и одинаковомъ намагничиваніи, вы получите вчетверо большую силу. Итакъ въ магнитѣ въ 8 разъ большемъ, чѣмъ первый, вы получите силу вчетверо большую. Сила, при прочихъ равныхъ условіяхъ, зависитъ отъ поверхности, а не отъ вѣса и поэтому смѣшно давать правила, связывающія вѣсъ магнита съ его силой. Говорятъ какъ о чемъ то особенномъ о магнитѣ Ньютона, который онъ носилъ въ своемъ кольцѣ, и который могъ поднять грузъ въ 234 раза больше собственнаго вѣса. Пр. Форбесъ въ своихъ «Лекціяхъ объ электричествѣ» описываетъ маленькій электромагнитъ съ желѣзной внѣшней обкладкой, который вѣсилъ около 3 унцій и поддерживалъ грузъ въ 600 разъ большій. У меня былъ электромагнитъ, который могъ поддержать грузъ въ 2500 разъ больше собственнаго вѣса. Правда это былъ очень маленькій электромагнитъ, вѣсившій не болѣе  $1\frac{1}{2}$  грана. Въ маленькихъ предметахъ поверхность конечно велика сравнительно съ вѣсомъ. Чѣмъ меньше предметъ, тѣмъ больше эта непропорціональность. Все это показываетъ, что старый законъ приставанія въ такой формѣ былъ практически непригоденъ, между тѣмъ какъ законъ приставанія въ томъ видѣ, какъ онъ былъ данъ Максвеллемъ и разъясненъ далѣе закономъ магнитной цѣпи, представляетъ очень полезное правило.

### Вычисленіе необходимой возбуждающей силы.

Послѣ этого отступленія вернемся снова къ закону магнитной цѣпи. Говоря о проникаемости въ мсей первой лекціи, я далъ слѣдующее правило для вычисленія магнитной индукціи В: «Возьмите силу въ фунтахъ и площадь поперечнаго сѣченія въ квадр. дюймахъ, разделите первое на второе и возьмите квадратный корень изъ частнаго. Этотъ корень, помноженный на 1317 равняется В, или помноженный на 8494 равняется В<sub>н</sub>» \*).

\* На стр. 116 была дана формула  $P(\text{фун.}) = \frac{B^2 A}{11183000}$  или, выражая площадь въ кв. дюймахъ  $P(\text{фун.}) = \frac{B^2 A \cdot 6,45}{11183000}$  Отсюда  $B = \sqrt{\frac{P}{A}} \times \sqrt{\frac{11183000}{6,45}}$

Итакъ у насъ есть способъ вычислить по силѣ на кв. дюймъ величину  $B_n$  или изъ  $B_n$  — силу на кв. дюймъ.

Другое правило магнитной цѣпи также даетъ намъ возможность по числу амперъ-оборотовъ вычислить  $B_n$ . На стр. 115 у насъ есть такая формула для числа амперъ-оборотовъ:

$$Si = N \times \Sigma \frac{l_n}{A_n \mu} \times 0,3132$$

но  $N$ , число магнитныхъ линий въ цѣпи, равно  $B_n$  помноженному на  $A_n$  т. е.

$$N = B_n \times A_n$$

Отсюда мы можемъ вывести для  $B_n$  весьма простое выраженіе, если будемъ считать, что мы имѣемъ желѣзо того же качества, что и прежде, что нѣтъ магнитной утечки и что площадь поперечнаго сѣченія одинакова во всей цѣпи, какъ въ арматурѣ, такъ и въ сердечникѣ электромагнита. Въ этомъ случаѣ  $l_n$  есть просто длина средняго полного пути магнитныхъ линий въ замкнутой цѣпи. Мы можемъ слѣдовательно написать:

$$Si = \frac{B_n l_n}{\mu} \times 0,3132$$

Откуда

$$B_n = \frac{\mu \times Si}{l_n \times 0,3132}$$

Но по закону приставанія, какъ онъ изложенъ выше:

$$B_n = 8494 \times \sqrt{\frac{P \text{ (фун.)}}{A_n \text{ (кв. д.)}}}$$

Уравнивая эти двѣ величины  $B_n$  и рѣшивъ уравненіе, мы получимъ нужное число амперъ-оборотовъ возбуждающаго тока:

$$Si = 2661 \times \frac{l_n}{\mu} \times \sqrt{\frac{P \text{ (фун.)}}{A_n \text{ (кв. д.)}}}$$

Выраженная словами, эта формула даетъ слѣдующее правило для вычисленія величины возбуждающей силы, требуемой для электромагнита, притягивающаго свою арматуру, въ томъ случаѣ, когда цѣпь замкнута и нѣтъ утечки магнитныхъ линий.

или  $B = 1317 \sqrt{\frac{P}{A}}$  Точно такъ же формула  $P \text{ (фун.)} = \frac{B_n^2 A_n}{72134000}$  даетъ

$$B_n = \sqrt{\frac{P}{A}} \sqrt{72134000} \text{ или } B_n = 8494 \sqrt{\frac{P}{A}}$$

Возьмите квадратный корень из числа фунтовъ на кв. дюймъ, помножьте его на среднюю длину (въ дюймахъ) желѣзной цѣпи, разделите на проницаемость (которая должна быть вычислена по таблицамъ XII и II), и, наконецъ, помножьте на 2,661. Полученное такимъ образомъ число и будетъ числомъ амперъ-оборотовъ. Такимъ образомъ мы можемъ перейти отъ силы на кв. дюймъ къ числу амперъ-оборотовъ, требуемыхъ для произведенія этой силы въ магнитѣ данной длины и опредѣленнаго качества. Въ случаѣ, если сила выражена въ килограммахъ, а длина въ сантиметрахъ, то предыдущая формула принимаетъ слѣдующій видъ:

$$Si = 3951 \frac{l}{\mu} \cdot \sqrt{\frac{P}{A}}$$

Для примѣра возьмемъ восьмидюймовый стержень изъ круга ожеженного кованнаго желѣза въ  $1/2$  д. въ діаметрѣ, согнутый въ подкову. Для арматуры возьмемъ согнутый кусокъ въ 4 д. длиною. Намагнитимъ желѣзо до такой степени, чтобы оно дѣйствовало съ силой 112 фун. на кв. дюймъ. Въ таблицѣ VI мы найдемъ, что  $B_u$  будетъ около 90000, а таблица II покажетъ, что въ этомъ случаѣ  $\mu$  будетъ около 907. Изъ этихъ данныхъ надо вычислить какой грузъ поддержитъ магнитъ и сколько потребуется амперъ-оборотовъ тока.

Отвѣтъ: Грузъ (на двухъ полюсахъ) = 43,97 фунтовъ.

Амперъ-оборотовъ потребуется = 372,5.

*Замѣчаніе.* Въ этихъ вычисленіяхъ предполагается, что соприкосновеніе арматуры съ электромагнитомъ безукоризненно. Но на самомъ дѣлѣ этого никогда не бываетъ; мѣсто соединенія арматуры съ сердечникомъ представляетъ добавочное сопротивленіе магнитнымъ линиямъ и тутъ произойдетъ нѣкоторая утечка. Позже будетъ показано, какъ надо оцѣнивать подобныя явленія и какъ поступать съ ними въ вычисленіяхъ.

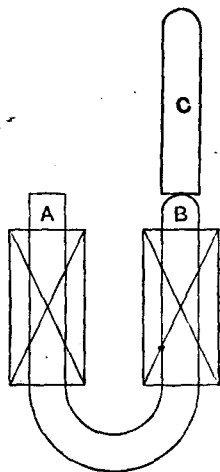
### Вліяніе уменьшенія поверхности полюсовъ.

Позвольте мнѣ теперь перейти къ вопросу, который считался раньше однимъ изъ парадоксовъ. Вопреки Джоулю и законамъ приставанія, по которымъ сила пропорціональна поверхности полюсовъ, существуетъ слѣдующая аномалія, замѣченная впервые

Моллемъ: Если взять полосовой магнитъ съ плоскими полюсными поверхностями и измѣрить силу, съ которою онъ дѣйствуетъ на якорь, тоже съ плоской поверхностью, и затѣмъ нарочно испортить контактъ, закругливъ поверхность полюса такъ, чтобы она сдѣлалась слегка выпукла, то мы найдемъ, что выпуклый конецъ, который касается только частью поверхности вмѣсто всей, дѣйствуетъ съ бѣльшей силой, чѣмъ плоскій. Многочисленными опытами, особенно опытами Никлеса (Nicklès) доказано, что, если желаютъ увеличить силу, съ которою магнитъ дѣйствуетъ на арматуру, то нужно уменьшить его полюсную поверхность. Старинные стальные магниты часто дѣлались нарочно съ закругленными концами. Возьмемъ прямой желѣзный стержень, или, что тоже годится, одну вѣтвь подковы и въ качествѣ арматуры кусокъ желѣза того же діаметра и затѣмъ, подвѣсивъ ее къ электромагниту, измѣримъ силу при данномъ числѣ амперъ-оборотовъ. Теперь снимемъ арматуру и опилимъ ее слегка, или возьмемъ кусокъ желѣза меньшаго діаметра такъ, чтобы теперь магнитъ дѣйствовалъ на меньшую поверхность. Смѣривъ силу снова, увидимъ, что она стала больше. Каково же объясненіе этого страннаго явленія? Оно существуетъ, и его можно показать. Фиг. 51 представляетъ

маленькій электромагнитъ, который мы можемъ помѣстить полюсами вверхъ. Этотъ электромагнитъ былъ сдѣланъ очень тщательно, полюсы хорошо отшлифованы и, попробовавъ его, мы нашли, что полюсы почти равной силы, А едва сильнѣе. Мы округлили затѣмъ полюсъ В. Я беру кусокъ желѣза С, который тоже закругленъ съ одного конца, другой же конецъ его плоскій. Пропускаю токъ черезъ электромагнитъ и беру пружинные вѣсы. Такимъ образомъ я могу измѣрять силу каждаго изъ полюсовъ. Когда я прикладываю плоскій конецъ А къ плоскому концу С, то сила равна приблизительно  $2\frac{1}{2}$  фунтамъ. Теперь я попробую приложить круглый конецъ С къ плоскому А, сила около 3 фунтовъ. Тоже самое, если приложить плоскій конецъ С

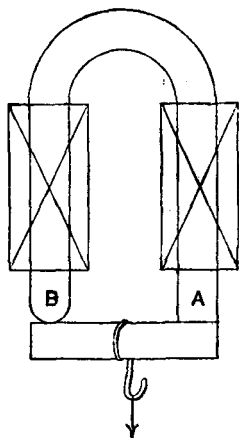
Фиг. 51.



Опытъ съ закругленными полюсами.

къ закругленному В, то сила будетъ 3 ф. Если же сложить оба закругленные конца, то сила будетъ, какъ въ первомъ случаѣ, только  $2\frac{1}{2}$  фунта. Я продѣлалъ много

Фиг. 52.



опытовъ въ этомъ родѣ. Разберемъ слѣдующій случай: подвѣшенъ подковообразный магнитъ, одинъ изъ полюсовъ котораго слегка округленъ, другой же совершенно плоскій. Къ нему приложенъ якорь изъ квадратной полосы съ крюкомъ, на который можно вѣшать грузъ (фиг. 52). Который конецъ якоря оторвется, по вашему мнѣнью, раньше?

Опытъ съ отрываніемъ  
арматуры.

Если вы просто будете обращать вниманіе только на величину поверхности, то скажете, что плоскій конецъ будетъ удерживать сильнѣе, т. к. у него большая удерживающая поверхность. Но на самомъ дѣлѣ сильнѣе будетъ удерживать другой полюсъ. Почему? Здѣсь мы имѣемъ дѣло съ магнитною цѣпью, обладающею извѣстнымъ магнитнымъ сопротивленіемъ. Число магнитныхъ линий

силъ въ цѣпи зависитъ отъ двухъ обстоятельствъ: намагничивающей силы и сопротивленія цѣпи. Исключая незначительную утечку тоже число магнитныхъ линий пройдетъ какъ сквозь А, такъ и сквозь В. Но на полюсѣ В въ серединѣ контактъ лучше, чѣмъ по краямъ, и поэтому линии на этомъ меньшемъ пространствѣ будутъ тѣснѣе и слѣд. на немъ величина  $B_{\text{н}}$ , число линий на кв. дюймъ, значительно увеличится. Сравнивая квадраты меньшаго  $B_{\text{н}}$  и большаго  $B_{\text{н}}$ , квадратъ меньшаго  $B_{\text{н}}$  на большей поверхности оказывается меньше, чѣмъ квадратъ большаго  $B_{\text{н}}$  на меньшей поверхности. Но не нужно думать, что закругливъ оба полюса, мы получимъ какую нибудь выгоду. Закругливъ одинъ полюсъ, мы нарушаемъ симметричность магнитной цѣпи и результатомъ этого нарушенія будетъ, что одинъ полюсъ будетъ дѣйствовать слабѣе.

Для примѣра возьмемъ слѣдующій случай: возьмемъ магнитъ, слѣданный изъ круглаго желѣза въ 1,15 д. въ диаметръ. Плоскій полюсъ будетъ имѣть поверхность 1,05 кв. дюймовъ. Положимъ, что намагничивающая сила такова, что  $B_{\text{н}} = 90300$ . Тогда



на основаніи таблицы XII, вся сила будетъ 118,75 фунтовъ, и число линий, проходящихъ черезъ поверхность контакта  $N=94815$ . Теперь положимъ, что поверхность полюса закруглена, и площадь контакта уменьшена до 0,9 кв. дюйма. Если всѣ линии пройдутъ черезъ эту поверхность, то число ихъ будетъ 105630 на кв. дюймъ. Предположимъ, что увеличившееся сопротивление и утечка уменьшили это число на 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, останется 103500 линий на кв. дюймъ. По таблицѣ XII найдемъ, что онѣ даютъ силу въ 147,7 фунта на кв. дюймъ, т. е. 132,9 фун. для поверхности данного закругленного полюса — число большее, чѣмъ мы получили въ первомъ случаѣ, когда поверхность полюса была плоская.

Позвольте мнѣ указать вамъ другой опытъ. Вотъ тотъ электромагнитъ, которымъ мы уже пользовались, и котораго одинъ конецъ плоскій, а другой закругленный (фиг. 52). Вотъ и арматура тоже согнутая и тоже съ однимъ плоскимъ и однимъ закругленнымъ концомъ. Если я наложу плоскій конецъ на плоскій, закругленный — на закругленный и буду тянуть за середину, то плоскіе концы разъединятся первые; если же я сложу плоскій конецъ съ круглымъ, а круглый съ плоскимъ, то они станутъ одинаково хорошими и трудно сказать, который сильнѣе. Въ общемъ арматура съ закругленнымъ концомъ пристаеетъ къ плоскому полюсу нѣсколько слабѣе, чѣмъ съ плоскимъ концомъ къ круглому полюсу.

### Разница между заостренными и плоскими полюсами.

Мы теперь въ состояніи понять значеніе многихъ важныхъ и интересныхъ изысканій, сдѣланныхъ около 40 лѣтъ тому назадъ докторомъ Юліемъ Дубомъ (Dr. Julius Dub), помѣщенныхъ въ анналахъ Погендорфа. Часть ихъ воспроизведена въ старинной книгѣ Дуба «Electromagnetismus».

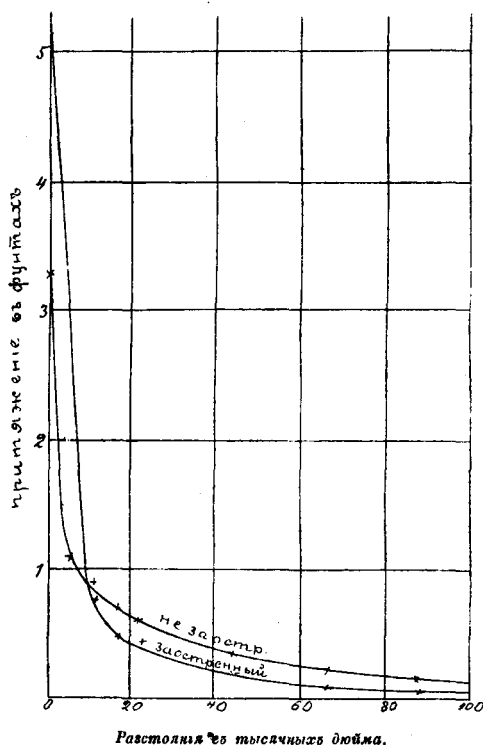
Первый опытъ Дуба, о которомъ я напомню, относился къ различію, съ какимъ дѣйствовали электромагнитъ съ плоскими концами и съ концами заостренными. Онъ сдѣлалъ два желѣз-  
~~ныхъ~~ сердечника, каждый въ 6 д. длиной, изъ одной и той же полосы мягкаго желѣза въ одинъ дюймъ въ діаметрѣ. Каждый изъ нихъ могъ скользять въ соответствующей намагничивающей катушкѣ. Одному стержню оставили концы плоскими, а у другаго

ихъ заострили или, върнѣе, имъ придали форму усѣченного конуса, такъ что плоскій конецъ его имѣлъ только  $\frac{1}{2}$  д. въ диаметрѣ, такимъ образомъ поверхность прикосновенья къ арматурѣ у него была въ четыре раза меньше, чѣмъ у перваго. Арматурой служилъ кусокъ той же полосы въ 12 дюймовъ длиной.

Сила, съ которой дѣйствовали электромагниты на арматуру при различныхъ разстояніяхъ между ними, была тщательно измѣрена. Въ слѣдующей таблицѣ приведены результаты, полученные изъ этихъ опытовъ.

Эти же результаты изображены кривыми на чертежѣ 53. Изъ него видно, что при прикосновеніи и на очень маленькомъ разстояніи, уменьшенные полюсы даютъ большую силу, но начиная приблизительно отъ 10 тысячныхъ дюйма и больше, большіе полюсы имѣютъ преимущество. На малыхъ разстояніяхъ, согласно

Фиг. 53.



Различное дѣйствіе заостренныхъ и незаостренныхъ полюсовъ.

Разстояніе въ дюймахъ.	Сила магнита съ плоскими конц.	Сила магнита съ заостр. конц.
0	3,3 <i>Фунты.</i>	5,2 <i>Фунты.</i>
0,0055	1,1	1,8
0,0110	0,9	0,75
0,0165	0,71	0,50
0,022	0,60	0,42
0,044	0,38	0,20
0,088	0,19	0,09

съ закономъ приставанія, концентрированіе магнитныхъ линій даетъ преимущество уменьшеннымъ полюсамъ. Но на большихъ разстояніяхъ это преимущество болѣе чѣмъ уравнивается тѣмъ, что при большемъ слое воздуха, употребленіе полюсовъ съ большой поверхностью уменьшаетъ сопротивленіе слоя и приводитъ въ арматуру болѣе большой потокъ магнитныхъ линій.

### Изслѣдованіе поверхностнаго распредѣленія магнетизма.

Законъ приставанія можетъ тоже примѣняться для изученія распредѣленія, такъ называемаго, свободнаго магнетизма на поверхности. Это предметъ, о которомъ мнѣ придется говорить много. Но раньше мы должны хорошенько опредѣлить, что означаетъ эта фраза. Фигура 13 изображаетъ обыкновенный полосовой магнитъ. Каждый знаетъ, что если мы погрузимъ этотъ магнитъ въ желѣзныя опилки, то часть опилокъ пристанетъ главнымъ образомъ, но не исключительно, къ концамъ магнита. Если же держать его подъ кускомъ бумаги или картона и сыпать на него опилки, то получатся кривыя, подобныя изображеннымъ на нашей діаграммѣ. Опилки показываютъ распредѣленіе магнитныхъ силъ въ окружающемъ пространствѣ. Магнетизмъ, проходящій по желѣзному тѣлу, начинаетъ вытекать съ боковъ, и конецъ остатокъ вытекаетъ на концѣ въ видѣ большаго пучка. Магнитныя линіи идутъ кругомъ и входятъ въ другой конецъ магнита. По серединѣ, гдѣ сталь внутри наиболѣе намагничена, снаружи совершенно нѣтъ приставшихъ опилокъ. Теперь мы раз-

смотримъ внутренній, а не наружный магнетизмъ. Магнетизмъ распространяется по линіямъ, выходящимъ на поверхность около концовъ полосы, а опилки пристають въ мѣстахъ, гдѣ эти линіи выходятъ наружу. Онѣ совершенно не пристають въ серединѣ полосы, гдѣ она вполнѣ наполнена магнетизмомъ, гдѣ приходится наибольшее число линій на кв. сантиметръ поперечнаго сѣченія. Но тутъ ни одна линія не выходитъ наружу, и нѣтъ приставшихъ опилокъ. Мы можемъ изслѣдовать утечку магнитныхъ линій въ различныхъ точкахъ поверхности магнита при помощи закона приставанія. Такимъ образомъ мы получаемъ возможность измѣрить количество утекающаго магнетизма или, если хотите, напряженность «свободнаго магнетизма» на поверхности. Я не люблю пользоваться этимъ стариннымъ терминомъ, т. к. онъ напоминаетъ старинное представленіе о магнетизмѣ, какъ о жидкости, или вѣрнѣе о двухъ жидкостяхъ, одна изъ которыхъ была разлита по поверхности одного конца, а другая по поверхности другого, совершенно также, какъ вы можете разлить по нимъ красную и голубую краску. Я пользуюсь этимъ терминомъ только потому, что онъ болѣе извѣстенъ.

Намъ нужно упомянуть здѣсь объ одномъ способѣ изслѣдованія распредѣленія такъ называемаго свободнаго магнетизма. Этотъ способъ изслѣдованія весьма распространенъ и употребляется очень часто. Онъ состоитъ въ томъ, что измѣряютъ силу, нужную для того, чтобы оторвать отъ разныхъ частей поверхности магнита одинъ и тотъ же *пробный шарикъ*. Вмѣсто маленькаго шарика можно употреблять маленькій эллипсоидъ или даже просто маленькій кусочекъ круглаго желѣзнаго прута. Этотъ методъ, который былъ открытъ Плюкеромъ, впоследствии употребляли Фонъ-Кольке, Тиндаль, Ламонъ и Жамень. Во Франціи онъ извѣстенъ подъ именемъ метода гвоздя (*méthode du clou*), благодаря тому, что вмѣсто пробнаго шарика можно употребить желѣзный гвоздь. Плюкеръ самъ въ своихъ опытахъ употреблялъ небольшіе продолговатые сфероиды, длиною въ 14 миллиметровъ и діаметромъ въ 8 мил. Эти сфероиды приготовлялись изъ разныхъ сортовъ желѣза и стали. Для опытовъ ихъ подвѣшивали къ коромыслу вѣсовъ. Фонъ-Кольке употреблялъ вмѣсто пробнаго шарика кусочекъ проволоки изъ мягкаго желѣза, вѣсившей 1,7 грамма, длиною въ 2,6 сант. и толщиною въ 0,45 сант. Кусо-

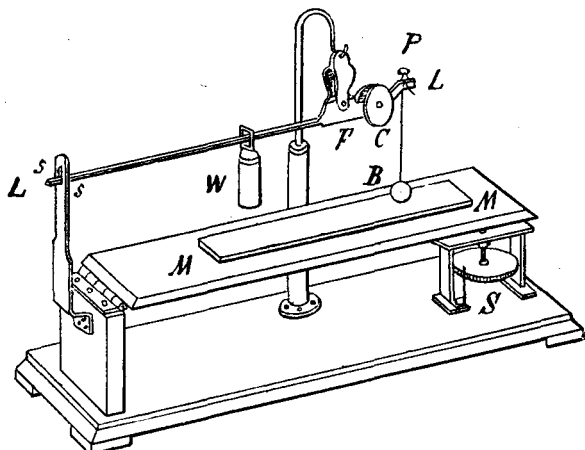
чекъ этотъ на концѣ былъ заостренъ. Въ другой серіи своихъ опытовъ онъ употреблялъ маленькій полированный желѣзный шарикъ въ 50,3 мил. въ діаметрѣ.

Тиндаль пользовался тремя полированными желѣзными шариками, діаметры которыхъ были: 0,95 д., 0,48 д. и 0,29 дюйма. Онъ пришелъ къ заключенію, что сила, которая требовалась для того, чтобы оторвать шарики была прямо пропорціональна напряженности магнетизма. Ламонъ употреблялъ коротенькій желѣзный пруть, закругленный на концахъ. Жамень считалъ, что нужно употреблять желѣзный цилиндръ длиною въ 15 сант. и 0,1 сант. въ діаметрѣ, но самъ для большаго удобства употреблялъ короткіе куски желѣзной проволоки съ маленькимъ шарикомъ на концѣ. Онъ нашелъ, что сила требуемая для отрыванія пропорціональна *квадрату* напряженности магнетизма въ изслѣдуемой точкѣ. Этотъ методъ подробно разсматривали Ламонъ и Христалъ (Chrystal). Послѣдній находитъ, что благодаря одновременному существованію явленій, зависящихъ отъ контакта, индукціи и т. п., весьма трудно знать, что за величину мы измѣряемъ. Онъ прибавляетъ, что предпочтительнѣе употреблять для изслѣдованія тѣла болѣе длинныя, т. е. при употребленіи тѣлъ сферическихкихъ формъ и сдѣланныхъ изъ матеріаловъ, обладающихъ большою проницаемостью, различіе въ формахъ имѣетъ гораздо большее вліяніе на результаты опытовъ, чѣмъ магнитная восприимчивость вещества, изъ котораго тѣла сдѣланы.

Приборъ, изображенный на фиг. 54 устроенъ моимъ другомъ и предшественникомъ, проф. Айртономъ для студенческихъ работъ въ Finsbury College. Онъ состоитъ изъ стального полосоваго магнита ММ раздѣленнаго отъ одного конца до другаго на сантиметры; надъ нимъ помѣщенъ маленькій безмѣнъ, состоящій изъ груза W, скользящаго вдоль по плечу LL. Къ концу этого безмѣна подвѣшенъ маленькій желѣзный шарикъ B. Если коснуться этимъ шарикомъ до магнита гдѣ нибудь около концовъ и уравновѣситъ силу, передвигая противовѣсъ вдоль по плечу, мы получимъ силу, нужную для оторванія этого куска желѣза. Эта сила, по правилу Максвелля, пропорціональна квадрату числа магнитныхъ линий, проходящихъ изъ полосы въ желѣзный шарикъ. Передвинемъ магнитъ на цѣлый сантиметръ и дадимъ шаріку пристать. Уравновѣсивъ его мы найдемъ, что для того, чтобы оторвать

его, нужна гораздо меньшая сила. Такимъ образомъ возможно изслѣдовать всѣ точки отъ концовъ до середины. Самая большая

Фиг. 54.



Приборъ Айртонна для изслѣдованія поверхностнаго враспределенія  
постояннаго магнетизма.

сила потребуется, чтобы оторвать шарикъ отъ концовъ магнита, по серединѣ же его шарикъ вовсе не будетъ приставать просто потому, что тутъ нѣтъ утечки магнитныхъ линій. Этотъ методъ очень несовершененъ, т. к. онъ косвенно зависитъ отъ свойствъ желѣза, изъ котораго сдѣланъ шарикъ и его насыщенія. Кроме того присутствіе шарика измѣняетъ явленіе, которое измѣряется. Утечка въ воздухѣ одна, а утечка въ воздухѣ въ присутствіи желѣзнаго шарика совсѣмъ другая. Но этотъ несовершенный методъ тѣмъ не менѣе очень поучителенъ.

Болѣе совершенный методъ изслѣдованія состоитъ, какъ это показалъ Роуландъ \*), въ употребленіи очень маленькой катушки, снабженной обмоткой изъ изолированной мѣдной проволоки, концы которой соединены съ чувствительнымъ баллистическимъ гальванометромъ. Эта катушка, которую можно назвать *магнитной пробной плоскостью* помѣщается на поверхность магнита и затѣмъ быстро передвигается. Отклоненіе гальванометра служитъ мѣрою интенсивности нормальнаго потока магнитныхъ линій въ изслѣдуемой точкѣ.

\*) Этотъ методъ былъ предложенъ раньше Van Rees въ Pogg. Ann. 74 томъ за 1848 г.

## Вліяніе желѣзныхъ массъ помѣщенныхъ на концахъ сердечниковъ.

Существуетъ одинъ весьма парадоксальный опытъ. Передо мной полосовой электромагнитъ, который я соединяю съ батареей, дающей токъ. Передъ однимъ изъ его концовъ на нѣкоторомъ разстояніи (приблизительно 18 дюймовъ) помѣщена маленькая магнитная стрѣлка съ перышкомъ, служащимъ указателемъ, такъ что когда я замыкаю токъ, то перо передвигается. Здѣсь происходитъ дѣйствіе на разстояніи. Намагничивающая сила употреблена здѣсь главнымъ образомъ не для того, чтобы провести магнитныя линіи сквозь желѣзный стержень, но чтобы заставить ихъ выйти изъ одного его конца, пройти сквозь воздухъ, магнитную стрѣлку и вернуться въ другой конецъ электромагнита.

Потокъ усилится, если мы поможемъ магнитнымъ линіямъ протечь черезъ воздухъ. Но какимъ образомъ можно это сдѣлать? Для этого на обратный конецъ электромагнита надо положить чтонибудь, что помогало бы линіямъ возвращаться обратно. Положивъ этотъ плоскій кусокъ желѣза на задній конецъ стержня, мы поможемъ теченію магнитныхъ линій, и вы видите, что перемѣщеніе перышка увеличивается. Убравъ назадъ кусокъ, мы уменьшаемъ это передвиженіе. Такимъ же образомъ, дѣлая опыты съ силой приставанія, можно доказать, что прикладывая нѣкоторую массу желѣза къ обратному концу прямого электромагнита, мы сильно увеличиваемъ силу того конца, съ которымъ работаемъ. Приложивъ же его къ этому концу, мы значительно уменьшимъ его силу. Это можно доказать слѣдующимъ опытомъ. Вотъ прямой электромагнитъ, которымъ я буду пользоваться. Къ пружиннымъ вѣсамъ, при помощи которыхъ можно измѣрить силу, нужную для отрыванія, прикрѣпленъ маленькій кусокъ желѣза. При токѣ, которымъ я пользуюсь, сила нужная, чтобы оторвать этотъ кусочекъ желѣза отъ электромагнита, измѣряемая вѣсами, равна приблизительно  $2\frac{1}{2}$  ф. Теперь я кладу на передній конецъ электромагнита кусокъ ковannaго желѣза. Онъ самъ пристаеъ, но сила, съ которой магнитъ дѣйствуетъ на маленькій кусокъ желѣза, незначительна. Достаточно менѣе полуфунта, чтобы оторвать его. Теперь я снимаю кусокъ желѣза съ перед-

няго конца и помѣщая его на задній и нахожу, что теперь необходима сила въ  $3\frac{1}{2}$  ф., вмѣсто  $2\frac{1}{2}$  ф., для того, чтобы оторвать маленькій кусокъ желѣза отъ передняго конца электромагнита. Почему? Все желѣзо электромагнита и, конечно, и передній конецъ намагничивается сильнѣе, потому что теперь для магнитныхъ линій существуетъ лучший путь для того, чтобы войти въ задній конецъ и дойти до передняго. Однимъ словомъ, мы уменьшили магнитное сопротивленіе воздуха въ магнитной цѣпи, и потокъ магнитныхъ линій во всей цѣпи благодаря этому увеличился. Тоже самое было, когда желѣзная масса была помѣщена и на передній конецъ стержня, но магнитныя линіи уходили въ бокъ и только нѣкоторыя дѣйствовали на маленькій кусочекъ желѣза. Такимъ образомъ законъ магнитной цѣпи объясняетъ эти аномаліи. Подобные факты были давно извѣстны лицамъ, работавшимъ съ электромагнитами. Въ книгѣ Стюржена сказано, что полосовой магнитъ дѣйствуетъ сильнѣе, если на недѣйствующій конецъ положить желѣзную массу, но Стюржень не зналъ того, что знаемъ теперь мы для объясненія этого явленія. Патентъ на идею прикрѣплять желѣзную массу къ одному концу электромагнита съ цѣлью увеличить силу другаго конца, былъ взятъ Сименсомъ въ 1862 году.

Слѣдующіе опыты, которые я опишу, относятся къ употребленію полярныхъ утолщеній или полюсныхъ кусковъ, прикрѣпленныхъ къ сердечнику. Эти опыты, принадлежащіе доктору Юлію Дубу, столь любопытны, столь неожиданны, если только вы не знаете причинъ, что я обращаю на нихъ ваше особенное вниманіе. Когда какому нибудь инженеру надо устроить прочное соединеніе двухъ кусковъ металла, и онъ находитъ, что существующее соединеніе не достаточно хорошо, то первою его мыслию будетъ увеличить поверхность прикосновенія, чтобы дать такъ сказать большую устойчивость соединенію. Рѣшительно тоже самое начинаетъ дѣлать инженеръ, не знающій истинныхъ принциповъ магнетизма, для того, чтобы заставить магнитъ пристать сильнѣе къ арматурѣ. Онъ увеличитъ одну или обѣ оконечности, онъ прибавитъ полюсныя утолщенія, чтобы дать арматурѣ большую поверхность прикосновенія. Какъ мы увидимъ, нѣтъ ничего вреднѣе этого.

Въ своихъ опытахъ Дубъ употреблялъ прямой электромагнитъ



съ цилиндрическимъ сердечникомъ изъ мягкаго желѣза, имѣвшимъ одинъ д. въ діаметрѣ и 12 д. длины. Арматура была сдѣлана изъ того же желѣза и имѣла 6 д. длины. И арматура, и концы электромагнита были плоскіе. Для полюсныхъ утолщій были приготовлены 6 кусковъ мягкаго желѣза различныхъ величинъ. Ихъ можно было привинчивать и къ концу электромагнита, и къ арматурѣ. Чтобы отличить ихъ, назовемъ ихъ буквами А, В, С и т. д. Вотъ ихъ размѣры (дюймы вѣроятно Баварскіе):

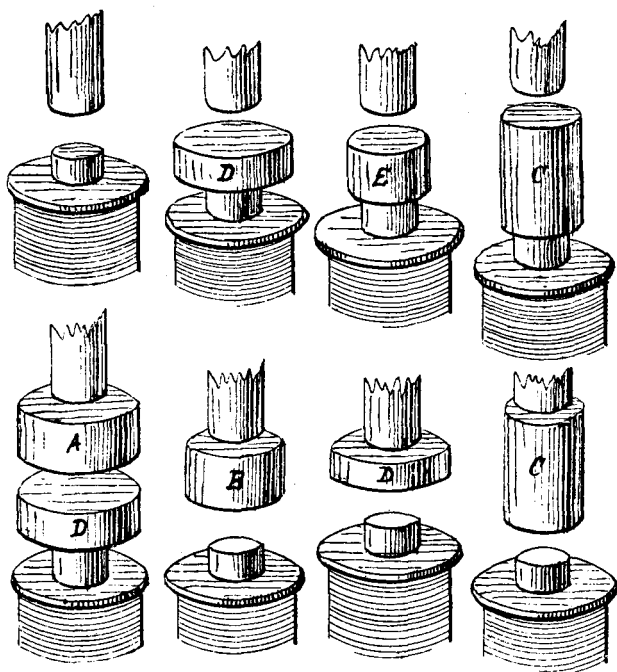
Куски.	Діаметръ.	Длина.
	<i>Дюймы</i>	<i>Дюймы.</i>
А	2	1
В	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
С	1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	2
Д	2	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
Е	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1
F	1	2

Мы выберемъ восемь изъ результатовъ полученныхъ съ этими наконечниками. Расположенія арматуры и электромагнита при

Опытъ.	На магнитѣ.	На арматурѣ.	Присъ- ваніе.	Притя- женіе.
I	ничего	ничего	48	22
II	D	ничего	30	10
III	E	ничего	32	11,5
IV	C	ничего	35	13,5
V	D	A	20	7,5
VI	ничего	B	50	25
VII	ничего	D	43	25
VIII	ничего	C	50	18

этомъ показаны на фиг. 55. При опытахъ измѣрялась сила, нужная для отрыванія арматуры отъ электромагнита и сила, съ ко-

Фиг. 55.



*Опыты Дуба съ полюсными наконечниками.*

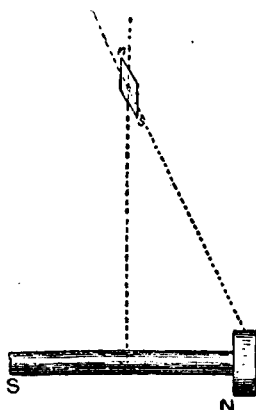
торою этотъ послѣдній дѣйствовалъ на арматуру на нѣкоторомъ разстояніи.

Замѣтимъ, что во всѣхъ случаяхъ наложеніе полярнаго утолщенія на конецъ магнита уменьшаетъ и силу дѣйствующую при соприкосновеніи, и притяженіе на разстояніи. Оно только способствуетъ утечкѣ и разсѣянію магнитныхъ линий. Худшій случай тотъ, когда полюсные куски надѣты и на магнитъ, и на арматуру. Въ трехъ послѣднихъ случаяхъ сила была увеличена, но тутъ полюсные куски были помѣщены на арматурѣ такъ, что они помогали магнитнымъ линиямъ, входившимъ въ нее, вытекать съ боковъ и возвращаться въ другой конецъ магнита, т. к. они уменьшали магнитное сопротивленіе возвратнаго пути и тѣмъ

увеличивали общее число магнитныхъ линій, и линіи, выходявшія изъ конца сердечника, не разсѣивались напрасно.

Слѣдующій опытъ Дуба относится къ вліянію полюсныхъ кусковъ на дѣйствіе электромагнита въ 12 д. длины на магнитъ.

Фиг. 56



*Опытъ Дуба надъ отклоненіемъ магнитной стрѣлки.*

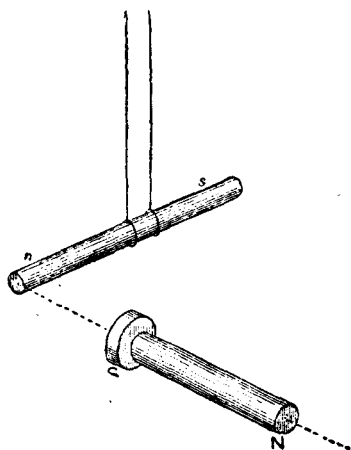
ную стрѣлку, когда онъ помѣщенъ бокомъ относительно ея на нѣкоторомъ разстояніи (фиг. 56).

Употребленные полюсные-куски.	Отклоненіе (градусы).
Нѣтъ	34,5
A	42
B	41,5
C	40,5
D	41
E	39
F	38

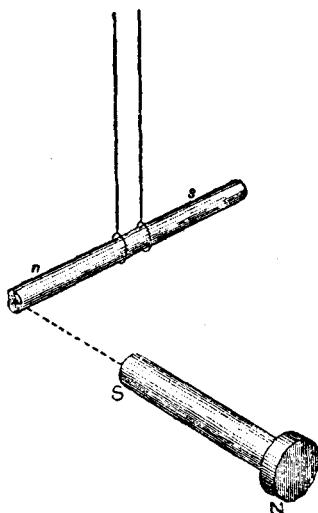
Другой опытъ въ томъ же родѣ былъ сдѣланъ Дубомъ со стальнымъ постояннымъ магнитомъ съ полюсами *n* и *s*. Магнитъ былъ подвѣшенъ горизонтально на бифиллярѣ для того, чтобы дать ему стремленіе вернуться всегда въ прежнее положеніе.

Электромагнитъ и полюсные куски употреблялись тѣ же, что и въ предыдущемъ случаѣ. Онъ помѣщался на небольшомъ разстояніи сбоку. Прикрѣпленіе кусковъ желѣза къ ближайшему концу электромагнита (фиг. 57) не дало особенно убѣдительныхъ ре-

Фиг. 57.



Фиг. 58.



*Отклоненіе стального магнита, подвѣшеннаго на бифилляръ. Полюсный наконечникъ на ближайшемъ концѣ.*

*Отклоненіе стального магнита. Полюсный наконечникъ на дальнемъ концѣ.*

зультатовъ: оно слегка увеличило отклоненіе. Но, благодаря отсутствію указаній относительно разстоянія между стальнымъ магнитомъ и электромагнитомъ, трудно найти истинную величину вліянія. Вотъ полученные результаты:

Употребленные полюсные-куски.	Отклоненіе (градусы).
Нѣтъ	8,5
A	9,2
B	9,5
C	10
D	8,8

Когда полюсные куски были прикрѣплены къ дальней оконечности электромагнита и несомнѣнно способствовали облегченію утечки магнитныхъ линій съ передняго конца и ихъ распространенію въ переднемъ пространствѣ, то дѣйствіе ихъ было гораздо замѣтнѣе (фиг. 58).

Употребленные полюсные-куски.	Отклоненіе (градусы).
Нѣтъ	8,5
A	10
B	10,3
C	10,3
F	10,1

Такъ какъ мы пока ограничились рассмотрѣніемъ прямыхъ магнитовъ, то я напомнимъ вамъ одинъ опытъ произведенный Дю-Монселемъ (Du Moncel) надъ дѣйствіемъ полярныхъ утолщеній желѣзнаго стержня. Въмѣсто сердечника онъ бралъ маленькую желѣзную трубочку, конецъ которой онъ могъ заперать желѣзнымъ болтомъ и надвигалъ на нее плотно пригнанное кольцо. Особая система рычаговъ давала возможность измѣрять силу, съ которой дѣйствовалъ электромагнитъ на арматуру, помѣщавшуюся во всѣхъ опытахъ на разстояніи одного миллиметра отъ полюса. Полученные результаты были:

	Безъ кольца на полюсѣ.	Съ кольцомъ на полюсѣ.
Только трубчатый сердечникъ . . . . .	11	10
Тоже съ желѣзнымъ болтомъ . . . . .	17	14
Сердечн. съ желѣзн. массой на заднемъ концѣ	27	25
Тоже съ желѣзнымъ болтомъ . . . . .	38	33

Разсмотрѣвъ эти изслѣдованія, интересно посмотрѣть, не ускользнули ли эти столь важныя явленія отъ внимательнаго

глаза остроумнаго изобрѣтателя электромагнита. На стр. 113 «Experimental Researches» Стюржена есть примѣчаніе, написанное около 1832 г., въ которомъ сказано:

«Электромагнитъ, вѣсившій 3 унціи и снабженный проволоочной обмоткой, удерживалъ 14 фунтовъ. Загѣмъ, чтобы увеличить поверхность полюсовъ, на концы цилиндрическаго стержня были помѣщены квадратные куски хорошаго мягкаго желѣза. При этомъ измѣненіи, подъемная сила уменьшилась до 5 фунтовъ приблизительно, хотя магнитъ былъ изъ желѣза отожженнаго какъ можно лучше».

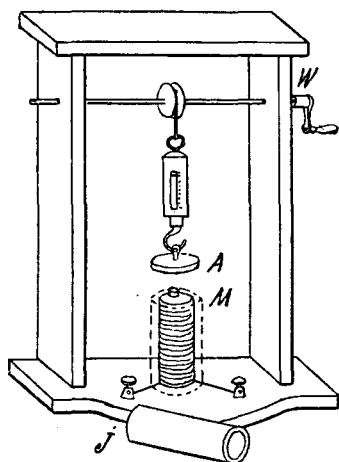
### Вліяніе внѣшней желѣзной обкладки электромагнита.

Мы видѣли, что этотъ прямой электромагнитъ, если его подносить бокомъ или концомъ къ магнитной стрѣлкѣ, отклоняетъ ее. Въ этомъ опытѣ для магнитныхъ линій нѣтъ другого возвратнаго пути, кромѣ окружающаго воздуха. Линіи идутъ кругомъ въ видѣ расходящихся кривыхъ отъ одного конца къ другому, какъ это показано на фиг. 13. Въ этомъ случаѣ магнитное поле очень обширно. Что же случится, если мы позаботимся о возвратномъ пути для линій? Положимъ, что мы окружимъ электромагнитъ желѣзной трубой, той же длины, что и онъ самъ; тогда линіи въ одномъ направленіи будутъ течь по сердечнику, а для обратнаго пути будутъ находить очень легкую дорогу снаружи обмотки. Какъ будетъ дѣйствовать одѣтый такимъ образомъ электромагнитъ на подвѣшанный магнитъ: сильнѣе или слабѣе? Я думаю, что значительно слабѣе, потому что, зачѣмъ же магнитнымъ линіямъ, имѣя хорошій возвратный путь по желѣзной трубѣ, возвращаться въ значительномъ количествѣ черезъ воздухъ? Очевидно незачѣмъ, и онѣ вернутся по желѣзной одеждѣ. Такимъ образомъ помѣшеніе электромагнита въ желѣзную трубу уменьшаетъ его дѣйствіе на разстояніи. Можно произвести опытъ, поднося прямой электромагнитъ одинъ разъ ближе концомъ, другой разъ бокомъ, къ магнитной стрѣлкѣ. Въ послѣднемъ положеніи произведены наблюденія, когда магнитъ безъ наружной обкладки и когда обкладка надѣта. Во второмъ, случаѣ при замыканіи тока, стрѣлка почти не подвергается вліянію электромагнита. Тѣмъ не менѣе часто предлагаютъ употреблять одѣтые такимъ

образомъ электромагниты для телеграфныхъ аппаратовъ и электродвигателей на томъ основаніи, что они даютъ большую силу. Мы видѣли, что на разстояніи электромагниты съ внѣшней желѣзной обкладкой даютъ меньшую силу, чѣмъ обыкновенные. Остается посмотрѣть, что будетъ при соприкосновеніи. Очевидно, что въ этомъ случаѣ они будутъ сильнѣе, потому что все, что способствуетъ прохожденію магнитныхъ линий отъ одного конца магнита до другаго, улучшаетъ магнитную цѣпь и слѣдовательно усиливаетъ магнитный потокъ.

Опытъ можно сдѣлать при помощи прибора, подобнаго тому, которымъ пользовались въ Finsbury Technical College. Онъ состоитъ изъ прямого магнита *M*, подвѣшеннаго вертикально на легкихъ деревянныхъ козлахъ (фиг. 59). Черезъ перекладину этихъ козелъ проходитъ воротъ *W*, на которомъ виситъ маленькій блокъ съ веревкой. Къ другому концу этой веревки привязаны обыкновенные пружинные вѣсы. Къ крючку этихъ вѣсовъ прикрѣпленъ маленькій желѣзный дискъ *A*, который служитъ арматурой. При помощи ворота, я спускаю дискъ до прикосновенія съ электромагнитомъ. Я пускаю токъ въ электромагнитъ и дискъ притягивается. Вращая воротъ, я увеличиваю силу, тянущую дискъ вверхъ, пока дискъ не оторвется отъ электромагнита. Для этого потребуется около 9 фунтовъ. Теперь я надѣваю на электромагнитъ желѣзную трубу, не прикрѣпляя ее нигдѣ и ставлю верхній ея край на одномъ уровнѣ съ поверхностью верхняго полюса электромагнита. Затѣмъ снова вращаю воротъ и опускаю дискъ. Онъ прилѣпляется серединой къ полюсу, а краями — къ трубкѣ. Какая сила потребуется теперь, чтобы оторвать его? Труба сама вѣситъ  $\frac{1}{2}$  фунта. Достаточно-ли будетъ  $9\frac{1}{2}$  фун., чтобы поднять дискъ? Нѣтъ. Вѣсы могутъ показывать только 24 фунта и

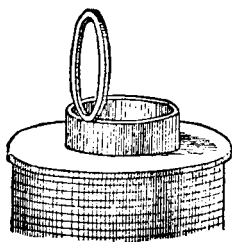
Фиг. 59.



Электромагнитъ и его внѣшняя  
желѣзная обкладка.

этого не достаточно, чтобы оторвать дискъ. Я знаю случай, когда сила прямого стержня была увеличена въ 16 разъ устройствомъ хорошаго возвратнаго пути для линий т. е. дополненіемъ магнитной цѣпи. Но эта форма электромагнита хороша только для увеличенія силы приставанія. Совершенно напрасно одѣвать электромагнитъ, который обладаетъ уже возвратной частью цѣпи. Поэтому надо отбросить предложеніе одного изобрѣтателя окружать снаружи

Фиг. 60.



*Опытъ съ трубчатымъ сердечникомъ и желѣзнымъ кольцомъ.*

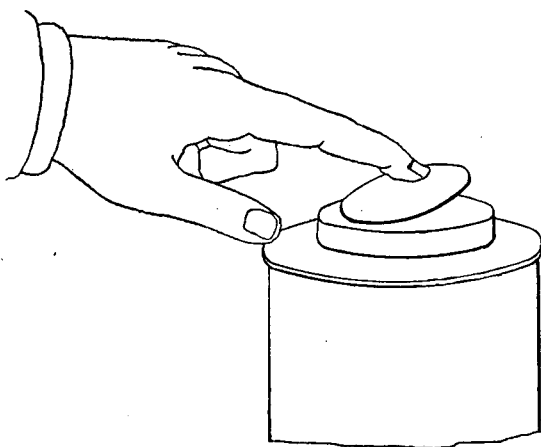
желѣзными трубками обмотки подковообразныхъ электромагнитовъ. Мы рассмотримъ еще парадоксъ, который тоже можетъ быть объясненъ закономъ магнитной цѣпи. Положимъ, что мы пользуемся желѣзной трубкой, какъ сердечникомъ и отрѣжемъ отъ нея тонкое кольцо. Если его положить прямо на оконечность электромагнита, то его легко будетъ оторвать, если же положить бокомъ такъ, чтобы оно касалось окружности только въ одной точкѣ (фиг. 60), то оно пристанетъ гораздо сильнѣе, т. к. въ этомъ положеніи оно увеличиваетъ потокъ магнитныхъ линий. Концентрированіе линий на маленькомъ пространствѣ увеличиваетъ на немъ  $B$ , и  $B^2$ , интегрированное по маленькой поверхности соприкосновенія, даетъ большую силу, чѣмъ когда кольцо касается по всей окружности трубчатого сердечника.

Вотъ еще интересный опытъ. Я беру цилиндрической электромагнитъ, сердечникъ котораго оканчивается наверху плоской кругообразной поверхностью въ 2 дюйма въ діаметрѣ. Я беру теперь маленькій дискъ изъ тонкаго желѣза (ферротипная или жестяная пластинка вполне годятся) и кладу его на полюсную поверхность (фиг. 61) совершенно концентрично. Діаметръ диска нѣсколько меньше, чѣмъ діаметръ полюсной поверхности. Что же произойдетъ при этомъ? Навѣрное вы скажете, что дискъ крѣпко пристанетъ. Если это такъ, то магнитныя линии, которыя входятъ въ его нижнюю поверхность, вышли бы въ значительномъ количествѣ черезъ верхнюю. Очевидно, онѣ не могутъ выйти всѣ, или въ сколько нибудь значительномъ количествѣ черезъ боковыя части диска, т. к. тамъ нѣтъ достаточнаго количества вещества, чтобы



вмѣстѣ столько магнитныхъ линій. Слѣдовательно линіи, входящія въ нижнюю поверхность диска и выходящія черезъ верх-

Фиг. 61.



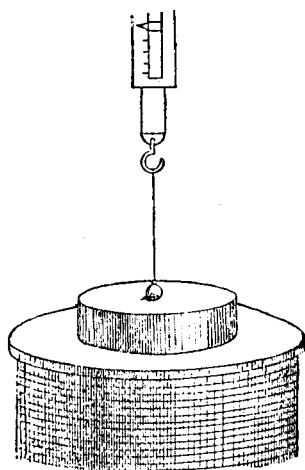
*Опытъ съ желѣзнымъ дискомъ, помѣщеннымъ на полюсъ электромагнита.*

ную, произведутъ подъ ней почти столь же интенсивное магнитное поле, какое существуетъ надъ ней. Если бы оба эти поля были строго равны, то не существовало бы ни малѣйшаго притяженія. Что же происходитъ на самомъ дѣлѣ? Когда токъ замкнутъ, то вы видите, дискъ не лежитъ на поверхности полюса. Чтобы его уложить я долженъ употребить нѣкоторое усиліе. Тутъ только я перестаю удерживать его пальцами, онъ стремится оттолкнуться и стремится улучшить магнитную цѣпь, а не лежать на поверхности полюса.

Теперь я обращаю ваше вниманіе на нѣсколько опытовъ фонъ-Кольке (Vom Kolke), напечатанныхъ лѣтъ 40 тому назадъ въ «Annalen» и относящихся къ распредѣленію магнитныхъ линій, когда они выходятъ изъ полюсной поверхности электромагнита. Я не могу перечислить ихъ всѣхъ, но приведу здѣсь одинъ изъ нихъ. Вотъ прямой электромагнитъ (фиг. 62). Какъ распредѣлятся магнитныя линіи надъ его полюсной поверхностью? Если нѣтъ возвратнаго желѣзнаго пути, то утечка происходитъ главнымъ образомъ черезъ концы, но существуетъ и съ боковъ. Въ грубыхъ чертахъ фиг. 14 показываетъ распредѣленіе магнитныхъ линій рас-

предѣленіе же оконечности мы изслѣдуемъ при помощи маленькаго желѣзнаго шарика, который будемъ помѣщать въ разныхъ точкахъ, отъ середины до краевъ

Фиг. 62.



*Изслѣдованіе распредѣленія магнетизма на поверхности полюса съ помощью маленькаго желѣзнаго шарика.*

и, при помощи пружинныхъ вѣсовъ, будемъ измѣрять силу, нужную для того, чтобы отрывать его въ каждой точкѣ. Сила на краяхъ требуется по крайней мѣрѣ раза въ четыре или пять больше, чѣмъ на серединѣ. Она правильно возрастаетъ отъ центра къ окружности.

Магнитныя линіи, стараясь пополнить цѣль, текутъ на сколько возможно большую часть своего пути по желѣзу. Онѣ вытекаютъ главнымъ образомъ изъ краевъ и угловъ поверхности полюсовъ. Онѣ не вытекаютъ въ такомъ количествѣ изъ центральной части этой поверхности потому, что для обратнаго возвращенія имъ

пришлось пройти черезъ болѣе толстый слой воздуха. Изъ всего этого слѣдуетъ, что по краямъ желѣзо болѣе насыщено, чѣмъ въ серединѣ. При малой намагничивающей силѣ, разница въ приставаніи въ центрѣ и у краевъ гораздо чувствительнѣе, чѣмъ при большой. При весьма большой намагничивающей силѣ не будетъ столь большой разницы, т. к. прилагая большую намагничивающую силу, мы не можемъ усилить магнетизмъ краевъ, но можемъ усилить магнетизмъ середины. Поэтому, если мы будемъ выражать результаты наблюденій надъ приставаніемъ въ разныхъ точкахъ поверхности кривыми, то онѣ будутъ болѣе близки къ прямымъ, при большой намагничивающей силѣ, чѣмъ при небольшой.

Результаты, полученные фомъ-Кольке изъ его опытовъ съ цилиндрическимъ сердечникомъ въ 12 сант. въ діаметрѣ, на полюсѣ котораго изслѣдовалось распредѣленіе магнетизма, измѣряя силу черезъ каждыя полъ сантиметра отъ центра къ краямъ, приведены ниже. Сила, которая потребовалась, чтобы оторвать ма-

ленькій желѣзный шарикъ въ 3 мил. въ діаметрѣ, была въ шесть разъ больше на краяхъ, чѣмъ въ центрѣ.

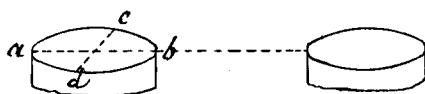
Разстоянія отъ центра по радіусамъ (въ сантим.)	0	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3
Сила, дѣйствовавшая на маленькіе шарики при соприкосновеніи . . .	8,75	8,75	8,88	9,16	9,40	10,19	10,83
Разстоянія отъ центра по радіусамъ (въ сантим.)	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2	6	
Сила, дѣйствовавшая на маленькіе шарики при соприкосновеніи . . .	11,34	12,38	13,52	17,30	25,00	52,20	

При этихъ опытахъ токъ давалъ все время одинъ элементъ Грове. Когда же батарею увеличили, то, хотя сила приставанія, какъ въ центрѣ полюсной поверхности, такъ и на краяхъ увеличилась тоже, но отношеніе ихъ уменьшилось.

Число употребленн. элементовъ Грове.	Сила на краяхъ.	Сила въ центрѣ.	Отношеніе между силами на краяхъ и въ центрѣ.
1	52,20	8,75	5,96
2	81,85	19,80	4,14
3	126,50	27,7	4,57
4	227,50	52,25	4,35

Въ другомъ опытѣ фомъ-Кольке былъ употребленъ большой подковообразный электромагнитъ Пюкера съ сердечниками, имѣвшими 10,2 сант. въ діаметрѣ. Были сдѣланы наблюденія надъ

Фиг. 63.



Полюсы электромагнита, изслѣдованнаго Фомъ-Кольке.

силой приставанія вдоль по діаметру  $cd$  перпендикулярному къ линіи, соединяющей центры полюсныхъ поверхностей и по діаметру  $ab$ , лежащему вдоль этой линіи. Для отрыванія употреблялся заостренный кусочекъ желѣзной проволоки длиною въ 2,6 сант. При измѣреніяхъ вдоль по діаметру  $cd$  (фиг. 63), радиусъ былъ раздѣленъ на восемь равныхъ частей и было сдѣлано четыре серіи наблюдений, т. к. электромагнитъ возбуждался четырьмя различными способами:

- I. Обѣ обмотки соединялись съ батареей такъ, что помогали другъ другу намагничивать сердечники.
- II. Обѣ обмотки противодействовали другъ другу.
- III. Токъ проходилъ только по обмоткѣ изслѣдуемаго сердечника.
- IV. Токъ проходилъ только по обмоткѣ не изслѣдуемаго сердечника.

Въ этихъ четырехъ случаяхъ силы, которыя требовались, чтобы оторвать кусочекъ проволоки, были таковы:

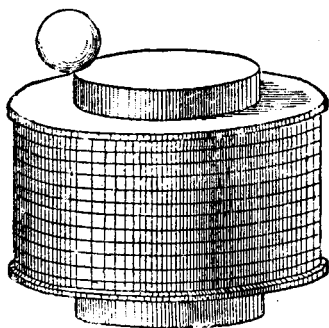
Разстоянія отъ центра.	I	II	III	IV
8	54,2	30,8	45,2	22,5
7	45,5	27,0	40,0	18,0
6	40,4	22,9	34,0	16,6
5	38,0	21,5	32,0	15,4
4	37,0	19,0	30,0	13,8
3	35,5	17,9	29,2	13,2
2	35,0	17,4	28,1	12,6
1	35,0	17,0	28,1	12,5
0	35,0	16,6	28,0	12,5

На величину данныхъ, помѣщенныхъ во второмъ столбцѣ, должно было имѣть вліяніе значительное разстояніе между сердечниками (около 28,4 сант.). Такъ какъ обмотки дѣйствовали противоположно, то гдѣ нибудь на полосѣ, соединявшей сердечники электромагнита, долженъ былъ образоваться промежуточный по-

люсь и магнитныя линіи, вытекая изъ каждой полюсной поверхности, вмѣсто того, чтобы идти отъ одной къ другой, шли по воздуху и входили въ желѣзо въ мѣстѣ, гдѣ помѣщался этотъ полюсь.

При измѣреніи вдоль по линіи *a b*, самая большая сила наблюдалась всегда въ точкѣ *b* на внутреннемъ краѣ полюсной поверхности. Очень удобно изслѣдовать такое различіе въ распределеніи магнетизма на полюсной поверхности при помощи маленькаго полированного желѣзнаго шарика, который кладется на изслѣдуемую полюсную поверхность электромагнита. Магнитныя свойства желѣзныхъ шаровъ очень интересны. Маленькій круглый кусочекъ желѣза ни чуть не стремится двигаться въ самомъ сильномъ магнитномъ полѣ, если только оно однородно. Но въ неоднородномъ полѣ, шарикъ стремится перейти изъ той части поля, гдѣ оно слабѣе, въ ту, гдѣ оно наиболѣе сильно. Помѣстимъ шарикъ гдѣ нибудь около центра полюсной поверхности. Шарикъ всегда скатится къ краямъ и никогда не останется въ средней части поверхности (фиг. 64).

Фиг. 64.




*Желѣзный шарикъ, притягиваемый къ краямъ полюсной поверхности.*

Что произойдетъ, если мы возьмемъ большой двухъ полюсный электромагнитъ (подобный изображенному на фиг 23)? Ясно, что кратчайшій путь по воздуху для магнитныхъ линій будетъ путь прямо между краемъ одной полюсной поверхности и краемъ другой. Линіи будутъ болѣе сгущены тамъ, гдѣ дуга, которую онѣ описываютъ, будетъ по возможности самая короткая и будутъ менѣе густы тамъ, гдѣ эти дуги длиннѣе. Поэтому у нихъ явится большее стремленіе протекать отъ внутренняго края одной поверхности къ внутреннему другой, чѣмъ отъ внѣшняго края одной—къ внѣшнему другой. Слѣдовательно сила на внутреннихъ краяхъ полюсныхъ поверхностей будетъ больше, чѣмъ на внѣшнихъ. Попробуемъ провѣрить это. Кладемъ на полюсь шарикъ и мы видимъ, что онъ сейчасъ же катится прямо къ внутреннему краю.

## ГЛАВА V.

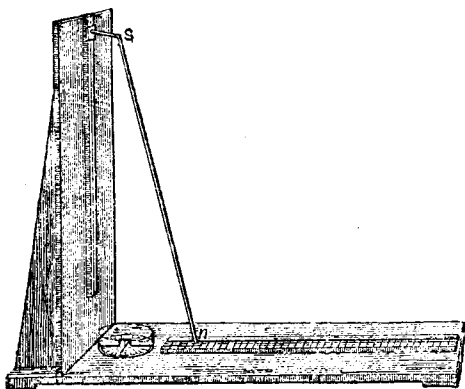
### *Распространеніе закона магнитной цѣпи на случай притяженія арматуры, находящейся на нѣкоторомъ разстояніи отъ полюсовъ. Вычисленіе магнитной утечки.*

Я перехожу теперь къ разсмотрѣнію притяженія магнитомъ куска желѣза, находящагося отъ него на нѣкоторомъ разстояніи. Это вопросъ очень затруднительный и сложный. Какой законъ управляетъ силой магнита или электромагнита, дѣйствующаго на точку, находящуюся на нѣкоторомъ разстояніи отъ него? Я снова долженъ идти противъ общепринятаго способа смотрѣть на это явленіе. Обыкновенно думали, что оно происходитъ по закону обратной пропорціональности квадрату разстояній. Этотъ законъ, который необходимо отбросить, можетъ быть справедливъ въ отвлеченной математикѣ, но безусловно непримѣнимъ къ электромагнитамъ. Что это за законъ? Раньше чѣмъ отказать отъ него окончательно, постараемся хорошенько его понять. Онъ выражаетъ тотъ фактъ, что дѣйствіе магнита или, какъ нѣкоторые говорятъ, полюса на точку, находящуюся отъ него въ нѣкоторомъ разстояніи, мѣняется обратно пропорціонально квадрату разстояній полюса отъ точки. Пусть на разстояніи одного дюйма онъ произведетъ извѣстное дѣйствіе; на разстояніи 2 дюймовъ — онъ произведетъ дѣйствіе равное  $\frac{1}{4}$  прежняго, на разстояніи 3 дюймовъ — равное  $\frac{1}{9}$  и т. далѣе. Попробуемъ провѣрить его съ электромагнитомъ. Я думаю, что если только мы не попадемъ на исключительный случай, онъ вообще окажется невѣрнымъ. Опыты его не подтверждаютъ. Куломбъ, который нашелъ этотъ законъ съ помощью крутильных вѣсовъ, работалъ съ тонкими длинными иглами изъ особенно твердой стали, вполне намагниченными такъ, что утечка магнетизма происходила только радіальными пучками изъ концовъ магнита. Практически онъ имѣлъ полюсы — точки. Когда поверхностный магнетизмъ находится только на сторонахъ концовъ, то магнитныя линіи вытекаютъ, какъ радіусы изъ центра. Законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній справедливъ только для дѣйствій

между двумя точками: это законъ для «точекъ». Это совершенно вѣрный математическій законъ, вѣрный не только для электричества, но и для свѣта, звука и многихъ другихъ явленій, если только его прилагать къ случаямъ, когда онъ можетъ быть приложенъ. Законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній есть законъ, управляющій уменьшеніемъ дѣйствія на нѣкоторомъ протяженіи, когда предметъ, который производитъ дѣйствія такъ малъ сравнительно съ разстояніемъ, на которомъ онъ дѣйствуетъ, что его можно принять за точку. Законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній есть универсальный законъ для дѣйствій, исходящихъ изъ точки. Музыка оркестра на разстояніи 10 футовъ не въ-четверо громче, чѣмъ на разстояніи 20 ф., т. к. размѣры оркестра таковы, что его нельзя принять за точку, сравнительно съ этими разстояніями. Если вы представите себѣ предметъ, производящій звукъ столь небольшимъ, сравнительно съ разстояніемъ отъ него, на которомъ вы находитесь, что его можно принять за точку, то законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній совершенно справедливъ, не для силы, съ которой вы слышите, но для силы того, что производитъ ощущеніе. Когда магнитныя дѣйствія происходятъ отъ предмета столь малаго, что сравнительно съ разстояніемъ его можно принять за точку, то законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній математически вѣренъ. Если мы возьмемъ магнитъ или электромагнитъ съ полюсами настолько маленькими относительно его длины, что можно будетъ предположить, что магнитныя линіи вытекаютъ только изъ его оконечностей, и сами оконечности настолько малы, что ихъ можно будетъ принять за точки, если разстояніе между полюсами будетъ велико сравнительно съ толщиной магнита, то тогда, и только тогда, законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній будетъ справедливъ. Это, повторяю, законъ дѣйствія между точками. Что же мы найдемъ для электромагнитовъ? Мы имѣемъ дѣло съ кусками желѣза, которые не безконечно длинны въ сравненіи съ поперечнымъ сѣченіемъ, обыкновенно обладающими  углами, или квадратными оконечностями опредѣленной величины, очень близкими къ арматурѣ. Эти оконечности никогда не бывають такъ далеки отъ предмета, на который они должны дѣйствовать, чтобы ихъ можно было принять за точки по отношенію

къ этому разстоянію. Кромѣ того въ электромагнитахъ существуетъ всегда боковая утечка; не всѣ линіи входятъ и выходятъ черезъ конечности его. Поэтому для даннаго случая законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній не примѣнимъ.

Фиг. 65.



*Приборъ для демонстраціи закона обратной пропорціональности квадратамъ разстояній.*

Прежде всего, что мы подразумѣваемъ подъ словомъ полюсъ? Мы должны рѣшить это раньше, чѣмъ начнемъ примѣнять законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній. Когда утечка происходитъ на нѣкоторомъ пространствѣ, какъ это показываетъ діаграмма, все это пространство полярно; слово «полярно» употреблено въ томъ смыслѣ, что имѣются на поверхности магнита мѣста, гдѣ желѣзные опилки пристають и, если опилки пристають на большемъ пространствѣ и около середины магнита, то все это пространство полярно, въ нѣкоторыхъ мѣстахъ сильнѣе, въ другихъ слабѣе. Есть нѣсколько случаевъ, когда полярное распределение таково, что вытекающій магнетизмъ дѣйствуетъ, какъ могъ бы дѣйствовать магнитный центръ тяжести, помѣщенный на нѣкоторомъ разстояніи отъ концовъ магнита ближе къ его срединѣ. Но этихъ случаевъ весьма мало. Гауссъ, производя свои магнитныя измѣренія земли для изслѣдованія земнаго магнетизма, нашель, что безусловно невозможно найти такой центръ тяжести для того распределения магнетизма, который наблюдается въ сѣверныхъ странахъ, т. е., что на-

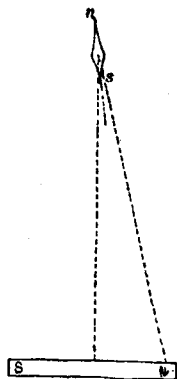


землѣ вовсе не существуетъ въ этомъ смыслѣ опредѣленнаго магнитнаго полюса. Его не существуетъ и въ другихъ магнитахъ. Въ нихъ есть полярная часть, а не полюсъ. А если для поверхностнаго магнетизма не существуетъ такого центра, который можно было-бы назвать полюсомъ и мѣрить отъ него разстоянія, то какъ же примѣнять законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній? Позвольте мнѣ показать вамъ единственный приборъ изъ всѣхъ, о которыхъ я когда либо слышалъ, (фиг. 65) для котораго законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній вѣренъ. Вотъ очень тонкій стальной магнитъ, около 3 футовъ длиною, намагниченный такъ, чтобы утечка происходила только около концовъ. Поэтому практически можно считать его за магнитъ, имѣющій два полюса на разстояніи около одного дюйма отъ концовъ. Южный полюсъ наверху, а сѣверный внизу двигается по желобку, снабженному шкалой. Магнитъ помѣщенъ въ направленіи востокъ-западъ. Я употребляю длинный магнитъ и удаляю южный полюсъ для того, чтобы онъ не вліялъ на дѣйствіе сѣвернаго. Такъ какъ этотъ послѣдній очень малъ, то его можно разсматривать, какъ точку. Я буду разсматривать дѣйствіе этой точки на магнитную стрѣлку подвѣшенную въ стеклянномъ сосудѣ надъ раздѣленнымъ кругомъ и такимъ образомъ составляющую маленькій магнитометръ. Какое дѣйствіе произведетъ сѣверный полюсъ длиннаго магнита, помѣщенный на нѣкоторомъ разстояніи на востокъ, если мы будемъ работать въ комнатѣ безъ другихъ магнитовъ и, если стрѣлка будетъ показывать на сѣверъ? Онъ будетъ отталкивать сѣверный ея конецъ и притягивать южный, производя такимъ образомъ нѣкоторое отклоненіе, которое мы можемъ замѣтить. Сила, производящая это отклоненіе, можетъ быть вычислена по тангенсу угла отклоненія. Передвинемъ теперь сѣверный полюсъ ближе или дальше и посмотримъ на результаты. Положимъ, что мы приблизимъ полюсъ на половину прежняго разстоянія до стрѣлки, отклоняющая сила на половинѣ разстоянія получится въ четыре раза больше. Эта сила на двойномъ разстояніи въ четыре раза меньше. Почему? Потому что, во-первыхъ, мы взяли случай, гдѣ разстояніе очень велико сравнительно съ размѣрами полюса; во-вторыхъ, полюсъ практически представляетъ точку; въ-третьихъ, тутъ дѣйствуетъ только одинъ полюсъ; и въ четвертыхъ—магнитъ сдѣланъ изъ твердой стали и его магнетизмъ постояненъ и не

зависитъ отъ того, на что онъ дѣйствуетъ. Я устроилъ такъ, что другой полюсъ находится на оси вращенія магнитной стрѣлки и его дѣйствіе на эту послѣднюю не имѣетъ горизонтальной составляющей. Приборъ сдѣланъ такъ, что каково бы ни было положеніе сѣвернаго полюса, южный двигается только вверхъ и внизъ надъ стрѣлкой и не можетъ поворотить ее въ ту или другую сторону. При помощи этого прибора можно приблизительно провѣрить законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній. Но выбранный нами магнитъ вовсе не похожъ на электромагнитъ, которымъ можно было бы воспользоваться для какой нибудь цѣли. Вы не сдѣлаете электромагнитъ длиннымъ и тонкимъ, съ полюсами-точками, помѣщенными очень далеко отъ предмета, на который они должны дѣйствовать. Наоборотъ вы возьмете электромагнитъ съ большой поверхностью полюсовъ, помѣщенныхъ близко къ арматурѣ.

Вотъ еще случай, который слѣдуетъ нѣкоторому закону, но не закону обратной пропорціональности квадратамъ разстояній. Возьмемъ полосовой магнитъ не очень длинный, и будемъ его при-

Фиг. 66.



*Отклоненіе магнитной стрѣлки, производимое прямымъ магнитомъ, помѣщеннымъ бокомъ.*

ближать съ боку къ магнитной стрѣлкѣ (фиг. 66). При приближеніи его магнитная стрѣлка начинаетъ поворачиваться. Замѣчали-ли вы когда нибудь, что ея отклоненіе обратно пропорціонально квадратамъ разстояній между серединою стрѣлки и магнита? Думаете-ли вы, что отклоненіе будетъ подчиняться этому закону? Нѣтъ, при такомъ расположеніи магнита и стрѣлки, отклоненіе будетъ мѣняться обратно пропорціонально кубамъ, а не квадратамъ разстояній.

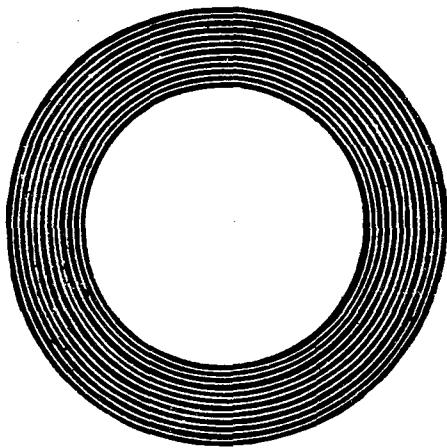
Для случая дѣйствія электромагнита на якорь, помѣщенный на нѣкоторомъ разстояніи, невозможно найти закона въ этомъ родѣ. Дѣйствіе электромагнита на арматуру не пропорціонально ни разстоянію,

ни квадрату его, ни кубу, ни четвертой степени, ни квадратному корню, ни корню степени  $\frac{3}{2}$ , вообще ни прямо, ни обратно не пропорціонально какой либо степени разстоянія. Мы видимъ что, если вліяетъ разстояніе, то вліяетъ и еще кое что. Если бы полюсы были всегда одинаковой силы, если бы

они не вліяли одинъ на другой и не вліяло бы разстояніе между ними, то только тогда можно было бы найти подобный законъ. Если подразумѣвать подъ словомъ «полюсь» извѣстное число «единиць магнетизма», которыя будутъ дѣйствовать на другое число единицъ, то можно въ этомъ случаѣ вычислить силу по закону обратной пропорціональности квадратамъ разстояній. Но это не соотвѣтствуетъ фактамъ, т. к. полюсы не точки и количество магнетизма въ нихъ не есть постоянная величина.

Какъ только желѣзная арматура поднесена къ электромагниту, то электромагнитъ и арматура начинаютъ вліять другъ на друга и число магнитныхъ линій силъ, вытекающихъ изъ полюса, увеличивается, т. к. имъ легче протекать по желѣзу, чѣмъ по воздуху. Разсмотримъ внимательно, что произойдетъ, когда мы введемъ въ цѣпь электромагнита слой воздуха. На фиг. 67 изображена

Фиг. 67.

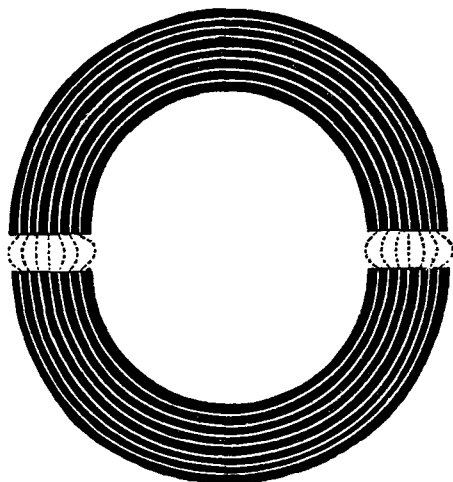


Замкнутая магнитная цѣпь.

замкнутая магнитная цѣпь. Это желѣзное кольцо, подобное тому, о которомъ мы уже говорили. Единственное сопротивление, встрѣчаемое магнитными линіями на своемъ пути, это магнитное сопротивление желѣза, которое, какъ мы знаемъ, не велико. Сравните фиг. 67 съ фиг. 68, которая представляетъ незамкнутую магнитную цѣпь съ слоемъ воздуха между разъединенными концами.

Воздухъ представляетъ изъ себя среду, гораздо менѣе проникаемую для магнитныхъ линій, чѣмъ желѣзо, другими словами, онъ

Фиг. 68.



Разомкнутая магнитная цепь.

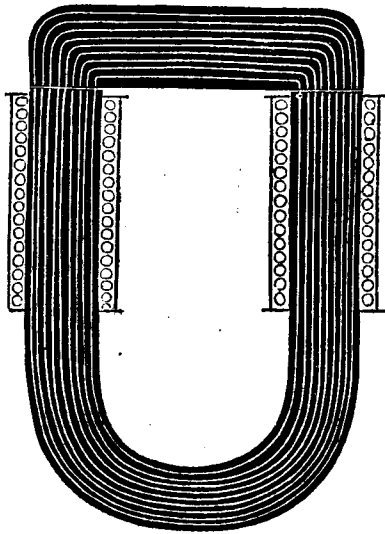
обладать большимъ магнитнымъ сопротивленіемъ. Магнитная проникаемость желѣза, какъ мы знаемъ, мѣняется съ качествомъ желѣза и со степенью его магнитнаго насыщенія. Таблица IV показываетъ, что если желѣзо намагничено такъ, что на одинѣ кв. сантиметръ приходится 16000 линій, то его проникаемость будетъ около 320. Въ этомъ состояніи желѣзо проводитъ магнитныя линіи въ 320 разъ лучше, чѣмъ воздухъ, т. е. желѣзо обладаетъ въ этомъ состояніи магнитнымъ сопротивленіемъ въ 320 разъ меньшимъ, чѣмъ воздухъ. Итакъ сопротивленіе слоя воздуха въ 320 разъ больше, чѣмъ если бы этотъ слой былъ желѣзный. Такъ какъ намагничивающая обмотка и дѣйствующая батарея остаются у насъ тѣ же, что и раньше, то первымъ слѣдствіемъ введенія воздушнаго слоя, будетъ уменьшеніе числа линій, протекающихъ по цѣпи. Но это слѣдствіе само по себѣ вызываетъ второе. Теперь число магнитныхъ линій протекающихъ по желѣзу будетъ меньше, положимъ напримѣръ 12000 вмѣсто 16000. По таблицѣ IV, при  $B = 12000$ , проникаемость желѣза не 320, а

1400, т. е. сопротивленіе воздуха въ 1400 разъ больше, чѣмъ желѣза при этой степени намагничиванія. Такимъ образомъ относительное ослабленіе въ цѣпи слоевъ воздуха этимъ еще увеличивается.

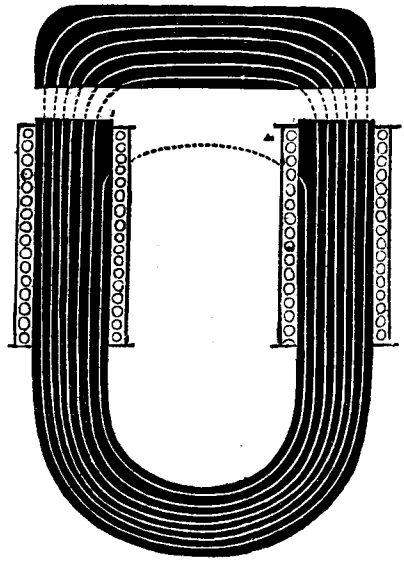
Примѣнимъ эти разсужденія къ настоящему электромагниту. Фиг. 69 представляетъ діаграмму подковообразнаго электромагнита

Фиг. 69.

Фиг. 70.



Электромагнитъ съ прикасающеюся арматурой.



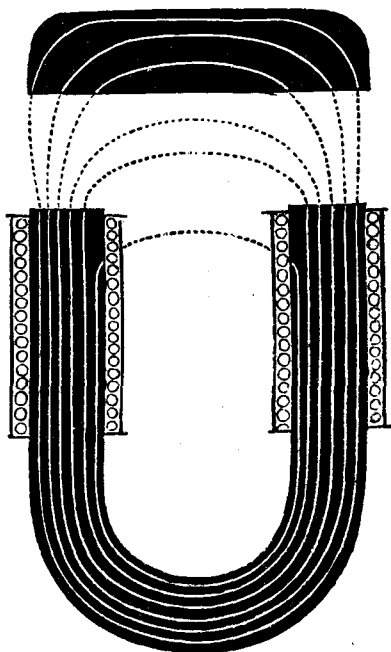
Электромагнитъ съ тонкимъ слоемъ воздуха между арматурой и полюсами.

съ арматурой одного съ нимъ сѣченія, прикасающейся къ нему. По длинѣ желѣза, его сѣченію и таблицѣ проницаемости, можно вычислить какое число амперъ-оборотовъ произведетъ нѣкоторую требуемую силу. Но теперь рассмотримъ тотъ же электромагнитъ, когда между полюсами и арматурой есть маленькій слой воздуха (фиг. 70). Тотъ же самый токъ не дастъ уже столько магнетизма, какъ раньше, потому что существуетъ слой воздуха и, благодаря его сопротивленію, число магнитныхъ линій уменьшается.

Попробуйте, если хотите, объяснить это по старой теоріи полюсовъ. Электромагнитъ имѣетъ два полюса и индуцируетъ на

противуположной ему поверхности арматуры, два другихъ. Если увеличить разстояніе между полюсами и арматурой вдвое, то (предполагая все, что полюсы — точки) магнитная сила будетъ равна четверти прежней и слѣдовательно индуцированные полюсы вчетверо слабѣе. Кромѣ того будутъ слабѣе и полюсы электромагнита. Насколько слабѣе? На этотъ весьма важный вопросъ—законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній не даетъ никакого отвѣта. А разъ неизвѣстно, насколько ослабѣли полюсы электромагнита, мы не можемъ сказать насколько ослабѣли полюсы индуцированные. Законъ обратной пропор-

Фиг. 71.

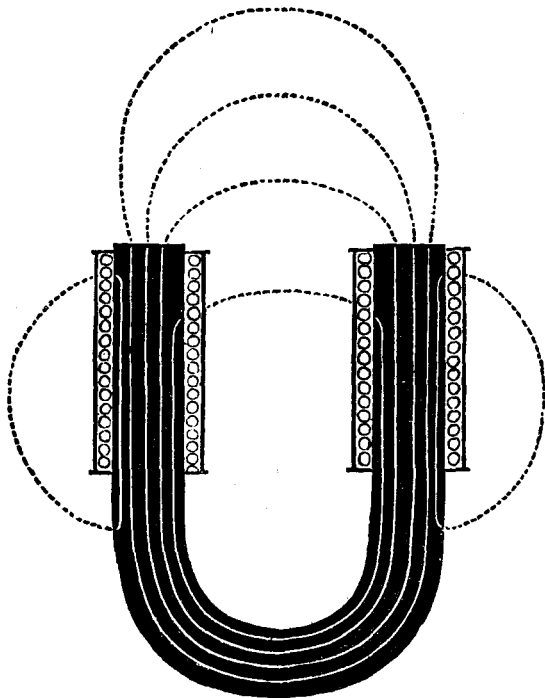


*Электромагнитъ съ арматурой, помѣщенной на нѣкоторомъ разстояніи отъ полюсовъ.*

ціональности квадратамъ разстояній въ случаяхъ подобныхъ данному совсѣмъ не примѣнимъ. Кромѣ того является еще третье

усложненіе. Когда магнитная цѣпь раздѣлена слоемъ воздуха, то надо обращать вниманіе еще на слѣдующее обстоятельство: магнитныя линіи, выходя изъ одной оконечности электромагнита, проходятъ черезъ слой воздуха, желѣзную арматуру, опять черезъ слой воздуха и входятъ въ другую оконечность электромагнита. На этомъ пути они встрѣчаютъ значительное сопротивленіе и потому часть ихъ идетъ прямо черезъ воздухъ отъ одной вѣтви электромагнита къ другой, т. е. происходитъ утечка. Я не говорю, что при другихъ обстоятельствахъ не будетъ утечки. Наоборотъ она всегда будетъ существовать, даже если существуетъ соприкосновеніе арматуры съ электромагнитомъ, и величина ея зависитъ отъ качества прикосновенія. Если увеличить слой воздуха,

Фиг. 72.

*Электромагнитъ безъ арматуры.*

то сопротивленіе пути увеличится, магнетизмъ будетъ слабѣе, а утечка сильнѣе. Фиг. 71 показываетъ это явленіе. Въ этомъ слу-

чаѣ на арматуру будетъ дѣйствовать сила гораздо меньшая, т. к. увеличившееся сопротивленіе, во первыхъ, уменьшило число магнитныхъ линій въ цѣпи, а во вторыхъ потому, что изъ этого меньшаго числа линій сила, вслѣдствіе усилившейся утечки, только часть будетъ проходить черезъ арматуру. Если совсѣмъ убрать арматуру, то линіи пойдутъ черезъ воздухъ отъ одной вѣтви къ другой. Это показано на фиг. 72.

Утечка отъ вѣтви къ вѣтви всегда представляетъ потерю магнитныхъ линій. Поэтому ясно, что изучая слѣдствія введенія въ магнитную цѣпь, между электромагнитомъ и арматурой, слоя воздуха, мы должны изучить и утечку. Вычислить ее очень трудно. Тутъ является масса соображеній и очень трудно отобрать изъ нихъ истинныя и отбросить ошибочныя. О томъ, какъ надо дѣлать вычисления, будетъ сказано въ приложеніи Б къ этой книгѣ, теперь же мнѣ кажется, лучшимъ путеводителемъ намъ будетъ служить опытъ.

Чтобы наглядно разъяснить вопросъ объ утечкѣ, я приведу одинъ опытъ, сдѣланный Стюрженомъ. Онъ взялъ желѣзный мушкетный стволъ и покрылъ его обмоткой. На разстояніи около фута отъ этого трубчатого электромагнита онъ помѣстилъ магнитную стрѣлку и наблюдалъ ея отклоненія. Отклоненіе было около 23 градусовъ. Затѣмъ онъ взялъ желѣзный пруть той же длины, какъ и стволъ и вложилъ его внутрь ствола. Когда былъ вложенъ только конецъ прута, то отклоненіе стрѣлки увеличилось до 37 градусовъ, когда же весь пруть былъ вдвинутъ въ стволъ, то оно опять уменьшилось приблизительно до 23 градусовъ. Что вы думаете на счетъ этого? Когда Стюрженъ удлинилъ сердечникъ, вложивъ часть прута, онъ безсознательно облегчилъ утечку; когда же онъ вдвинулъ весь пруть внутрь, то утечка, которая происходила благодаря добавочной поверхности, перестала существовать. Добавочная площадь сѣченія практически тутъ не имѣетъ значенія. Вы хотите заставить магнетизмъ пройти приблизительно 20 дюйм. по воздуху, сопротивленіе котораго отъ 300 до 1000 разъ больше, чѣмъ сопротивленіе желѣза. Что же сдѣлаетъ увеличеніе сѣченія желѣза вдвое? Вы хотите уменьшить сопротивленіе воздуха, а вложивъ пруть въ трубку, вы не уменьшили разстоянія, которое магнитныя линіи должны пройти по воздуху.



## Опытное исследование утечки.

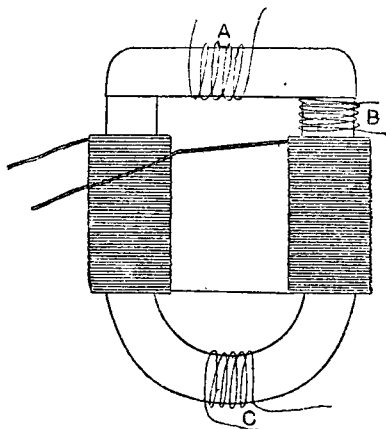
Чтобы изучить лучше вопросъ объ утечкѣ и объ отношеніи утечки къ силѣ, я посвятилъ нѣсколько времени опыту, который производился очень тщательно группою студентовъ Technical College.

Подковообразный электромагнитъ (фиг. 73), сдѣланный изъ мягкаго желѣза, снабженъ обмоткой изъ извѣстнаго числа оборотовъ проволоки и арматурой. Кромѣ того сдѣланы еще 3 маленькія обмотки, каждая изъ пяти оборотовъ: на изгибѣ электромагнита (С), на полюсѣ (В) и по срединѣ арматуры (А). Задача состояла въ томъ, чтобы узнать какая часть магнетизма, который мы создаемъ намагничивающей обмоткой, проходитъ въ арматуру. Въ случаѣ, когда арматура находится на нѣкоторомъ разстояніи, понятно утечка больше. Токъ, индуктируемый въ маленькой обмоткѣ С на изгибѣ, даетъ число магнитныхъ

линій, проходящихъ по желѣзу электромагнита; въ обмоткѣ В у полюса—число линий, которыя не вытекли съ боковъ раньше, чѣмъ дошли до соединенія сердечника съ арматурой; наконецъ токъ въ обмоткѣ А на срединѣ арматуры даетъ число магнитныхъ линий, которыя проходятъ черезъ арматуру и дѣйствуютъ на нее. При помощи баллистическаго гальванометра и этихъ трехъ обмотокъ, мы исследуемъ сколько магнетизма проходитъ въ арматуру при различныхъ разстояніяхъ ея до полюсовъ, и можемъ опредѣлить утечку и сравнить ее съ вычисленіями и съ притяженіемъ на различныхъ разстояніяхъ. Количество магнетизма, проходящее въ арматуру, я могу васъ увѣрить, не подчиняется закону обратной пропорціональности квадратамъ разстояній, но совершенно иному закону, который можно объяснить только, какъ частный случай закона магнитной цѣпи.

Наиболѣе важная часть вычисленій—это вычисленіе процента

Фиг. 73.



Опыты съ магнитной утечкой въ электромагнитѣ.

утечки. Вы получите понятіе о ея значеніи, рассмотрѣвъ приведенные здѣсь результаты этихъ опытовъ. Желѣзный сердечникъ имѣетъ 13 миллиметровъ въ діаметрѣ, обмотка состоитъ изъ 178 оборотовъ. Первое отклоненіе баллистическаго гальванометра при замыканіи или размыканіи тока, измѣряетъ число магнитныхъ линій прошедшихъ сквозь маленькую обмотку, соединенную въ это время съ гальванометромъ. Сила тока, которымъ пользовались, мѣнялась отъ 0,7 до 5,7 ампера. Помѣщая арматуру на различныя разстоянія, дѣлались при каждой силѣ тока 6 наблюдений. Результаты помѣщены въ слѣдующихъ таблицахъ:

Таблица 1  
(съ слабымъ токомъ — 0,7 ампера).

—	А	В	С
При соприкосновеніи . . . . .	12506	13870	14190
Арматура на разстояніи 1 мм. . . . .	1552	2163	3786
» » » 2 » . . . . .	1149	1487	2839
» » » 5 » . . . . .	1014	1081	2028
» » » 10 » . . . . .	676	1014	1690
Арматура удалена . . . . .	—	675	1352

Таблица 2  
(съ болѣе сильнымъ токомъ — 1,7 ампера).

—	А	В	С
При соприкосновеніи . . . . .	18240	19590	20823
Арматура на разстояніи 1 мм. . . . .	2570	3381	5408
» » » 2 » . . . . .	2366	2839	5073
» » » 5 » . . . . .	1352	2299	5949
» » » 10 » . . . . .	811	1352	3381
Арматура удалена . . . . .	—	1308	3041

Таблица 3

*(съ еще больше сильнымъ токомъ — 3,7 ампера).*

—	А	В	С
При соприкосновеніи . . . . .	20940	22280	22960
Арматура на разстояніи 1 мм. . . . .	5610	7568	11831
» » » 2 » . . . . .	4597	6722	9802
» » » 5 » . . . . .	2569	3245	7436
» » » 10 » . . . . .	1149	2704	7098
Арматура удалена . . . . .	—	2366	6427

Таблица 4

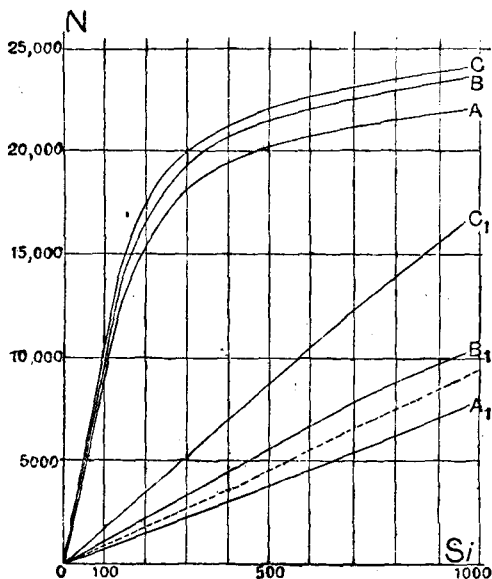
*(съ самымъ сильнымъ токомъ — 5,7 ампера).*

—	А	В	С
При соприкосновеніи . . . . .	21980	23660	24040
Арматура на разстояніи 1 мм. . . . .	8110	10810	17220
» » » 2 » . . . . .	5611	8464	15886
» » » 5 » . . . . .	4056	5273	12627
» » » 10 » . . . . .	2029	4057	10142
Арматура удалена . . . . .	—	3581	9795

На эти числа можно смотрѣть, какъ на численное подтвержденіе того, что грубо изображено на фигурахъ отъ 69 до 72. На фигурѣ 74 изображены кривыя, вычисленныя на основаніи данныхъ, полученныхъ изъ измѣреній — при соприкосновеніи и при лоѣ воздуха въ одинъ миллиметръ. Первый случай изображаютъ кривыя А, В, С, второй — кривыя А, В, С. Пунктирная линия даетъ числа для С при разныхъ силахъ тока, когда арматура удалена.

Разсматривая полученные числа, мы замечаемъ, что наибольшее число магнитныхъ линий, прошедшихъ черезъ изгибъ желѣза

Фиг. 74.



Кривыя намагничиванія, построенныя на основаніи данныхъ таблицъ.

сквозь обмотку  $C$ , было 24040 (поперечное сѣченіе сердечника было около одного кв. сантиметра), причемъ арматура находилась въ прикосновеніи съ электромагнитомъ. Когда она была удалена, то таже самая намагничивающая сила дала лишь 9795 линий. Изъ этихъ 24040, 23660 (или  $98\frac{1}{2}\%$ ) прошло черезъ полюсную поверхность и изъ нихъ 21980 (или  $92\frac{1}{2}\%$  всего числа) черезъ арматуру. Несмотря на то, что арматура была въ прикосновеніи, утечка всетаки была, хотя въ количествѣ  $7\frac{1}{2}\%$ . Удаленіе арматуры на одинъ мил. (т. е.  $\frac{1}{25}$  дюйма) уменьшило сразу магнитный потокъ съ 24040 до 17220. Изъ этого числа только 10810 (или  $61\%$ ) достигли полюсной поверхности и только 8110 (или  $47\%$  общаго числа) прошли черезъ арматуру. Въ этомъ случаѣ утечка равнялась  $53\%$ . При толщинѣ воздушнаго слоя въ 2 мил. и при самомъ сильномъ токѣ, утечка достигала  $65\%$ . Она равнялась  $68\%$  при слоѣ воздуха въ 5 мил. и  $80\%$  при слоѣ въ 10 мил.

Замѣтимъ, что токъ въ 0,7 ампера достаточень, чтобы произвести въ арматурѣ при соприкосновеніи 12506 линій, тогда какъ въ случаѣ, когда она отстоитъ отъ полюсовъ на одинъ мил., токъ въ 8 разъ сильнѣе производитъ въ ней лишь 8110 линій.

Столь громадное уменьшеніе магнитнаго потока въ арматурѣ, происходящее отъ увеличенія сопротивленія и усиленія утечки производимыхъ присутствіемъ слоя воздуха, показываетъ какъ велико сопротивленіе воздушнаго слоя и какъ важно имѣть при проектированіи электромагнитовъ нѣсколько практическихъ правилъ для вычисленія сопротивленія и утечки.

### Вычисленіе утечки.

Вычисленіе магнитнаго сопротивленія, представляемаго опредѣленнымъ количествомъ какого нибудь вещества, теперь сравнительно легко, а благодаря формулѣ проф. Форбеса, мы можемъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ опредѣлить и утечку. Въ приложеніи Б къ этой книгѣ будетъ изложенъ въ извлеченіи методъ Форбеса. Я нашель, однако, что правила, которыя даетъ Форбесъ для вычисленія динамомашинъ не очень удобны для обыкновенныхъ электромагнитовъ и постарался найти болѣе подходящій способъ вычисленій. Чтобы опредѣлить заранѣе вѣроятный процентъ утечки, надо прежде всего различать тѣ магнитныя линіи, которыя съ пользою проходятъ черезъ арматуру и дѣйствуютъ на нее и тѣ, которыя безъ всякой пользы протекаютъ черезъ окружающій воздухъ и ничуть не вліяютъ на силу электромагнита. Сдѣлавъ это различіе, необходимо знать отношеніе между проводимостью полезнаго пути и проводимостью безчисленнаго множества бесполезныхъ путей въ магнитномъ полѣ. Количество линій проходящихъ по каждому изъ этихъ путей пропорціонально ихъ проводимости или обратно пропорціонально ихъ сопротивленію (каждый электрикъ знакомый съ законами развѣтвленія токовъ, безъ сомнѣнія согласится съ этимъ).

Въ электромагнитныхъ вычисленіяхъ часто употребляютъ нѣкоторый коэффициентъ для опредѣленія утечки. Обозначаютъ его черезъ  $v$ , такъ, что если намъ извѣстно число линій, которое намъ нужно провести черезъ арматуру, то въ сердечникѣ электромагнита ихъ должно быть въ  $v$  разъ больше. Если черезъ  $u$  мы

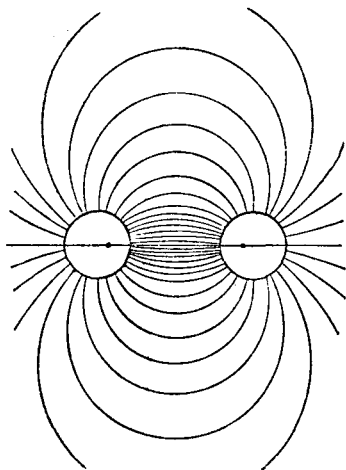
обозначимъ проводимость полезнаго пути, а черезъ  $w$  проводимость всѣхъ путей въ полѣ, по которымъ идетъ разсѣяніе, то величина всего потока будетъ относиться къ величинѣ полезнаго, какъ  $u + w$  относится къ  $u$ . Конфіціентъ  $v$  равняется  $u + w$  дѣленному на  $u$ . Единственное дѣйствительное затрудненіе представляетъ вычисленіе  $u$  и  $w$ . Вообще  $u$  вычислить довольно легко; это обратная величина суммы всѣхъ магнитныхъ сопротивленій полезной части цѣпи отъ полюса до полюса. Въ электромагнитѣ, которымъ пользовались въ только что описанномъ опытѣ, магнитное сопротивленіе полезной части цѣпи состояло изъ 3 частей; сопротивленіе желѣза арматуры и двухъ слоевъ воздуха, слѣдовательно можно примѣнить слѣдующую формулу:

$$\text{Сопротивленіе} = \frac{l_1}{A_1 \mu_1} + \frac{2 l_2}{A_2}$$

если данныя выражены въ сантиметрахъ. Значки 1 и 2 относятся къ желѣзу и воздуху. Если данныя выражены въ дюймахъ, то надо пользоваться формулой:

$$\text{Сопротивленіе} = 0,3132 \left\{ \frac{l_1''}{A_1'' \mu_1} + \frac{2 l_2''}{A_2''} \right\}$$

Но не такъ легко вычислить сопротивленіе (или обратную величину — проводимость) для линій, разсѣивающихся въ магнитномъ полѣ, потому что пути ихъ располагаются очень странными кривыми, идущими отъ полюса до полюса.



Фиг. 75.

Кривыя, показывающія теченіе магнитныхъ линій по воздуху отъ одного цилиндрическаго полюса къ другому.

Фиг. 75 даетъ хорошее изображеніе того, какъ раздѣляются линіи въ полѣ между двумя вѣтвями подковообразнаго электромагнита, сдѣланнаго изъ круглаго желѣза. Для квадратнаго желѣза распределеніе будетъ почти тоже, только линіи будутъ болѣе сгущены у угловъ металла. Правила Форбеса намъ тутъ уже не помогутъ и намъ нужно найти новый способъ разсма-

ривать это явленіе. Задачи о распространеніи тепла, электричества или магнетизма въ тѣлахъ о трехъ измѣреніяхъ не принадлежатъ къ числу самыхъ легкихъ геометрическихъ задачъ. Тѣмъ не менѣе нѣкоторыя изъ нихъ рѣшены и могутъ быть примѣнены къ настоящему случаю. Для примѣра рассмотримъ слѣдующую задачу: какое сопротивленіе представляетъ неопредѣленное количество жидкости (напр. раствора мѣднаго купороса опредѣленной плотности), когда по ней, между двумя мѣдными цилиндрами неопредѣленной длины, проходитъ электрической токъ. Фиг. 75 представляетъ этотъ случай. Кривыя линіи представляютъ линіи распространенія тока. Въ такомъ простомъ случаѣ можно найти точное выраженіе для сопротивленія (или проводимости) слоя въ единицу толщины. Оно зависитъ отъ діаметра цилиндровъ, разстоянія между ними и удѣльной проводимости среды. Оно совершенно не пропорціонально разстоянію между цилиндрами и, если это разстояніе болѣе чѣмъ въ двадцать разъ больше периметра каждаго цилиндра, то фактически сопротивленіе почти не зависитъ отъ него. Оно почти пропорціонально периметру цилиндровъ, исключая случаевъ, когда кратчайшее разстояніе между ними меньше одной десятой периметра каждаго. Сопротивленіе, на единицу длины цилиндра, можетъ быть вычислено по слѣдующей довольно сложной формулѣ:

$$R = \frac{1}{\pi \mu} \cdot \log. \text{ nat. } b$$

гдѣ

$$b = \frac{2a}{b + 2a - \sqrt{b^2 + 4ab}}$$

причемъ  $a$  — діаметръ цилиндровъ,  $b$  — кратчайшее разстояніе между цилиндрами;  $\mu$  — проницаемость, или въ случаѣ электричества, удѣльная проводимость среды.

Теперь я замѣчу одно обстоятельство, которое значительно облегчаетъ вычисленія. Если мы будемъ разсматривать поперечный слой среды данной толщины, то сопротивленіе между двумя частями цилиндровъ, въ этомъ слоѣ находящихся, зависитъ отъ отношенія между окружностями цилиндровъ и кратчайшимъ разстояніемъ между ними, а не зависитъ отъ абсолютныхъ размѣровъ системы. Такъ что, если мы имѣемъ два цилиндра по одному

дюйма въ окружности и на разстояніи одного дюйма другъ отъ друга, то сопротивленіе слоя среды будетъ тоже, что, еслибы цилиндры имѣли одинъ футъ въ окружности и находились бы на разстояніи одного фута другъ отъ друга. Это замѣчаніе значительно облегчаетъ вычисленія. Благодаря моему другу и прежнему ассистенту Вальмслею (Dr. R. Mullineux Walmsley), который самъ сдѣлалъ эти трудныя вычисленія, я могу дать вамъ таблицу магнитныхъ сопротивленій.

Числа первого и втораго столбцевъ таблицы XIV для болѣе удобнаго пользованія изображены графически на фиг. 76.

Фиг. 76.

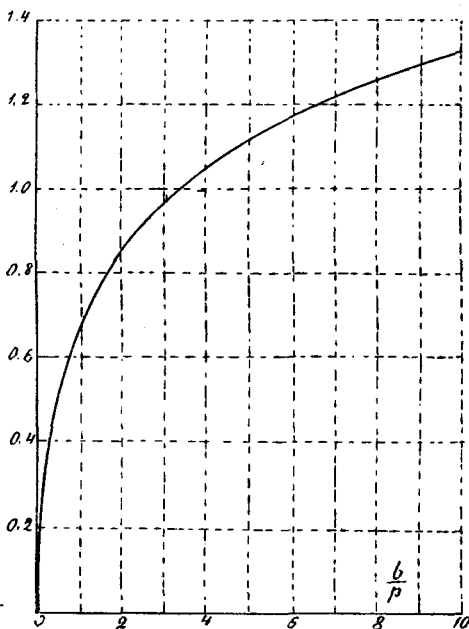


Диаграмма магнитнаго сопротивленія путей утечки.

Чтобы показать какъ пользоваться этой таблицей рассмотрим слѣдующій примѣръ:

*Примѣръ.* Найти магнитное сопротивленіе и проницаемость между двумя желѣзными цилиндрическими стержнями въ одинъ дюймъ въ діаметрѣ и 9 д. длиной, кратчайшее разстояніе между которыми равно  $2\frac{3}{8}$  дюйма.



Таблица XIV.

Магнитное сопротивление воздуха между двумя параллельными  
железными цилиндрами.

$\frac{b}{p}$ Отношеніе кратчайшаго разстоянія между цилиндрами къ периметру.	Магнитное сопротивление въ С.Г.С. единицахъ = магнитодвижущая сила $\frac{1}{p}$ на величину магнитнаго потока. Слой въ 1 дюймъ толщиною.		Магнитное сопротивление при единицѣ дюймъ = амперъ-обороты $\frac{1}{p}$ на величину магнитнаго потока. Слой въ 1 дюймъ толщиною.	
	Сопротивленіе.	Проницаемость.	Сопротивленіе.	Проницаемость.
0,1	0,2461	4,063	0,0771	12,968
0,2	0,3404	2,938	0,1066	9,377
0,3	0,4084	2,449	0,1280	7,815
0,4	0,4628	2,161	0,1450	6,897
0,5	0,5084	1,967	0,1593	6,278
0,6	0,5479	1,825	0,1717	5,825
0,8	0,6140	1,629	0,1924	5,198
1,0	0,6681	1,497	0,2093	4,777
1,2	0,7144	1,400	0,2238	4,571
1,4	0,7550	1,324	0,2365	4,228
1,6	0,7903	1,265	0,2476	4,039
1,8	0,8220	1,217	0,2575	3,883
2,0	0,8511	1,202	0,2667	3,750
4,0	1,0500	0,952	0,3290	3,040
6,0	1,1710	0,854	0,3669	2,726
8,0	1,2624	0,792	0,3955	2,528
10,0	1,3250	0,755	0,4151	2,409

*Примѣчаніе.* Въ этой таблицѣ, за един. длины для цилиндровъ были взяты: одинъ сант. въ столбцахъ второмъ и третьемъ и одинъ дюймъ въ столбцахъ четвертомъ и пятомъ. Потокъ магнитныхъ линій разсматривался какъ въ слой неограниченныхъ размѣровъ въ единицу толщины. Знаки:  $p$  — периметръ цилиндра;  $b$  — кратчайшее разстояніе между цилиндрами. Въ столбцахъ второмъ и третьемъ единица сопротивленія есть сопротивление одного кв. сант. воздуха. Въ столбцахъ четвертомъ и пятомъ единица сопротивленія подобрана такъ (въ этой книгѣ мы ею будемъ и пользоваться), что избѣгается обращеніе амперъ-оборотовъ въ магнитодвижущую силу посредствомъ умноженія на  $\frac{4\pi}{10}$ . Слѣдовательно сопротивление кубическаго дюйма воздуха будетъ  $10 \div 4\pi \div 2,54 = 0,3132$ , а его проницаемость 3,1931.

Здѣсь  $b = 2,375$ ;  $p = 3,1416$ ;  $\frac{p}{b} = 0,756$ . Интерполируя данныя таблицы, найдемъ, что сопротивление и проницаемость для единицы толщины слоя равны: первое — 0,183, вторая — 5,336. Для толщины въ 9 дюймовъ, первое будетъ равно 0,021, вторая 48,02.

Когда такимъ образомъ извѣстна проницаемость между двумя вѣтвями, то можно вычислить и потерю потока, помноживъ найденную проницаемость на *среднюю* величину разности магнитныхъ потенциаловъ на обѣихъ вѣтвяхъ. Если полоса, соединяющая вѣтви сдѣлана изъ хорошаго толстаго желѣза и, если параллельные стержни представляютъ небольшое сопротивление сравнительно съ полезной частью пути линий или сравнительно съ разсѣяннымъ полемъ, то вмѣсто этой средней величины можно взять просто половину амперъ-оборотовъ (помноженную на 1,2566, если за единицу принять сантиметръ).

Этотъ способъ оцѣнки сопротивленія поля, конечно только приближенный. Въ немъ принимается, что утечка происходитъ только въ плоскости разсматриваемыхъ слоевъ. На самомъ дѣлѣ существуетъ всегда нѣкоторая утечка и внѣ этихъ плоскостей. Дѣйствительное сопротивление всегда нѣсколько меньше, а дѣйствительная проницаемость больше, чѣмъ вычисленныя по таблицѣ XIV.

Въ обыкновенныхъ телеграфныхъ аппаратахъ электромагниты таковы, что для нихъ отношеніе  $b$  къ  $p$  мало отличается отъ единицы. Такъ что проницаемость между вѣтвями на дюймъ длины стержней не далека отъ 5,0 или приблизительно вдвое больше проницаемости одного кубическаго дюйма воздуха.

### Приложеніе предыдущихъ свѣдѣній къ частнымъ случаямъ.

Теперь мы въ состояніи объяснить причину одного явленія, замѣченнаго Дю-Монселемъ, которое долгое время приводило меня въ замѣшательство. Дю-Монсель замѣтилъ, что притяженіе арматуры на разстояніи одного миллиметра уменьшается при приближеніи ея съ боку сравнительно съ притяженіемъ при приближеніи прямо къ концамъ полюсовъ двуполюснаго электромагнита, въ отношеніи 19 къ 31. Онъ ничего не говоритъ о формѣ электромагнита и арматуры, но если предположить, что электромагнитъ былъ обык-

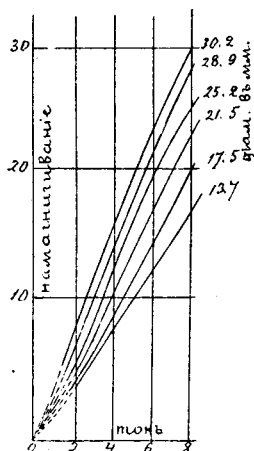
новенной формы съ цилиндрическими стержнями съ плоскими концами, вѣроятно похожій на электромагнитъ, изображенный на фиг. 19, то ясно, что слой воздуха, когда арматура подносилась съ боку былъ, благодаря цилиндрической кривизнѣ стержней, дѣйствительно больше, чѣмъ когда арматура подносилась обыкновеннымъ путемъ. А, если при равныхъ разстояніяхъ сопротивленіе цѣпи больше, то потокъ и слѣдовательно сила слабѣе. Теперь должно быть ясно почему арматура сдѣланная изъ куска желѣза прямоугольнаго сѣченія, притягивается на разстояніи сильнѣе, когда подносится къ полюсамъ плашмя, хотя при соприкосновеніи пристаеетъ крѣпче ребромъ. Въ первомъ случаѣ (при одномъ и томъ же разстояніи между полюсами и арматурой) магнитное сопротивленіе воздушнаго слоя меньше.

Теперь становятся объяснимыми и другія темныя до сихъ поръ явленія, именно наблюденія Ленца, Барлова и другихъ, что наибольшее количество магнетизма, которое можетъ быть сообщено длинной желѣзной полосѣ даннымъ токомъ, (приблизительно) пропорціонально не площади поперечнаго сѣченія полосы, а ея боковой поверхности. Объясненіе этого наблюденія слѣдующее: Магнитная цѣпь въ этомъ случаѣ была плохая, т. е. состояла изъ прямой полосы и возвратный путь былъ черезъ воздухъ. Намагничивающая сила шла главнымъ образомъ не на то, чтобы провести магнитныя линіи черезъ желѣзо (проницаемость котораго относительно велика), но чтобы провести ихъ черезъ воздухъ (который гораздо меньше проницаемъ). Сопротивленія же возвратнаго пути—когда разстояніе между концами полосы постоянно и велико сравнительно съ ея окружностью—очень близко къ пропорціональности съ окружностью, т. е. съ боковой поверхностью полосы.

Другое мнѣніе относительно того же самаго обстоятельства принадлежитъ проф. Мюллеру, который далъ законъ, «что для желѣзныхъ полосъ одинаковой длины, возбуждаемыхъ одинаковой намагничивающей силой, количество магнетизма пропорціонально квадратному корню окружности». Для провѣрки этого закона было сдѣлано много ученыхъ изслѣдованій Дубомъ, Ганнемъ, Фонъ-Фейлицемъ (Von Feilitsch) и другими. Повидимому ни одинъ изъ этихъ экспериментаторовъ не подозрѣвалъ, того, что на самомъ дѣлѣ величину магнитнаго потока опредѣляетъ не желѣзо, но сопротивленіе обратнаго пути по воздуху. Фонъ

Фейличъ построилъ рядъ кривыхъ линій (фиг. 77), изъ которыхъ онъ заключилъ, что законъ пропорціональности корню квадратному изъ длины окружности, можно считать установленнымъ. Эти кривыя, будучи очень близки къ прямымъ, показываютъ, что желѣзо ни разу не намагничивалось до такой степени, чтобы дать изгибъ кривой, который показываетъ приближеніе насыщенія.

Фиг. 77.



*Кривыя намагничиванія для кусковъ круглаго желѣза различнаго діаметра, полученные Фонъ-Фейличемъ.*

Во всѣхъ этихъ опытахъ главное сопротивление намагничиванію составлялъ воздухъ, а не желѣзо. Я вывожу изъ тѣхъ же самыхъ кривыхъ, что намагничиваніе пропорціонально не корню квадратному изъ окружности, но скорѣе самой окружности; въ дѣйствительности углы, подъ которыми поднимаются кривыя, относящіяся къ различнымъ окружностямъ, показываютъ, что количество магнетизма пропорціонально поверхности. Замѣтимъ, что здѣсь мы имѣемъ дѣло не съ замкнутою цѣпью, гдѣ входитъ въ расчетъ поперечное сѣченіе, но съ полосой, гдѣ магнетизмъ для возвращенія отъ одного

конца къ другому можетъ только протекать черезъ воздухъ. Если сопротивление воздушнаго пути отъ одного конца полосы до другаго пропорціонально поверхности, мы должны получить кривыя очень похожія на эти; это и происходитъ. Если мы имѣемъ какое нибудь твердое тѣло, извѣстной геометрической формы, находящееся въ нѣкоторомъ пространствѣ, то проводимость этого пространства (или вѣрнѣе среды, наполняющей это пространство) для магнитныхъ линій протекающихъ черезъ него, практически пропорціонально поверхности тѣла. То же самое происходитъ и для подобныхъ геометрическихъ фигуръ, когда разстояніе между ними велико сравнительно съ ихъ величиной.

Электрики знаютъ, что сопротивление слоя жидкости между двумя мѣдными шариками, или дисками, погруженными въ большую ванну раствора мѣднаго купороса, практически не зависитъ отъ разстоянія между ними, лишь бы только оно было не меньше 10 діаметровъ. Въ случаѣ длинной полосы, мы можемъ разсмат-

ривать разстояніе между ея концами, какъ достаточно большое, чтобы можно было примѣнить этотъ законъ съ достаточнымъ приближеніемъ. Полосы Фонъ-Фейлича не были достаточно длинны, чтобы можно было разсматривать среднюю длину пути магнитныхъ линій отъ одной конечной поверхности до другой, какъ безконечно большую сравнительно съ периферіей. Отсюда отступление отъ пропорціональности съ поверхностію. Его полосы были длиною въ 9,1 сантим., а окружности этихъ шести полосъ были 94,9; 90,7; 79,2; 67,6; 54,9 и 42,9 миллиметра.

### Различіе между длинными и короткими сердечниками.

Телеграфные инженеры долгое время признавали, что длинный двуногій магнитъ обладаетъ большей силой, чѣмъ короткій—двуногій, т. е. длинный двуногій магнитъ можетъ притягивать арматуру, находящуюся на большемъ разстояніи отъ его полюсовъ, чѣмъ короткій-двуногій съ желѣзными стержнями такого-же сѣченія. Не трудно найти причину этого явленія. Благодаря большому сопротивленію слоя воздуха находящагося между полюсами электромагнита и арматурой, и большей утечкѣ, для того, чтобы провести магнитныя линія сквозь этотъ слой, нужна значительная намагничивающая сила. Но большая намагничивающая сила не можетъ быть получена съ короткими стержнями, т. к. тогда длина желѣза недостаточно велика, чтобы на ней помѣстилось все число оборотовъ проволоки, которое въ этомъ случаѣ необходимо. Длинные вѣтви нужны только для того, чтобы на нихъ возможно было помѣстить необходимую для требуемаго тока проволоку.

Мы видимъ теперь какъ опредѣляется длина стержня при проектированіи электромагнита. Онъ долженъ быть настолько длиненъ, чтобы позволить намотать проволоку достаточную для того, чтобы получить, не перегрѣвая ее, то число амперъ-оборотовъ, которое необходимо, чтобы провести требуемое число магнитныхъ линій (исключая утечку) черезъ сопротивленіе полезнаго пути. Мы вернемся еще къ этому предмету, послѣ того, какъ узнаемъ способъ вычислять количество проволоки, которое нужно въ каждомъ случаѣ.

Разница въ свойствахъ короткаго и длиннаго сердечника проявляется еще и въ другомъ случаѣ, — я говорю о подковообразныхъ электромагнитахъ. Уже въ 1840 г. Ричи нашелъ, что гораздо труднѣе намагнитить стальные магниты, нагирая ихъ электромагнитами, если эти электромагниты коротки, чѣмъ, если они достаточно длинны. Конечно онъ сравнивалъ магниты имѣвшіе одну и ту же подъемную силу, т. е. вѣроятно имѣвшіе желѣзо одного и того же сѣченія, намагниченное до одной и той же степени. Это преимущество длинныхъ магнитовъ можно объяснить на основаніи того же принципа, какимъ объяснено и большее дѣйствіе длиннаго двуногаго магнита. Для того, чтобы провести магнетизмъ не только сквозь желѣзную дугу, но и чрезъ нѣчто другое, что обладаетъ меньшей проницаемостью чѣмъ желѣзо — будь это слой воздуха или дуга изъ твердой стали, которая должна удержать часть магнетизма, необходима достаточная магнитодвижущая сила и слѣдовательно нужно имѣть достаточное число оборотовъ проволоки. Для этого же необходимо, чтобы желѣзный сердечникъ не былъ слишкомъ коротокъ. Ричи замѣтилъ тоже, что остаточный магнетизмъ, наблюдавшійся въ дугѣ изъ мягкаго желѣза послѣ того, какъ токъ въ обмоткѣ былъ прерванъ, былъ больше въ длинныхъ магнитахъ, чѣмъ въ короткихъ, изъ этого слѣдуетъ то, что мы теперь, зная магнитныя свойства желѣза и ожидаемъ, именно, что длинные куски желѣза, хотя бы и мягкаго, удерживаютъ нѣсколько больше магнетизма, т. е. помнятъ нѣсколько лучше о томъ, что они были намагничены, чѣмъ короткіе. При дальнѣйшемъ изложеніи мнѣ придется еще говорить о свойствахъ короткихъ кусковъ, которые вовсе не обладаютъ магнитной памятью.

### Другія опытыя данныя.

Я уже нѣсколько разъ ссылался на опытные результаты, добытые въ прежніе года, главнымъ образомъ германскими и французскими тружениками, работы которыхъ погребены на страницахъ иностранныхъ ученыхъ журналовъ. Слишкомъ часто, къ сожалѣнію, сочиненіями германскихъ физиковъ нельзя пользоваться, такъ какъ они мало понятны, вслѣдствіе отсутствія нѣкоторыхъ данныхъ опытовъ. Или не даются измѣренія тока, или пользуются не калибри-

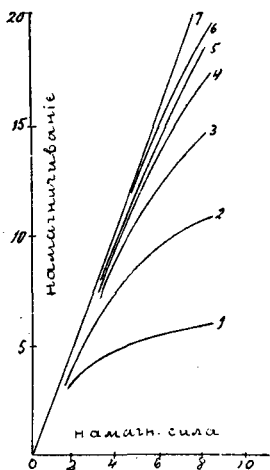
рованнымъ гальванометромъ, или не приводится число оборотовъ проволоки въ обмоткѣ, или же для изложенія результатовъ пользуются устарѣлой фразеологіей. Они сообщаютъ вамъ непременно «магнитный моментъ» своего магнита. А магнитный моментъ электромагнита есть величина, которую никому не нужно знать. Свѣденія о магнитномъ моментѣ вообще совершенно бесполезны и моментъ нужно знать только для полосоваго магнита изъ твердой стали въ томъ случаѣ, когда имъ опредѣляется горизонтальная составляющая земнаго магнетизма. То же что намъ нужно знать относительно электромагнита — это число магнитныхъ линій силъ протекающихъ по цѣпи, а большинство старыхъ изслѣдованій не даютъ возможности узнать его. Тѣмъ не менѣе существуютъ изслѣдованія достойныя изученія, о которыхъ я позволю себѣ только кратко упомянуть. Таковы изслѣдованія Дуба надъ вліяніемъ толщины арматуры, Никлеса и Дю-Монселя — о вліяніи длины ея. Также изслѣдованіе Никлеса о вліяніи разстоянія между вѣтвями подковообразнаго электромагнита.

### Пустотѣлые и сплошные сердечники.

Только теперъ я могу описать нѣсколько опытовъ Фонъ-Фейлича относящихся къ вопросу о трубчатыхъ сердечникахъ, вопросу затронутому Стюрженомъ, Пфаффомъ, Джоулемъ, Никлесомъ и позднѣе Дю-Монселемъ. Чтобы изслѣдовать вопросъ помогаетъ ли на самомъ дѣлѣ увеличенію магнетизма внутреннія части желѣза, Фонъ-Фейличъ приготовилъ серію тонкихъ желѣзныхъ трубокъ, которыя могли скользить одна въ другой. Длина ихъ была 11 сант., окружность же мѣнялась отъ 6,12 сант. до 9,7 сант. Они намагничивались при помощи спирали, по которой можно было пропускать сильный или слабый токъ. Отклоненіе магнитной стрѣлки, производимое ими, замѣчалось и уравнивалось компенсирующимъ стальнымъ магнитомъ; по его положенію опредѣлялась сила и вычислялся магнитный моментъ. Когда трубки одной длины, то намагничиваніе почти пропорціонально магнитному моменту. Прежде всего помѣщалась въ спираль самая широкая трубка и дѣлался рядъ наблюдений; затѣмъ въ нее вдвигалась слѣдующая по величинѣ трубка, и дѣлался другой рядъ наблюдений; затѣмъ вдвигалась третья и т. д. пока не были вдвинуты всѣ

семь трубокъ. Такъ какъ широкая трубка все время не убиралась, то сопротивленіе возвратнаго пути по воздуху, было при всѣхъ опытахъ одно и тоже. Результаты выражены кривыми, представленными на фиг. 78. Нижняя кривая соотвѣтствуетъ случаю,

Фиг. 78.



Кривыя полученныя Фонз-Фейlichemъ для намагничиванія трубокъ.

когда пользовались одной широкой трубкой. Форма этой кривой, которая послѣ перегиба становится почти горизонтальной, показываетъ, что при большой намагничивающей силѣ, трубка почти насыщается. Вторая кривая относится къ случаю, когда пользовались двумя трубками, первой и второй, вдвинутой внутрь первой. При большемъ сѣченіи желѣза, точка насыщенія удаляется. Каждая послѣдующая трубка увеличиваетъ емкость сердечника для магнитныхъ линий, и начало насыщенія становится едва замѣтнымъ, когда употреблены всѣ семь трубокъ, даже при самой сильной намагничивающей силѣ. Всѣ кривыя имѣютъ одинъ и тотъ же начальный наклонъ. Это обстоятельство показываетъ, что при слабыхъ намагничивающихъ силахъ, даже при маломъ количествѣ желѣза, когда оно далеко отъ насыщенія, главное сопротивленіе намагни-

чиванію — это сопротивленіе воздушныхъ путей, которое остается однимъ и тѣмъ же во всѣхъ случаяхъ, не смотря на то было ли сѣченіе желѣза велико или мало.

### Вліяніе формы поперечнаго сѣченія.

Пока дѣло идетъ только о ёмкости для магнитныхъ линий, форма поперечнаго сѣченія безразлична, квадратная будетъ столь-же хороша, какъ и круглая, лишь бы площадь этого сѣченія оставалась одна и та же. Но два другого рода соображенія говорятъ оба въ пользу круглой формы сердечника. Во-первыхъ утечка магнитныхъ линий отъ сердечника къ сердечнику при равныхъ среднихъ разстояніяхъ пропорціональна поверхностямъ ихъ, поверхность же круглаго стержня меньше чѣмъ четырехугольнаго,



при той же площади поперечнаго сѣченія. Кромѣ того и всѣ углы и края увеличиваютъ утечку. Во-вторыхъ количество мѣдной проволоки, которое нужно для каждаго оборота, меньше для круглago сердечника, чѣмъ для сердечника какой бы то ни было другой формы, т. к. изъ геометрическихъ фигуръ кругъ обладаетъ наименьшей периферіей. Предыдущіе опыты Фонъ-Вальтенгофена относятся къ случаю, когда магнитная цѣпь не замкнута, но въ которой наоборотъ магнитныя линіи должны находить себѣ дорогу, протекая по желѣзнымъ сердечникамъ и по воздуху отъ одного полюса до другого. Въ подобныхъ случаяхъ, при слабыхъ степеняхъ насыщенія, поверхность сердечниковъ имѣетъ больше значенія, чѣмъ площадь ихъ поперечнаго сѣченія.

Результаты нѣкоторыхъ опытовъ, описанныхъ въ главѣ о магнитныхъ свойствахъ желѣза, совершенно совпадаютъ съ этими. Позднѣйшіе опыты Бозанке съ кольцами различной толщины вполне рѣшаютъ этотъ вопросъ. Поэтому разъ навсегда можно сказать: во всѣхъ случаяхъ, гдѣ магнитная цѣпь замкнута, или почти замкнута, число магнитныхъ линій, производимыхъ данною намагничивающей силой, пропорціонально поперечному сѣченію желѣзнаго сердечника и не зависитъ отъ формы этого сѣченія. Во всѣхъ же случаяхъ, подобныхъ случаю прямого электромагнита, прямыхъ стержней и т. п., гдѣ проницаемость магнитной цѣпи зависитъ главнымъ образомъ отъ возвратнаго пути магнитныхъ линій черезъ воздухъ, магнитный потокъ, производимый данною намагничивающей силой, мало зависитъ отъ поперечнаго сѣченія желѣза, но больше отъ той легкости, съ которою магнитныя линіи выходятъ въ воздухъ, т. е. онъ почти пропорціоналенъ поверхности.

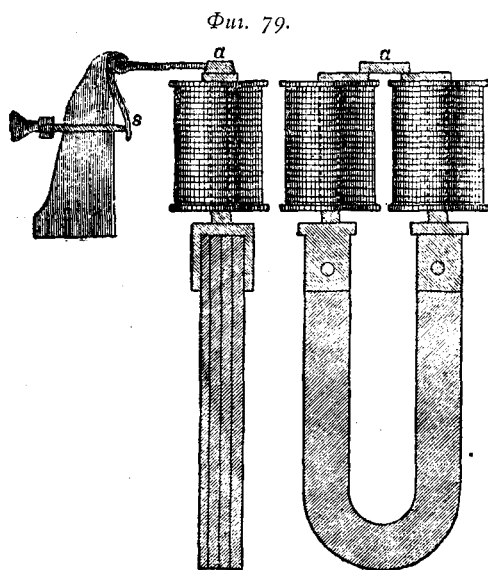
### Вліяніе разстоянія между полюсами.

Другой вопросъ, которымъ занимались Дю-Монсель, Дубъ и Никлесь, былъ вопросъ о разстояніи между полюсами. Дубъ думалъ, что разстояніе между полюсами не имѣетъ никакого вліянія. Никлесь устроилъ особенный приборъ, въ которомъ можно было передвигать два прямыхъ сердечника въ 9 сант. высотой вдоль по желѣзной соединительной полосѣ. Арматура была въ 30 сант. длиною. При токахъ очень слабыхъ Никлесь нашелъ, что наилучшее дѣйствіе было, когда разстояніе между полюсами было 3 сант.;

при токѣ болѣе сильномъ — 12 сант.; при самомъ сильномъ — около 30 сант. Я думаю, что утечка имѣетъ большое вліяніе на эти результаты. Дю-Монсель производилъ тоже разнообразныя опыты, чтобы освѣтить этотъ вопросъ. Проф. Юзъ (Hughes) сдѣлалъ очень важныя изслѣдованія, къ сожалѣнію мало извѣстныя, помѣщенные въ 1862 г. въ «Annales Télégraphiques».

### Изслѣдованія профессора Юза (Hughes).

Въ своихъ изслѣдованіяхъ Юзъ старался найти наилучшую форму электромагнита, наилучшее разстояніе между полюсами и наилучшую форму для катушки, которые способствовали бы быстрому дѣйствію, требуемому для печатающаго телеграфа Юза. Скажемъ нѣсколько словъ о его магнитахъ. Диаграмма (фиг. 79)



Электромагнитъ Юза.

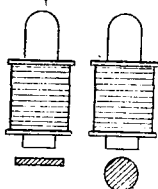
показываетъ форму хорошо извѣстнаго электромагнита Юза. Мнѣ почти стыдно произнести слова «хорошо извѣстный», т. к. хотя на континентѣ всѣ знаютъ, что такое электромагнитъ Юза, тѣмъ не менѣе въ Англии рѣдко кто о немъ слышалъ. Англичане даже не знаютъ, что проф. Юзъ изобрѣлъ особенную форму

электромагнита. Эта форма такова: постоянный стальной магнитъ снабженъ полюсными наконечниками изъ мягкаго желѣза и двумя обмотками на этихъ наконечникахъ. Т. к. я буду еще говорить дальше о механизмахъ, изобрѣтенныхъ Юзомъ, то теперь я обращаю ваше вниманіе только на одну частность. Если нужно, чтобы магнитъ работалъ быстро, то наиболѣе быстрое дѣйствіе получится не тогда, когда обмотка сдѣлана по всей длинѣ магнита, но когда она тѣсно намотана на небольшомъ пространствѣ. Не необходимо, чтобы она была на самомъ полюсѣ. Юзь сдѣлалъ рядъ опытовъ, чтобы опредѣлить какова должна быть длина и толщина полюсныхъ наконечниковъ. Онъ нашелъ, что выгодно не употреблять слишкомъ тонкихъ наконечниковъ, иначе магнетизмъ постояннаго магнита не пройдетъ сквозь желѣзо, благодаря большому его сопротивленію и будетъ, такъ сказать, заглушенъ недостаточной величиной сѣченія. Точно такъ же невыгодно употреблять и слишкомъ толстые наконечники, т. к. при этомъ увеличивается утечка. Окончательно было выведено, что длина должна быть въ шесть разъ больше діаметра или нѣсколько больше. Въ дальнѣйшихъ своихъ изслѣдованіяхъ Юзь употреблялъ болѣе короткій электромагнитъ, не показанный здѣсь, похожій на тотъ, который употребляется въ релэ; толщина арматуры его была 2—3 миллиметра, ширина одинъ сант. и длина 5 сант. Полюсы были наверху, одинъ противъ другаго. Юзь попробовалъ, есть ли какое нибудь преимущество въ томъ, чтобы полюсы были болѣе сближены, и такъ же въ томъ, чтобы сдѣлать арматуру въ 5 сант. длиною. Онъ произвелъ нѣсколько изслѣдованій и результаты выразилъ кривыми, которыя могли быть сравнены и изучены. Его цѣль была изслѣдовать условія, при которыхъ получалась бы наибольшая сила, не для постоянныхъ токовъ, а для такихъ, которые нужны для дѣйствія печатающихъ телеграфныхъ аппаратовъ, т. е. для токовъ, продолжительность которыхъ мѣняется отъ одной до двадцати сотыхъ секунды. Онъ нашелъ, что положительно выгоднѣе укоротить длину арматуры такъ, чтобы она не выступала далеко за полюсы. Такимъ образомъ онъ получилъ магнитную цѣпь, обладавшую нужной притягательной силой, причемъ утечка не увеличивалась сравнительно съ той, которая была бы, если бы арматура выступала больше за полюсы. Онъ также изслѣдовалъ различныя формы арматуры съ различными поперечными сѣченіями.

## Положеніе и форма арматуры.

Въ одномъ изъ сочиненій Дю-Монселя объ электромагнитахъ \*) вы найдете изслѣдованіе арматуръ и ихъ формъ для работы въ различныхъ положеніяхъ. Между прочимъ вы найдете у Дю-Монселя слѣдующій парадоксъ: если вы работаете съ подковообразнымъ электромагнитомъ съ плоскими полюсами и плоской арматурой, то она пристаётъ сильнѣе, если ее приложить къ полюсамъ ребромъ; наоборотъ, если катушка находится на разстояніи, то притяженіе черезъ воздухъ будетъ больше, если она обращена къ полюсамъ бокомъ. Я уже объяснилъ выгоду уменьшенія поверхности соприкосновенія на основаніи приставанія, куда входитъ величина  $V^2$ . Почему же мы получимъ большее притяженіе на разстояніи, помѣстивъ катушку бокомъ относительно полюсовъ? Просто потому, что этимъ мы уменьшаемъ сопротивление теченію магнитныхъ линій, представляемое воздушнымъ слоемъ. Дю-Монсель такъ же изслѣдовалъ разницу между цилиндрической и плоскою катушками и нашелъ, что цилиндрическая (фиг. 80) при-

Фиг. 80.



Опытъ Дю-Монселя  
надъ катушками.

тягивалась съ силою равною только половинѣ той, съ которой притягивалась призматическая катушка, имѣвшая ту же поверхность и помѣщенная на томъ же разстояніи. Разсмотримъ этотъ фактъ на основаніи закона магнитной цѣпи. Положимъ, что полюсы плоскіе. На нѣкоторомъ разстояніи вы имѣете круглую катушку; между ея ближайшей стороной и полюсной поверхностью существуетъ нѣкоторое опредѣленное разстояніе. Если вы на томъ же разстояніи имѣете плоскую катушку съ той же поверх-

ностью и слѣдовательно съ такой же утечкой, почему бы вамъ имѣть большую силу въ этомъ случаѣ, нежели въ предыдущемъ? Мнѣ кажется яснымъ, что въ случаѣ цилиндрической катушки магнитное сопротивление больше, не смотря на равенство окружностей, т. к. только ближайшая часть ея находится на данномъ

\*) La Lumière électrique V. II.

разстояніи, всѣ же остальные гораздо дальше. Такимъ образомъ тотъ выигрышъ, который мы получаемъ, пользуясь плоской арматурой, прямо зависитъ отъ уменьшенія сопротивленія, представляемаго слоемъ воздуха.

### Полюсные наконечники на подковообразныхъ магнитахъ.

Другое изслѣдованіе Дю-Монселя относится къ вліянію полюсныхъ выступовъ или башмаковъ, иначе — полюсныхъ наконечниковъ, на силу подковообразнаго электромагнита. Сердечникъ электромагнита былъ круглый и имѣлъ 4 сант. въ діаметрѣ, его параллельныя вѣтви имѣли по 10 сант. длины и находились другъ отъ друга на разстояніи 6 сант. Башмаки состояли изъ двухъ плоскихъ кусковъ желѣза, которые могли скользить по полюсу и, слѣдовательно, которые можно было сдвигать и раздвигать. Притяженіе плоской арматуры, черезъ воздушный слой въ 2 миллиметра толщиною, измѣнялось уравниваніемъ. При возбужденіи электромагнита извѣстной батареей, было найдено, что сила притяженія наибольшая, когда разстояніе между башмаками приблизительно 15 мил. или  $\frac{1}{4}$  междуполюснаго разстоянія. Были получены слѣдующія числа:

Разстояніе между башмаками въ миллиметрахъ	Притяженіе въ граммахъ
2	900
10	1012
15	1025
25	965
40	890
60	550

При болѣ сильной батарее, электромагнитъ безъ башмаковъ обладалъ притягательной силой въ 885 граммъ, когда же были надѣты наконечники и разстояніе между ними сдѣлано въ 15 мил., то она стала 1195 гр. Если пользоваться лишь однимъ только полюсомъ, то притяженіе, которое равнялось безъ наконечника 88 гр., уменьшилось, послѣ того какъ наконечникъ былъ надѣтъ до 39 граммъ.

## ГЛАВА VI.

### *Правила для устройства обмотокъ изъ мѣдной проволоки.*

Я перехожу теперь къ вопросу объ обмоткѣ изъ мѣдной проволоки, которая дѣлается на электромагнитахъ. Какъ опредѣлить заранее нужное количество мѣдной проволоки и ея толщину?

Первый шагъ къ этому опредѣленію уже сдѣланъ: мы имѣемъ формулы, чтобы вычислить число амперъ-оборотовъ возбуждающаго тока, необходимое въ каждомъ данномъ случаѣ. Остается показать какъ на основаніи этого числа вычислить поверхность катушки и количество проволоки, которое должно ее покрыть. Припомнимъ, что токъ въ 10 амперъ (т. е. той силы, которая употребляется для большихъ лампъ съ дугой), проходя разъ вокругъ желѣза, произведетъ то же намагничивающее дѣйствіе, что и токъ въ одинъ амперъ, проходящій 10 разъ, или токъ въ одну сотую ампера, проходящій тысячу разъ. Въ телеграфіи употребляются обыкновенно токи отъ 5 до 20 тысячныхъ ампера, поэтому проволока употребляемая въ телеграфныхъ электромагнитахъ должна быть очень тонка и дѣлать значительное число оборотовъ. Такъ какъ она тонка и дѣлаетъ много оборотовъ, т. е. длина ея значительна, то она имѣетъ и значительное сопротивленіе. Это не выгодно, но потеря энергіи, происходящая при этомъ, не необходимо большая, чѣмъ еслибы пользовались болѣе толстой обмоткой, съ меньшимъ числомъ оборотовъ, но съ соответственно болѣе сильнымъ токомъ. Разсмотримъ самый простой случай. Положимъ, что катушка уже покрыта извѣстнымъ числомъ оборотовъ проволоки, напримѣръ ста оборотами такихъ размѣровъ, что по ней можно пропустить одинъ амперъ, не нагрѣвая ее слишкомъ сильно. Она будетъ представлять извѣстное сопротивленіе, будетъ поглощать извѣстную часть энергіи тока и будетъ обладать нѣкоторой намагничивающей силой. Положимъ теперь, что катушку вновь затѣмъ обмотали проволокой діаметра въ половину меньшаго, чѣмъ раньше. Что же изъ этого произойдетъ? Если діаметръ новой проволоки въ половину меньше, чѣмъ старой, то площадь сѣченія ся будетъ въ четыре раза меньше, и на катушкѣ будетъ въ

четыре раза больше оборотовъ чѣмъ раньше (предполагая, что изолирующій слой занимаетъ тотъ же процентъ полезнаго объема). Токъ, который можно пропустить по такой проволоцѣ будетъ равенъ четверти того, который проходилъ раньше. Сопротивленіе обмотки будетъ въ шестнадцать разъ больше, т. к. она въ четыре раза тоньше и въ четыре раза длиннѣе, чѣмъ старая проволока. Но потеря энергіи остается прежняя, т. к. она пропорціональна сопротивленію и квадрату силы тока, т. е.  $16 \times \frac{1}{16} = 1$ . Слѣдовательно и нагрѣваніе будетъ тоже самое. Намагничивающая сила тоже останется безъ перемѣны, т. к., хотя токъ въ одну четверть ампера, но онъ проходитъ вокругъ стержня 400 разъ и слѣдовательно число амперъ-оборотовъ не измѣнилось и равняется, какъ и раньше, сотнѣ. Такое же разсужденіе можетъ быть съ успѣхомъ примѣнено и къ любому другому численному примѣру, который можетъ встрѣтиться. Итакъ нѣтъ разницы въ магнитныхъ свойствахъ электромагнитовъ въ зависимости отъ того, толста ли проволока ихъ обмотки или тонка, лишь бы только она соответствовала току въ томъ смыслѣ, чтобы всегда одно и тоже количество ваттовъ терялось на ея нагрѣваніе. Для обмотки, сдѣланной на катушкѣ извѣстнаго объема, намагничивающая сила всегда одна и та же для одной и той же потери на нагрѣваніе. Но потеря на нагрѣваніе увеличивается гораздо скорѣе, чѣмъ намагничивающая сила, т. к. она пропорціональна квадрату силы тока, тогда какъ намагничивающая сила пропорціональна самой силѣ тока. На самомъ дѣлѣ, значитъ, нагрѣваніе опредѣляетъ проволочную обмотку. Предполагая, что токъ будетъ извѣстной силы, мы должны имѣть достаточный объемъ, чтобы получить требуемое число амперъ-оборотовъ, не нагрѣвая проволоку слишкомъ сильно. Хорошо вести вычисленіе такъ: предположить, что токъ будетъ въ одинъ амперъ и вычислить обмотку; затѣмъ, сдѣлавъ это, припомнить, что тотъ же самый объемъ годится и для всякой другой толщины проволоки соответствующей другой силѣ тока. Названіе магнитовъ «магнитъ съ длинной обмоткой» и «магнитъ съ короткой обмоткой» принадлежатъ магнитамъ, на которыхъ сдѣлано много оборотовъ тонкой проволоки или мало оборотовъ толстой. Эти названія надо предпочесть названіямъ: магнитъ «съ большимъ сопротивленіемъ» и съ «малымъ сопротивленіемъ», которыми иногда пользуются для обозначенія магнитовъ

съ двумя родами обмотки, потому что, какъ я показалъ, сопротивленіе обмотки ничуть не вліяетъ на намагничивающую силу. Если данъ объемъ, занятый мѣдью, то для данной плотности тока (напр. 2000 амперовъ на кв. дюймъ поперечнаго сѣченія мѣди) намагничивающая сила будетъ постоянна, какова бы ни была толщина проволоки. Удѣльная проводимость мѣди, сама по себѣ имѣетъ значеніе; чѣмъ лучше проводимость тѣмъ меньше будетъ потеря на нагрѣваніе на квадратный дюймъ. Поэтому нужно всегда предпочитать мѣдь высокой проводимости. Теплота, производимая электрическимъ токомъ, нагрѣваетъ обмотку (и сердечникъ), которая начинаетъ излучать теплоту. Можно принять съ достаточнымъ приближеніемъ, что каждый квадратный дюймъ, нагрѣтый на  $1^{\circ}$  Фар. ( $0,55$  Ц.) выше температуры окружающаго пространства, будетъ излучать  $\frac{1}{225}$  ватта. Поэтому, если поверхность будетъ такая, что будетъ позволять излучать одинъ ваттъ \*) на квадратный дюймъ, то температура этой поверхности подыметъ до  $225^{\circ}$  Фар. (около  $105^{\circ}$  Ц.) выше температуры окружающаго воздуха. Это число опредѣлено по средней способности излученія такихъ веществъ какъ бумага, шелкъ, лакъ и тому подобныхъ, изъ которыхъ часто состоитъ поверхность обмотки.

Для динамомашинъ обыкновенно ставятъ условіемъ, чтобы обмотки не нагрѣвались сильнѣе, чѣмъ на извѣстное число градусовъ выше температуры воздуха. Для электромагнитовъ безопасно дѣлать такъ, чтобы они не нагрѣвались болѣе какъ на  $100^{\circ}$  Фар. ( $40^{\circ}$  Ц.) выше температуры воздуха. Во многихъ случаяхъ можно переступить безъ всякой опасности и эту границу.

Сопротивленіе изолированной проволоки на катушкѣ можетъ быть приблизительно вычислено по слѣдующему правилу: Если  $d$ —диаметръ голой проволоки въ миллиметрахъ,  $D$ —диаметръ про-

---

\*) Ваттъ — есть единица энергіи и равенъ 10 милліонамъ эрговъ въ секунду или  $\frac{1}{746}$  лошадиной силы (horse-power). Токъ силою въ одинъ амперъ, проходя по сопротивленію въ одинъ омъ тратитъ на нагрѣваніе одинъ ваттъ. Ваттъ эквивалентенъ 0,24 калоріямъ въ секунду, т. е. теплота, которая развивается въ секунду тратой одного ватта энергіи достаточна, чтобы нагрѣть одинъ граммъ воды до  $0,24$  Цельзія. Такъ какъ 252 калоріи равны одной Британской (фунтъ, градусъ Фаренгейта) единицѣ тепла, то слѣдовательно теплота, развиваемая 1 ваттомъ достаточна, чтобы нагрѣть 3,48 фунт. воды на  $1^{\circ}$  Фаренгейта въ продолженіи одного часа, т. е. Британская единица тепла эквивалента  $1058$  ваттъ-секундамъ.



волокни уже покрытой изолирующимъ слоемъ, тоже въ миллиметрахъ, то сопротивленіе на кубическій дюймъ обмотки будетъ:

$$\text{Омовъ на кубич. дюймъ} = \frac{960700}{D^2 \times d^2}$$

Мы можемъ вычислить таблицу для проволокъ различной толщины и для различнаго числа амперовъ, которая позволитъ намъ легче вычислять степень нагрѣванія данной обмотки, при пропусканіи по ней тока данной силы, или наоборотъ, мы можемъ вычислить, какой нуженъ объемъ обмотки, чтобы можно было пропустить требуемый токъ, не нагрѣвая ее слишкомъ сильно.

Я приведу такую таблицу, которой мы пользовались въ Finsbury Technical College. Она вычислена подъ моимъ наблюденіемъ однимъ изъ лаборантовъ школы, Томасомъ, которому я весьма благодаренъ за тщательность вычисленій.

Для многихъ цѣлей, напр. для телеграфіи, для устройства электрическихъ звонковъ, употребляются проволоки меньшихъ размѣровъ, чѣмъ тѣ, для которыхъ находятся данныя въ таблицѣ XV предназначенной для вычисленія большихъ электромагнитовъ.

Часто дается грубое правило, согласно которому нужно брать такіе размѣры проволоки, чтобы приходилось  $\frac{1}{1000}$  кв. дюйма на амперъ. Цифры предъидущей таблицы показываютъ, то это правило бессмысленно. Изъ столбцовъ подъ заглавіемъ «1000 амперъ на кв. дюймъ» видно, что если взять проволоку № 18 S. W. G., то по ней будетъ проходить 1,81 ампера; если ея только одинъ слой, то онъ нагрѣется только до  $4,64^\circ$  Фар.; слѣдовательно можно наматывать слой за слоемъ до толщины 3,3 дюйма, не переходя предѣла 1 кв. дюйма на ваттъ для излученія теплоты. Только въ весьма немногихъ случаяхъ требуется обмотка толщиной въ 3,3 дюйма. Рѣдко нужно, чтобы обмотка электромагнита толщиной превосходила  $\frac{1}{2}$  дюйма. Если же слой будетъ толщиной только въ  $\frac{1}{2}$  дюйма, т. е. приблизительно въ  $\frac{1}{7}$  предѣльной толщины 3,3 дюйма, то можно пользоваться токомъ плотностью въ  $\sqrt{7}$  разъ большею, чѣмъ 1000 амперъ на квадратный дюймъ, не выходя изъ границъ безопасности. Итакъ съ обмотками въ  $\frac{1}{2}$  д. толщины можно безопасно употреблять токъ плотностью въ 3000 амперъ на кв. дюймъ.

Положимъ, что мы проектируемъ подковообразный электромаг-

# Таблица XV.

## Калибры проволоки и число амперовъ

РАЗМѢРЫ					ДОПУСКАЕМОЕ ЧИСЛО АМПЕРОВЪ, ВѢРОЯТНОЕ НАГРѢВАНІЕ, И ДОПУСКАЕМАЯ ТОЛЩИНА.											
S. W. G. *)	Диаметръ (въ дюймахъ)	Сѣченіе (въ кв. дюйм.)	Число оборо- товъ на лин. дюймъ (изъ проволоки)	Число оборо- товъ на кв. дюймъ (изъ проволоки)	Для 1000 амп. на кв. дюймъ.			Для 2000 амп. на кв. дюймъ.			Для 3000 амп. на кв. дюймъ.			Для 4000 амп. на кв. дюймъ.		
					A	F	D	A	F	D	A	F	D	A	F	D
22	0,028	0,00062	23,81	624,0	0,616	2,28	4,5	1,230	9,12	1,13	1,85	20,52	0,50	2,46	36,5	0,28
20	0,036	0,0010	20,00	440,0	1,018	3,18	3,9	2,036	12,72	0,87	3,05	28,62	0,43	4,07	50,9	0,24
19	0,040	0,0012	18,52	377,0	1,260	3,56	3,6	2,52	14,24	0,92	3,78	32,04	0,41	5,04	57,0	0,23
18	0,048	0,0018	16,13	286,0	1,810	4,64	3,3	3,62	18,56	0,83	5,43	41,76	0,37	7,24	74,2	0,21
17	0,056	0,0024	14,28	224,0	2,400	5,47	3,2	4,80	21,90	0,79	7,20	49,20	0,35	9,60	87,5	0,19
16	0,064	0,0032	12,83	181,0	3,200	6,57	3,0	6,40	26,30	0,74	9,60	59,10	0,33	12,80	105,1	0,18
15	0,072	0,0040	11,63	149,0	4,000	7,40	2,9	8,00	29,60	0,72	12,00	66,60	0,32	16,00	118,4	0,17
14	0,080	0,0050	10,64	124,0	5,000	8,46	2,8	10,00	33,80	0,70	15,00	76,30	0,31	20,00	135,4	0,17
13	0,092	0,0060	9,44	98,2	6,600	9,97	2,7	13,20	39,90	0,67	19,80	89,70	0,30	26,40	159,5	0,16
12	0,104	0,0085	8,48	79,1	8,500	11,53	2,6	17,00	46,10	0,65	25,50	103,80	0,29	34,00	184,4	0,16
11	0,116	0,0105	7,69	65,0	10,500	12,80	2,5	21,00	57,20	0,63	31,50	115,20	0,28	42,00	204,8	0,16
10	0,128	0,0128	7,04	54,5	12,800	14,30	2,4	25,60	57,20	0,61	38,40	128,70	0,27	51,20	228,8	0,15
9	0,144	0,0163	6,33	44,1	16,300	16,40	2,4	32,60	65,60	0,60	48,90	147,60	0,27	65,20	262,4	0,15
8	0,160	0,0201	5,74	36,3	20,700	18,40	2,3	40,20	73,60	0,59	60,30	165,60	0,26	80,40	294,4	0,15
7	0,176	0,0243	5,26	30,4	24,300	20,40	2,3	48,60		0,58			0,26	97,20	326,4	0,15
кабели									81,60		72,90	183,60				
7/22	0,840	0,0043	9,62	101,8	4,30	6,73	4,0	8,6	26,9	0,99	12,9	24,6	0,44	17,2	107,7	0,25
7/20	0,108	0,0072	7,81	67,1	7,13	8,94	3,7	14,3	3,57	0,92	21,4	80,5	0,48	28,5	143,0	0,23
7/18	0,144	0,0128	6,09	40,8	12,70	12,40	3,4	25,4	49,6	0,83	38,1	111,6	0,39	50,8	198,4	0,21
7/16	0,192	0,0229	5,10	28,6	22,90	17,20	3,2	45,8	68,7	0,79	68,7	154,5	0,35	91,6	274,7	0,20
7/15	0,216	0,0289	4,27	20,1	28,90	19,50	3,1	57,8	78,0	0,78	86,7	175,4	0,34	115,6	311,8	0,20
7/14	0,240	0,0356	3,87	16,5	35,60	21,80	3,1	71,2	87,1	0,76	106,8	195,9	0,34	142,4	348,3	0,19
7/13	0,270	0,0462	3,38	12,6	46,20	24,70	3,0	92,4	98,8	0,74	138,6	222,3	0,33	184,8	395,2	0,19
7/12	0,300	0,0595	3,01	9,97	59,50	28,50	2,9	179,0	114,0	0,72	178,5	256,5	0,32	238,0	456,0	0,18

\*) Standart Wire Gauge—калибры узаконенные въ Англіи.

Числа въ столбцѣ А показываютъ число амперовъ, которое проходить по проволоцѣ.

Числа въ столбцѣ F показываютъ число градусовъ Фаренгейта, на которые нагрѣется обмотка, если она состоитъ только изъ одного слоя, предполагая, что теплота излучается только наружной поверхностью обмотки. Эти цифры были вычислены при помощи слѣдующаго измѣненія формулы Форбеса:

Возвышеніе температуры (въ градусахъ Фар.) =  $225 \times$  число ваттовъ потерянныхъ на кв. дюймъ.

=  $159 \times$  площадь сѣченія  $\times$  число оборотовъ на кв. д. (при 1000 ампер. на кв. дюймъ).

Цифры въ столбцѣ D означаютъ толщину въ дюймахъ, до которой можетъ быть доведена обмотка, чтобы на каждый квадрат. дюймъ излучающей поверхности терялся одинъ ваттъ, причемъ во вниманіе принимается только внѣшняя излучающая поверхность катушки.

Правило для вычисленія кабеля изъ 7-ми проволоцъ: Диаметръ кабеля =  $1,134 \times$  диаметръ эквивалентнаго круглаго кабеля.

Цифры въ столбцѣ: «Число оборотовъ на 1 линейный дюймъ» вычислены для проволоки съ бумажнымъ изолирующимъ слоемъ толщиной равной средней толщинѣ изолирующихъ слоевъ, употребляемыхъ для проволоцъ различныхъ диаметровъ, т. е. къ диаметру прибавляется 14 тысячныхъ дюйма для круглой проволоки (отъ № 22) и 20 для сложнаго или квадратнаго кабеля.

Цифры въ столбцѣ: «Число оборотовъ на кв. дюймъ» вычислены изъ предыдущихъ съ прибавкою 10%. Сопротивленіе (въ омахъ) обмотки изъ проволоки, калибръ которой  $d$  миллим. безъ обмотки и  $D$  мил. съ обмоткой, можетъ быть приблизительно вычислено по формулѣ:

$$\text{Омы} = 960700 \frac{v}{D^2 d^2}$$

Гдѣ  $v$  — объемъ обмотки въ кубическихъ дюймахъ.

Данныя относительно размѣровъ проволоцъ различныхъ калибровъ были обязательно доставлены Лондонской Electric Wire Company.

нить съ сердечникомъ въ одинъ д. въ діаметрѣ и, разсмотрѣвъ работу, которую онъ долженъ производить, мы нашли, что необходима намагничивающая сила въ 2400 амперь-оборотовъ. Кромѣ того положимъ, что поставлено условіе, что обмотка не должна нагрѣваться болѣе, чѣмъ на  $50^{\circ}$  Фар. выше температуры окружающаго воздуха. Какой требуется объемъ мѣдной проволоки? Предположимъ сначала, что токъ будетъ въ одинъ амперь; намъ нужно тогда 2400 оборотовъ проволоки, по которой будетъ проходить токъ въ одинъ амперь. Если мы возьмемъ проволоку № 20 S. W. G. и сдѣлаемъ обмотку въ  $\frac{1}{2}$  д. толщиной, то получимъ 220 оборотовъ на дюймъ длины обмотки. Такъ что обмотка въ 11 д. длиной и немного болѣе  $\frac{1}{2}$  д. (10 слоевъ) толщиной даетъ 2400 оборотовъ. Таблица XV показываетъ, что, если по этой проволоцѣ проходитъ 1,018 ампера, то она нагрѣется до  $225^{\circ}$  Фар. при толщинѣ обмотки въ 3,9 д. Если же обмотка толщиной въ  $\frac{1}{2}$  д., то она нагрѣется на  $30^{\circ}$  Фар., а при одномъ амперѣ, безъ сомнѣнія, еще меньше. Это слишкомъ хорошо. Попробуемъ слѣдующую болѣе тонкую проволоку. По проволоцѣ № 22 S. W. G. при 2000 амперь на кв. дюймъ, проходитъ 1,23 ампера и она нагрѣвается до  $225^{\circ}$  Фар., если толщина обмотки 1,13 дюйма. Чтобы она нагрѣлась только до  $50^{\circ}$  Фар., то толщина обмотки не должна быть больше  $\frac{1}{4}$  дюйма; но, если по ней проходитъ только одинъ амперь, то она можетъ быть нѣсколько больше, скажемъ 14 слоевъ. Чтобы имѣть 2400 оборотовъ, обмотка должна будетъ имѣть 7 д. длины. поперечное сѣченіе обмотки будетъ около 3,85 кв. дюйма, и объемъ ея 26,95 кв. д. Двѣ катушки, каждая длиною въ  $3\frac{1}{2}$  д. и глубиною въ 0,65 д., чтобы вмѣстить 14 слоевъ, будутъ вполне годиться для того, чтобы на нихъ помѣстить эту обмотку.

Зная отношенія между излучающей способностью поверхности, закономъ нагрѣванія токомъ и предѣльной температурой, мы ясно можемъ видѣть, какъ мало подтверждается правило, которое дается очень часто, именно, что нужно дѣлать обмотку толщиной равною діаметру желѣзнаго сердечника. Сопоставимъ это съ тѣмъ фактомъ, что во всѣхъ случаяхъ, когда утечка незначительна. число амперь-оборотовъ, которое намагнититъ тонкій сердечникъ до извѣстной степени, намагнититъ до той же самой степени и сердечникъ всякой толщины, лишь бы онъ былъ одной длины

съ первымъ. Изъ этого видно насколько невѣрно правило, требующее увеличивать толщину обмотки пропорціонально діаметру желѣзнаго сердечника.

Для тѣхъ случаевъ, когда довольствуются небольшимъ приближеніемъ, могутъ быть даны болѣе простыя правила. Тутъ существуютъ два случая.

*Случай 1. Предполагается, что утечка незначительна.* Предположимъ, что  $V=16000$ , тогда  $H=50$  (см. таблицу III). Слѣдовательно число амперъ-оборотовъ на сантиметръ желѣза будетъ 40, или на дюймъ желѣза 102, потому что  $H$  въ 1,2566 разъ больше, чѣмъ число амперъ-оборотовъ на сантиметръ. Если толщина обмотки не превзойдетъ  $\frac{1}{2}$  дюйма, то мы можемъ допустить безъ сильнаго перегрѣванія 4000 амперъ на кв. дюймъ. Эти 4000 амперъ-оборотовъ будутъ требовать обмотку длиною въ 2 дюйма, т. к. каждый дюймъ ея выдерживаетъ безъ сильнаго нагрѣванія 2000 амперъ-оборотовъ. Слѣдовательно каждый дюймъ длины обмотки въ  $\frac{1}{2}$  д. толщиной будетъ достаточенъ, чтобы намагнитить 20 д. длины желѣза до желаемой степени.

*Случай 2. Предполагается, что утечка равна 50%. Положимъ,* что  $V$  въ слоѣ воздуха  $= H = 8000$ . Чтобы провести это число линій надо 6400 амперъ-оборотовъ на сантиметръ воздуха или 16250 на дюймъ его. Если толщина обмотки не превосходитъ  $\frac{1}{2}$  д., то каждый дюймъ длины желѣза выносить 2000 амперъ-оборотовъ. Слѣдовательно нужна будетъ обмотка въ 8 д. длиною и  $\frac{1}{2}$  д. толщиной на каждый дюймъ воздуха, намагниченаго до требуемой степени.

## Обмотки для постояннаго напряженія и для постоянной силы тока.

Устраивая обмотку на электромагнитѣ, который будетъ употребляться въ какой нибудь системѣ электрическаго освѣщенія, надо помнить, что правила для вычисленія ея совершенно различны въ зависимости отъ того, какова система распределенія электричества. Если распределеніе производится при *постоянномъ напряженіи*, какъ это дѣлается для лампъ съ накаливаніемъ, обмотка электромагнитовъ подчиняется тѣмъ же правиламъ, какъ и обмотки вольтметровъ. Если распределеніе съ *постояннымъ*

токомъ, которымъ пользуются при лампахъ съ дугой, соединенныхъ послѣдовательно, то при устройствѣ обмотки надо обратить вниманіе на силу тока, который будетъ проходить по ней. Въ этомъ случаѣ число оборотовъ будетъ всегда одно и то же, не смотря на то, будетъ-ли проволока толста или тонка. Если мы предположимъ, что безопасный предѣлъ температуры на  $90^{\circ}$  Фар. выше температуры окружающаго воздуха, то наибольшій токъ, которымъ можно пользоваться для даннаго электромагнита, выражается формулой:

$$\text{Наибольшее число амперъ} = 0,63 \sqrt{\frac{s}{r}},$$

гдѣ  $s$  — число кв. дюймовъ въ поверхности обмотки, а  $r$  — ея сопротивление въ омахъ.

Такимъ же образомъ, если электромагнитъ будетъ помѣщаться въ отвѣтвленіи, имѣемъ:

$$\text{Наибольшее число вольтъ} = 0,63 \sqrt{s \cdot r}$$

Намагничивающая сила обмотки, приспособленной для даннаго числа вольтъ, не зависитъ отъ длины проволоки, но только отъ ея толщины, тѣмъ не менѣе, чѣмъ длиннѣе проволока, тѣмъ меньше будетъ потеря на нагрѣваніе. Наоборотъ, если распределеніе идетъ при постоянномъ числѣ амперъ, то намагничивающая сила не зависитъ отъ толщины проволоки, а только отъ ея длины, но чѣмъ больше толщина, тѣмъ меньше будетъ потеря на нагрѣваніе.

### Различныя правила для обматыванія.

Для того, чтобы достигнуть одного и того же предѣльнаго нагрѣванія съ катушками одинаковыхъ размѣровъ, но обмотанныхъ проволоками различныхъ калибровъ, нужно, чтобы поперечное сѣченіе проволоки мѣнялось вмѣстѣ съ токомъ, который по ней проходитъ, т. е. другими словами плотность тока (число амперъ на кв. дюймъ) должна быть одна и та же въ каждомъ случаѣ. Таблица XV даетъ число амперъ въ проволокахъ различныхъ размѣровъ для четырехъ плотностей тока.

Чтобы довести до одной и той же температуры двѣ обмотки одинаковой формы, но различныхъ размѣровъ, въ которыхъ калибръ проволоки подобранъ такъ, что и въ большой обмоткѣ и

въ малой то же число оборотовъ, надо, чтобы сила тока была пропорціональна квадратному корню изъ кубовъ линейныхъ размѣровъ.

Вильямъ Томсонъ далъ полезное правило для вычисленія обмотокъ для электромагнитовъ одного типа, но различныхъ размѣровъ. Подобные между собой желѣзные сердечники произведутъ равную напряженность магнитнаго поля въ точкахъ, одинаково расположенныхъ относительно ихъ, если они одинаковымъ образомъ обмотаны проволокой, длина которой пропорціональна квадратамъ ихъ линейныхъ размѣровъ и, если они возбуждаются одинаковымъ токомъ.

Для того, чтобы намагнитить до одной и той же степени насыщенья нѣсколько электромагнитовъ одинаковой формы, но различныхъ размѣровъ, нужны числа амперъ-оборотовъ, пропорціональныя линейнымъ размѣрамъ этихъ электромагнитовъ.

### Различные способы обматыванія.

Разновременно были предлагаемы различные способы обматыванія электромагнитовъ, между ними одинъ, состоящій въ употребленіи проволоки, постепенно мѣняющей свою толщину. Вильямъ Томсонъ показалъ, что есть значительная выгода, дѣлая катушки для гальванометровъ, употреблять для внутреннихъ слоевъ малаго діаметра—тонкую проволоку, для среднихъ—болѣе толстую, а для наружныхъ—самую толстую. Но изъ того, что употребленіе такой утолщающейся проволоки удобно для гальванометровъ не слѣдуетъ, чтобы она была удобна и для электромагнитовъ. Устраивая электромагниты необходимо стараться избавиться отъ нагрѣванія. Очевидно, что внѣшніе слои находятся въ лучшихъ условіяхъ для потери теплоты, чѣмъ внутренніе. Опыты тоже показываютъ, что внутренніе слои обмотки всегда достигаютъ болѣе высокой температуры, чѣмъ внѣшніе. Поэтому, если внутренніе слои сдѣлать еще изъ болѣе тонкой проволоки, обладающей большимъ сопротивленіемъ и большимъ стремленіемъ нагрѣваться, эта разность въ нагрѣваніи станетъ еще рѣзче. Поэтому, я думаю, что для электромагнитовъ рациональнѣе дѣлать обмотку въ обратномъ порядкѣ, т. е. употреблять для внутреннихъ слоевъ толстую проволоку, а для внѣшнихъ—тонкую.

Еще другой способ обматыванія состоитъ въ томъ, что употребляютъ нѣсколько проволокъ, соединенныхъ параллельно, причемъ для каждаго слоя употребляется особая проволока и концы проволокъ соединяются вмѣстѣ на обѣихъ оконечностяхъ катушки. Въ магнитномъ отношеніи этотъ способъ обматыванія не представляетъ никакого преимущества надъ обмоткой изъ одной толстой проволоки соответствующаго сѣченія. Но недавно было открыто, что обмотка изъ нѣсколькихъ проволокъ обладаетъ свойствомъ уменьшать искру, которая происходитъ при размыканіи цѣпи.

Другой способъ, предложенный въ 1876 году Викторомъ Серенемъ состоитъ въ томъ, что на изолированный лакомъ желѣзный сердечникъ, наматывается мѣдная плоская лента въ видѣ спирали. Лента тоже покрывается предварительно лакомъ.

### Обмотка съ перегородками.

Для одного частнаго случая выгодно дѣлать обмотку секціями, т. е., помѣщая на нѣкоторыхъ промежуткахъ вдоль катушки перегородки и наматывая проволоку такъ, чтобы сначала заполнить пространство между двумя перегородками, а потомъ уже перейти къ наматыванію на сосѣднемъ пространствѣ, между двумя слѣдующими перегородками. Такую обмотку полезно устраивать въ случаяхъ, когда она должна служить для токовъ высокаго напряженія. Въ случаѣ, когда употребляются токи весьма высокаго напряженія, изолирующія вещества подвергаются весьма большому напряженію и они могутъ быть пробиты искрой. При наматываніи проволоки между перегородками, никогда не бываетъ между двумя сосѣдними оборотами проволоки такой значительной разности потенциаловъ, которая была бы, если бы обмотка была сдѣлана сразу вдоль всей длины катушки. Поэтому изолирующее вещество между двумя смежными слоями проволоки не подвергается такому сильному напряженію и меньше вѣроятія, чтобы обмотка была повреждена искрой.

### Неудовлетворительные способы обматыванія.

Интересно замѣтить, какія ошибочныя правила предлагаются отъ времени до времени для вычисленія обмотокъ электромагни-

товъ. Въ 1869 году нѣкто Литтль (Lyttle) взялъ патентъ на слѣдующій способъ обматыванія: первый слой надо намотать какъ обыкновенно, затѣмъ привести проволоку обратно къ концу, гдѣ начинается обмотка и намотать второй слой и т. д. При этомъ всѣ обмотки будутъ или лѣвыя или правыя, а не будутъ по очереди то лѣвыя, то правыя, какъ обыкновенно. Литтль объявилъ, что такой способъ обмотки даетъ болѣе сильное дѣйствіе. Въ 1873 г. Бриссонъ (Brisson) вновь изобрѣлъ этотъ же способъ обматыванія и торжественно опубликовалъ его. Но преимущества этого способа были опровергнуты Присомъ, который нашелъ, что онъ только затрудняетъ обматываніе.

Другое очень распространенное ошибочное мнѣніе состоитъ въ томъ, что будто бы электромагнитъ, въ которомъ проволока дурно изолирована, сильнѣе того, въ которомъ она изолирована хорошо. Эта ошибка происходитъ отъ неумѣлаго пользованія электромагнитами съ длинной и тонкой обмоткой (съ большимъ сопротивленіемъ), при батарее, состоящей изъ небольшого числа элементовъ (съ слабой электродвигательной силой). Въ этомъ случаѣ, если между нѣсколькими оборотами проволоки произойдетъ короткое замыканіе, токъ усилится и намагничивающая сила можетъ тоже усилиться. Но научный способъ помочь дѣлу состоитъ въ томъ, чтобы снабдить электромагнитъ обмоткой изъ проволоки соотвѣтствующей толщины, или въ томъ, чтобы взять другую батарею, обладающую болѣею электродвижущей силой.

### Изолированіе проволокъ.

Свѣдѣнія, касающіяся вопроса объ изолированіи проволокъ, и изолированія слоевъ обмотки другъ отъ друга, были даны на стр. 60—64, въ статьѣ о свойствахъ матеріаловъ.

### Опредѣленіе электромагнитовъ.

Часто опредѣляютъ электромагнитъ, указывая сопротивленіе, которое должна имѣть обмотка. Это опредѣленіе не имѣетъ смысла, т. к. сопротивленіе не имѣетъ вліянія на намагничиваніе сердечника. Лучше давать число амперъ-оборотовъ и предѣльную температуру для нагрѣванія. Или же можно давать число ваттовъ



энергіи, которое получаетъ магнитъ. Хорошо бы было, если бы электрики выбрали какую нибудь величину, по которой можно было бы сравнивать электромагниты. Она должна была бы зависѣть отъ произведенія магнитодвижущей силы на магнитный потокъ, поглощенія энергіи въ ваттахъ, возвышенія температуры и т. д.

### Правило для любителей относительно сопротивленія электромагнитовъ и батарей.

Занявшись вопросомъ объ обмоткахъ магнитнаго сердечника, я не могу пройти молчаніемъ одно правило, которое предлагается довольно часто и которое я старался изгнать со страницъ нашихъ учебниковъ правило, согласно которому вы должны терять 50% употребленной энергіи. Я говорю о правилѣ, которое гласитъ, что вы получите наибольшее дѣйствіе въ электромагнитѣ, если вы подберете его обмотку такъ, чтобы ея сопротивленіе равнялось бы внутреннему сопротивленію батареи, которую вы употребляете; или, если у васъ есть электромагнитъ съ даннымъ сопротивленіемъ обмотки, то нужно употреблять батарею съ такимъ же внутреннимъ сопротивленіемъ. Какой же смыслъ этого правила? Оно совершенно бессмысленно во всѣхъ случаяхъ, исключая двухъ, именно, во первыхъ, когда вы имѣете опредѣленный объемъ обмотки, который вы не можете измѣнить и, во вторыхъ, когда дано разъ на всегда опредѣленное число элементовъ въ батареѣ. Когда нужно работать съ постояннымъ числомъ элементовъ и нужно получить наибольшее дѣйствіе, во внѣшней цѣпи, то совершенно вѣрно, что надо, для постоянного тока, сгруппировать эти элементы такъ, чтобы внутреннее сопротивленіе батареи равнялось бы сопротивленію внѣшней цѣпи, въ которой она будетъ работать. Въ этомъ случаѣ дѣйствительно половина энергіи батареи будетъ потеряна, но дѣйствіе будетъ наибольшее. Это правило очень хорошо для любителей, т. к. они не заботятся объ экономичности работы; они не обращаютъ вниманія ни на чрезмѣрное нагрѣваніе батареи, ни на то, что теряется много силы, ни на многія другія обстоятельства этого рода. Все, что они желаютъ, это получить наивозможно большее дѣйствіе въ продолженіи короткаго времени съ неболь-

шимъ числомъ элементовъ. Итакъ правило, требующее уравниванія внутренняго и внѣшняго сопротивленія — правило чисто любительское. Для какихъ же нибудь серьезныхъ работъ, оно безусловно негодится. Если же приходится имѣть дѣло съ токами, которые быстро замыкаются и размыкаются, то оно, кромѣ того, совершенно невѣрно. Какъ мы сейчасъ увидимъ, оно невѣрно для всѣхъ приборовъ, подобныхъ электрическому звонку, индукціонной катушкѣ, быстро работающему телеграфному аппарату, вообще для всѣхъ приборовъ, гдѣ употребляется токъ съ большимъ числомъ прерываній. Какова же истинная точка зрѣнія? Въ каждомъ данномъ случаѣ нужно обращать вниманіе ни на электромагнитъ, ни на батарею, а на *линію*. Имѣя лінію, вы должны имѣть и соотвѣтствующіе батарею и электромагнитъ. Если лінія коротка и толста, напр. нѣсколько футовъ хорошей мѣдной проволоки, то нужна и батарея съ большой поверхностью (т. е. одинъ или нѣсколько большихъ элементовъ) и короткая и толстая обмотка на электромагнитѣ. Если имѣете тонкую длинную лінію, то вамъ нужна и батарея съ малой поверхностью (т. е. длинный рядъ маленькихъ элементовъ) и длинная тонкая обмотка на электромагнитѣ. Слѣдовательно наше правило таково: для короткой толстой лініи—батарею съ малой поверхностью и короткую толстую обмотку; для длинной тонкой лініи, батарею съ большой поверхностью и длинную тонкую обмотку.

Но это правило не исчерпываетъ всего вопроса, т. к., кромѣ сопротивленія цѣпи, тутъ нужно принять во вниманія еще кое что другое. Когда вы пользуетесь часто прерывающимся токомъ, то вы должны помнить, что токъ зависитъ не столько отъ сопротивленія, сколько отъ инерціи цѣпи—ея электромагнитной инерціи. Впослѣдствіи я обращаю ваше вниманіе на это обстоятельство, теперь же оставляю вопросъ о батареяхъ и займусь другимъ

### Вліяніе размѣровъ обмотки.

Зная, что намагничивающая сила, съ которой дѣйствуетъ обмотка на стержень, находящійся внутри ея, зависитъ только отъ числа амперъ-оборотовъ, можно думать, что внѣшніе слои обмотки дѣйствуютъ также, какъ и непосредственно прилегающіе къ стержню. Это совершенно вѣрно для замкнутой магнитной

цѣпи; въ цѣпи же незамкнутой, гдѣ происходитъ утечка, это вѣрно только для такихъ обмотокъ, которыя окружаютъ и линіи утечки. Напримѣръ въ короткомъ полосовомъ электромагнитѣ внѣшніе слои центральной части обмотки, которая захватываетъ всѣ магнитныя линіи, дѣйствуютъ совершенно также, какъ внутреннія; между тѣмъ какъ внѣшніе слои той части обмотки, которая окружаетъ концы полосы, не столь дѣйствительны какъ внутренніе, потому что часть магнитныхъ линій протекаетъ мимо нихъ.

### Вліяніе положенія обмотки.

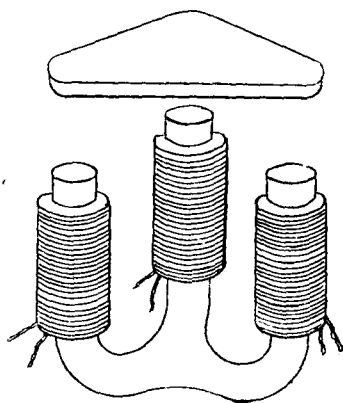
Между изслѣдованіями, которыя дѣлалъ Дю-Монсель относительно электромагнитовъ, есть одно, касающееся наилучшаго положенія обмотки на сердечникѣ. Этимъ же вопросомъ занимались и другіе изслѣдователи. Въ книгѣ Дуба «Electromagnetismus», на которую я уже нѣсколько разъ ссылаюсь, можно тоже найти нѣсколько опытовъ относительно наивыгоднѣйшаго положенія обмотки. Дю-Монсель работалъ съ четырьмя парами катушекъ. На каждой изъ нихъ было намотано 50 метровъ проволоки. Первая пара имѣла 16 сант. въ длину, вторая 8 сант. или половину длины первой, число оборотовъ проволоки на ней было конечно меньше, т. к. діаметръ внѣшнихъ оборотовъ былъ больше, третья пара въ 4 сант. длиной и четвертая въ 2 сантиметра. Всѣ они пробовались и съ прямымъ электромагнитомъ и съ подковообразнымъ. Я думаю, что достаточно будетъ привести результаты полученные съ подковообразнымъ. Длина этого электромагнита была — 16 сант. или около 6 дюймовъ — какъ разъ достаточная, чтобы помѣстить самую длинную катушку. Когда пользовались катушкой въ 2 сант. длиной, то сила, съ которою магнитъ дѣйствовалъ на арматуру, находившуюся на разстояніи 2 миллиметровъ (это разстояніе оставалось постояннымъ во всѣхъ опытахъ) была 40 граммъ. При томъ же вѣсѣ мѣди, но распределенномъ на длинѣ вдвое большей, сила была 75 гр. Наконецъ съ обмотками длиной въ 16 сант., которыя вполне покрывали обѣ вѣтви, сила была 85 гр. Ясно, слѣдовательно, что если мы имѣемъ желѣзный сердечникъ данной длины, то для того, чтобы онъ дѣйствовалъ съ наибольшей силой, нужно не скучивать всю об-

мотку на одномъ изъ полюсовъ, а распредѣлять ее равномерно, по всей длинѣ стержня, потому что такая обмотка даетъ наибольшее число оборотовъ, слѣдовательно и наибольшее число амперъ-оборотовъ и наибольшее намагничиваніе. Исключеніе составляетъ лишь случай, когда утечка очень значительна. Съ хромымъ магнитомъ были получены тѣ же результаты. Было найдено, что всегда лучше всего распредѣлять обмотку насколько возможно по всей длинѣ вѣтви. Эти опыты были произведены съ постояннымъ токомъ. Но изъ того, что для постоянного тока лучше всего дѣлать обмотку по всей длинѣ сердечника, не слѣдуетъ, чтобы это правило оставалось справедливымъ и для быстро мѣняющагося тока. Дѣйствительно мы увидимъ, что это не такъ.

### Неудовлетворительныя формы электромагнитовъ.

Часто очень полезно разсматривать разные неудачные методы устройства и изслѣдовать, почему они не хороши. Электромагнитъ, изображенный на фиг. 81, представляетъ примѣръ неудачнаго устройства. Это одна изъ многочисленныхъ формъ, предложенныхъ Роловымъ (Roloff), состоящая изъ трехъ одинаковыхъ цилиндрическихъ сердечниковъ, которые помѣщены въ вершинахъ равносторонняго треугольника. Арматурой служитъ пластинка, вырѣзанная въ формѣ тоже равносторонняго треугольника, углы котораго закруглены. Очевидно было бы абсурдомъ устраивать обмотку такъ, чтобы всѣ полюсы были одного имени. Если одинъ полюсъ сѣверный, другіе два должны быть южными.

Фиг. 81.



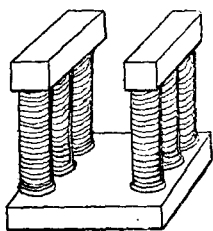
Электромагнитъ съ тремя вѣтвями.

Противъ устройства трехполюснаго электромагнита нельзя ничего возразить а ргіогі и такой электромагнитъ хорошей конструкціи будетъ описанъ далѣе (фиг. 165 а), но въ этомъ случаѣ, одинъ изъ сердечниковъ долженъ обладать площадью

поперечнаго сѣченія вдвое большею, чѣмъ два другіе, чтобы магнитныя линіи, выходя изъ двухъ сердечниковъ, находили для обратнаго входа желѣзныи стержень соотвѣтствующихъ размѣровъ.

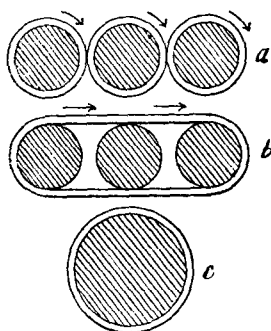
Другаго рода неправильная форма придавалась одно время въ машинахъ Эдиссона электромагнитамъ, производившимъ магнитное поле. Такая же форма придавалась и электромагнитамъ въ старыхъ машинахъ Грамма. Электромагниты въ этомъ случаѣ состояли изъ нѣсколькихъ параллельныхъ сердечниковъ, каждый изъ которыхъ былъ снабженъ отдѣльной обмоткой. Всѣ сердечники были соединены на одномъ концѣ соединительной полосой, на другомъ двумя полюсными наконечниками. Подобный электромагнитъ изображенъ на фиг. 82. Устраивать такимъ образомъ нѣсколько желѣзныхъ

Фиг. 82.



Электромагнитъ съ нѣсколькими сердечниками.

Фиг. 83.



Сердечники сложный и простой.

сердечниковъ больше чѣмъ бесполезно, т. к., если проволока наматывается такъ, чтобы получить полюсы одного имени на сосѣднихъ сердечникахъ, то много проволоки теряется даромъ. Дѣйствительно въ пространствѣ между сердечниками, два тока проходятъ въ обратномъ направленіи и уменьшаютъ другъ у друга намагничивающую силу. Было бы гораздо лучше обмотать всѣ сердечники вмѣстѣ или, еще лучше, устроить одинъ толстый сердечникъ. На фиг. 83 показаны три способа обмотки, причемъ *a*—соотвѣтствуетъ магниту, изображенному на фиг. 82.

Если предположить, что желѣзные сердечники имѣли по 3 д. въ діаметрѣ и что толщина слоевъ обмотки  $\frac{1}{2}$  д., то длина (средняя) проволоки, потребная на то чтобы сдѣлать одинъ оборотъ

вокругъ стержня равна 11 дюймамъ. Слѣдовательно для трехъ сердечниковъ это составитъ 33 д. Если же обмотка сдѣлана, какъ показано на фиг. 83 *b*, то длина проволоки будетъ только 27 д. Наконецъ, еслибы изъ того же количества желѣза сдѣлать одинъ цилиндръ, поперечное сѣченіе котораго равнялось бы суммѣ прежнихъ трехъ и, который слѣдовательно имѣлъ бы основаніе въ 5,196 д. въ диаметрѣ, то для одного оборота потребовалось бы только 19,05 д. проволоки.

Итакъ въ видахъ экономіи мѣдной проволоки, является важный вопросъ, какую форму придавать поперечному сѣченію сердечниковъ? Геометрія даетъ сейчасъ же отвѣтъ на этотъ вопросъ: изъ всѣхъ фигуръ равной площади у круга наименьшій периметръ. Чтобы облегчить сравненіе ниже приведена таблица, въ которой помѣщены длины проволоки, нужныя для того, чтобы сдѣлать одинъ оборотъ вокругъ сердечниковъ разной формы. Площади поперечнаго сѣченія всѣхъ ихъ равны между собой и приняты за единицу.

Форма попереч. сѣченія.	Длина проволоки.
Кругъ . . . . .	3,54
Квадратъ . . . . .	4,00
Прямоугольникъ, 2:1 . . . . .	4,24
Прямоугольникъ, 3:1 . . . . .	4,62
Прямоугольникъ, 10:1 . . . . .	6,91
Квадратъ между двумя полукругами . . . . .	3,76
Два квадрата между двумя полукругами . . . . .	4,28
Два круга рядомъ . . . . .	4,997
Два круга рядомъ, обмотка окружаетъ оба вмѣстѣ . . . . .	4,10
Три круга . . . . .	6,13
Четыре круга . . . . .	7,09

### Отношеніе между сопротивленіемъ обмотки, ея объемомъ и толщиною проволоки.

Если предположить, что толщина изолирующаго слоя на проводѣ пропорціональна толщинѣ самой проволоки, то очевидно, что вѣсъ проволоки, составляющей обмотку катушки данныхъ размѣровъ, не будетъ зависѣть отъ толщины первой, т. е. будетъ одинъ и тотъ же въ случаѣ когда, взята тонкая проволока

и въ случаѣ, когда проволока взята толстая. Далѣе, для даннаго объема, который долженъ быть наполненъ обмоткой, число *омовъ* сопротивленія обмотки будетъ мѣняться, какъ *квадратъ числа оборотовъ* проволоки. Дѣйствительно, если обмотку, состоящую изъ 100 оборотовъ проволоки, замѣнить другой, имѣющей площадь сѣченія вдвое меньшую и дѣлающею 200 оборотовъ, то сопротивление новой обмотки будетъ въ четыре раза больше, чѣмъ сопротивление старой. Разсуждая такимъ же образомъ, убѣдимся, что сопротивление обмотки даннаго объема мѣняется обратно пропорціоно *квадрату площади поперечнаго сѣченія* проволоки, изъ которой она сдѣлана. Такъ какъ площадь поперечнаго сѣченія проволоки пропорціонона квадрату ея діаметра, то сопротивление обмотки будетъ мѣняться *обратно пропорціонона четвертой степени діаметра проволоки*. Эти результаты, конечно только приблизительно вѣрны, т. к. въ тонкихъ проволокахъ относительная толщина изолирующаго слоя гораздо больше, чѣмъ въ толстыхъ.

### Формулы Вrough.

Болѣе точная формула дана Вrough. Въ ней дѣлается только одно допущеніе, именно, что обороты проволоки лежатъ въ шахматномъ порядкѣ, вмѣсто того чтобы лежать одинъ между двумя другими. Діаметръ проволоки, изъ которой можно сдѣлать обмотку на катушку данныхъ размѣровъ (внѣшній діаметръ  $A$ , внутренний —  $a$ , длина —  $b$ ) имѣющую данное сопротивление  $R$  омовъ вычисляется по слѣдующей формулѣ:

$$d = \sqrt{u^2 + \sqrt{\frac{\pi b c (A^2 - a^2)}{4 R}}} - u,$$

гдѣ  $u$  — толщина изолирующаго слоя по радіусу и  $c$  — сопротивление въ омахъ единицы длины проволоки, имѣющей діаметръ, равный единицѣ.

Длина проволоки, употребленной на эту обмотку, будетъ:

$$l = \frac{\pi b (A^2 - a^2)}{4 (2u + d)^2}$$

Эти формулы даютъ величины  $d$  и  $l$  въ сантиметрахъ или въ дюймахъ, смотря по тому, въ какихъ мѣрахъ взята величина  $c$ .

## ГЛАВА VII.

### *Электромагниты для специальных цѣлей. Электромагниты для быстрого дѣйствія. Релѣ и хронографы.*

Мы теперь въ состояніи рассмотреть нѣкоторыя детали въ устройствѣ электромагнитовъ, которыя имѣютъ большое значеніе при устройствѣ электромагнитовъ для нѣкоторыхъ специальныхъ цѣлей.

#### Различіе между электромагнитами и постоянными магнитами.

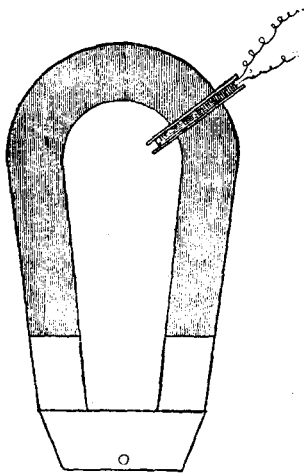
Я думаю, что будетъ не лишнимъ еще разъ напомнить, что всѣ результаты полученные для электромагнитовъ, никакъ не могутъ быть примѣнены и къ постояннымъ стальнымъ магнитамъ. Этого нѣтъ и вотъ по какой простой причинѣ: если вы въ электромагнитѣ приблизите катушку къ полюсамъ и тѣмъ улучшите цѣпь, то вы не только увеличите число магнитныхъ линий, проходящихъ черезъ катушку, но увеличите и число линий, проходящее черезъ все желѣзо. Число линий во всей дугѣ будетъ больше, когда вы положите катушку на полюсы, потому что вы тогда получите магнитную цѣпь съ меньшимъ сопротивленіемъ, тогда какъ внѣшняя намагничивающая сила остается прежней. Поэтому, въ данномъ случаѣ вы получите большій магнитный потокъ. Числа полученные съ электромагнитомъ, представленнымъ на фиг. 73, при помощи катушки С, въ случаяхъ, когда катушка находилась въ соприкосновеніи и когда она была на разстояніи, имѣютъ очень важное значеніе. Когда катушка находилась въ соприкосновеніи, то весь магнитный потокъ увеличивался, при слабости тока—въ десять разъ и почти въ три раза—при сильныхъ токахъ. Что же касается до стальныхъ подковъ, намагниченныхъ разъ навсегда, то количество магнитныхъ линий, протекающихъ по дугѣ, постоянно, и какъ бы вы не уменьшали сопротивление, вы не увеличите числа этихъ линий. Когда катушка находится на



нѣкоторомъ разстояніи, то магнитныя линіи выходятъ не только изъ концовъ подковъ, но и изъ ея боковъ; всѣ магнитныя линіи такъ или иначе протекаютъ черезъ пространство. Когда арматура наложена, то линіи, вмѣсто того, чтобы протекать черезъ пространство также свободно, какъ раньше, проходятъ большею частью черезъ стальные вѣтви и желѣзную арматуру; число линій, проходящихъ черезъ согнутую часть, не измѣнилось. Вы имѣете совершенно то же число линій, проходящихъ черезъ дугу, не смотря на то, положена ли арматура или снята. Вы не увеличили ихъ числа, уменьшивъ сопротивленіе встрѣчаемое ими; прикладывая къ подковѣ арматуру, вы только *собираете* линіи, но не *увеличиваете* ихъ числа. Это результатъ не однихъ только соображеній

Группа моихъ студентовъ продѣлала нѣсколько опытовъ, относящихся къ этому вопросу. Былъ взятъ большой стальной магнитъ (фиг. 84), сдѣланный изъ куска стали въ  $42\frac{1}{2}$  дюйма дли-

Фиг. 84.



Опытъ съ постояннымъ магнитомъ.

ною. Вдоль по магниту могла скользить легкая узкая рамка, на которой было сдѣлано тридцать оборотовъ тонкой мѣдной проволоки. Концы этой проволоки были присоединены къ чувствительному баллистическому гальванометру, находившемуся въ отдаленной части лабораторіи. Опыты производились слѣдующимъ образомъ. Катушка помѣщалась гдѣ-либо на магнитѣ или арматурѣ и арматура осторожно приставлялась къ магниту; когда стрѣлка гальванометра успокоивалась и останавливалась на нулѣ, то арматуру быстро отрывали. Первое отклоненіе гальванометра измѣ-

ряетъ измѣненіе числа магнитныхъ линій, проходящихъ черезъ катушку въ данномъ положеніи, происходящее отъ отрыванія арматуры.

Я повторю передъ вами этотъ опытъ, конечно въ грубой формѣ: отъ гальванометра отражается на экранъ пучекъ свѣта. Я помѣ-

щаю катушку какъ разъ на полюсь и накладываю катушку. Затѣмъ, замкнувъ цѣпь гальванометра, отрываю катушку. Вы замѣчаете сильное отклоненіе. Теперь я помѣщаю катушку совершенно по срединѣ изгиба, вновь накладываю катушку и жду, пока пучекъ свѣта не остановится на нулѣ. Теперь опять отрываю катушку и вы видите, что движеніе пучка свѣта совершенно незамѣтно. Въ нашихъ лабораторныхъ опытахъ наблюденія дѣлались черезъ каждый дюймъ по всей длинѣ магнита. Дѣйствіе, когда катушка находилась на стибѣ, не превосходило  $\frac{1}{3000}$  части того, когда катушка была на полюсѣ. Поэтому мы имѣемъ полное право сказать, что число магнитныхъ линій въ постоянномъ стальномъ подковообразномъ магнитѣ не измѣняется въ зависимости отъ присутствія или отсутствія катушки.

Вы замѣтили, что я всегда тихонько накладываю катушку. Не слѣдуетъ дѣлать этого съ толчкомъ, т. е. каждый разъ, какъ вы это дѣлаете, вы отнимаете часть такъ называемаго постоянного магнетизма. Отрывать же катушку вы можете какъ вамъ угодно быстро. Это скорѣе приноситъ магниту пользу, чѣмъ вредъ. Распространенный предразсудокъ, что нельзя отрывать якорь быстро, невѣренъ; можно отрывать какъ угодно, но не слѣдуетъ налагать его съ толчкомъ.

Есть еще разница между электромагнитомъ и постояннымъ магнитомъ. Положимъ, что мы имѣемъ электромагнитъ и стальной постоянный магнитъ, оба одинаковыхъ размѣровъ и оба подковообразной формы. Положимъ далѣе, что электромагнитъ возбужденъ настолько, что притягиваетъ катушку, находящуюся въ соприкосновеніи съ нимъ, совершенно съ той же силой, что и постоянный магнитъ. Если мы затѣмъ сравнимъ силу, съ которою эти магниты притягиваютъ ту же катушку, если ее помѣстить на нѣкоторомъ разстояніи отъ полюсовъ, то найдемъ, что электромагнитъ притягиваетъ слабѣе. Такимъ образомъ постоянный магнитъ обладаетъ, при одной и той же удерживающей силѣ, большей протяженностью дѣйствія, чѣмъ электромагнитъ.

### Электромагнитъ для наибольшаго приставанія.

Мы уже рассматривали этотъ вопросъ въ главѣ IV. Характеристической чертой всѣхъ электромагнитовъ, пригодныхъ для того,

чтобы арматура крѣпко приставала къ полюсамъ, служить компактность магнитной цѣпи.

Нѣсколько разъ предлагали увеличивать силу электромагнита, прибавляя промежуточные массы желѣза между сердечникомъ и наружной поверхностью, помѣщая ихъ между слоями обмотки. Но эта конструкція была найдена непригодной. Лучше все это желѣзо помѣстить прямо въ серединѣ обмотки или снаружи ея такъ, чтобы оно могло составлять часть магнитной цѣпи. Виды электромагнитовъ, извѣстные подъ именемъ *Samacho*, *Сансе*, а такъ же и тотъ, на которой въ 1877 г. Варлей (*Varley*) взялъ привилегію, теперь совершенно забыты.

Другое усовершенствованіе, которое періодически предлагаютъ какъ новое, состоитъ въ употребленіи для обмотки, вмѣсто мѣдной проволоки—желѣзной или желѣзныхъ полосокъ. Но, благодаря худшей проводимости желѣза сравнительно съ мѣдью, въ устроенныхъ такимъ образомъ приборахъ теряется даромъ значительное количество возбуждающей силы. Для того, чтобы получить одинаковую намагничивающую силу съ обмоткой изъ желѣзной проволоки, надо израсходовать въ-шестеро больше ваттовъ, чѣмъ, если-бы обмотка была изъ мѣдной проволоки.

Послѣднимъ образомъ такихъ электромагнитовъ служить электромагнитъ Рикко (*Ricco*), устроенный изъ желѣзной ленты, намотанной на цилиндрической желѣзный стержень. Послѣдовательные обороты изолированы другъ отъ друга промасленной бумагой. Вся обмотка удерживается на стержнѣ изолированными кольцами.

### Электромагниты съ наибольшимъ пространствомъ притяженія.

Мы уже изложили раньше, въ главѣ V, принципъ, на основаніи котораго мы можемъ устроить электромагнитъ, который дѣйствовалъ бы на разстояніе. Мы желаемъ, чтобы нашъ магнитъ проявлялъ свою силу черезъ возможно большій слой воздуха. Ясно, что такой магнитъ долженъ обладать большой намагничивающей силой, т. е. большимъ числомъ амперъ-оборотовъ, чтобы магнитныя линіи могли проникнуть сквозь большое сопротивленіе, представляемое воздухомъ. Точно также ясно, что полюсы не должны быть очень близко одинъ отъ другаго, иначе магнитныя линіи загибались бы и протекали отъ одного полюса къ другому по

болѣе короткому пути. Въ этомъ случаѣ разстояніе между полюсами должно быть больше, чѣмъ это желательно для электромагнитовъ, сдѣланныхъ для наибольшаго приставанія.

### Электромагниты безъ желѣзнаго сердечника.

Если катушку не снабдить желѣзнымъ сердечникомъ, она все-таки будетъ притягивать куски желѣза въ то время, когда по ней будетъ проходить токъ, но ея дѣйствіе будетъ значительно слабѣе, чѣмъ оно было бы съ желѣзнымъ сердечникомъ. Въ главѣ VIII мы рассмотримъ особенно подробно частный случай, когда катушка втягиваетъ въ себя желѣзный стержень. Приборъ такого устройства обладаетъ многими характеристическими особенностями, между прочимъ большимъ протяженіемъ, на которомъ движется сердечникъ.

### Электромагниты наименьшего вѣса.

Устраивать приборы, которые должны быть взяты на лодку или воздушный шаръ, гдѣ вѣсъ играетъ значительную роль, надо нѣсколько иначе. Тутъ надо принимать во вниманіе желѣзо, мѣдь и электрической токъ. Токъ не вѣситъ ничего, слѣдовательно, жертвуя чѣмъ нибудь для уменьшенія вѣса, вы можете взять относительно мало желѣза, но должны имѣть достаточно мѣди, чтобы по ней можно было бы пропустить нужный токъ. Вы не должны тутъ бояться нагрѣть мѣдь приблизительно до краснаго каленія, пропуская наивозможно сильный токъ. Употребляйте наименьшее количество мѣди, которое только возможно, жертвуя экономіей для достиженія вашей цѣли. Понятно, что тутъ изолирующій слой долженъ быть изъ какого нибудь огнеупорнаго вещества напр., азбеста, вмѣсто бумаги и шёлка.

### Электромагниты наименьшей стоимости.

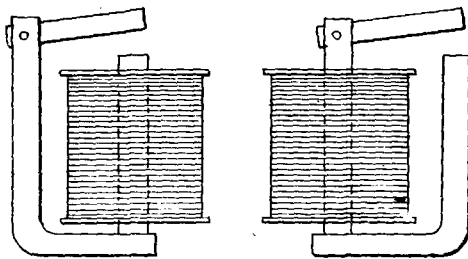
Чтобы уменьшить стоимость электромагнитовъ, нѣкоторые конструкторы употребляютъ вмѣсто ковannaго желѣза — чугуны. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, когда электромагниты дѣлаются большихъ размѣровъ, какъ напримѣръ для динамомашинъ и когда ихъ значительная величина и большой вѣсъ не представляютъ неудобствъ, употребленіе чугуна можно допустить. Но для маленькихъ электро-

магнитовъ, напримѣръ такихъ, какіе употребляются въ электрическихъ звонкахъ, употребленіе чугуна уже нельзя одобрить. Въ этихъ случаяхъ употребляется прокатанное желѣзо. Авторъ этой книги первый посоветовалъ попробовать употреблять для этой цѣли металлъ *митисъ*. Но тутъ выгода употреблять желѣзо болѣе дешевое и худшихъ магнитныхъ качествъ весьма не велика, т. к. тогда приходится употреблять на обмотку больше мѣдной проволоки. Но на цѣну электромагнитовъ влияетъ не только цѣнность матерьяловъ, но и стоимость работы. Поэтому надо стараться придавать имъ такую форму, устройство которой требовало бы возможно меньше труда. Одна изъ такихъ формъ весьма распространена въ промышленности. Это тѣ электромагниты, которые Дю-Монсель называлъ *aimants boiteux* — хромыми магнитами (фиг. 20). Эта форма ничто иное какъ подковообразный магнитъ съ обмоткой только на одной вѣтви, и безъ обмотки на другой. Преимущество этого типа очень простое — я предполагаю, что вы бережете трудъ — онъ требуетъ обмотки только на одномъ полюсѣ вмѣсто двухъ. Есть-ли эта форма усовершенствованіе въ другихъ отношеніяхъ — это вопросъ, который можетъ рѣшить только опытъ. Посмотримъ, не можемъ-ли мы сказать что нибудь о немъ на основаніи теоретическихъ соображеній. Дю-Монсель, работавшій съ такими электромагнитами, нашелъ, что они даютъ нѣсколько меньшую силу при томъ же вѣсѣ мѣди. Это можно было предвидѣть. Если вы наматываете одинъ и тотъ же вѣсъ мѣди на одну катушку и на двѣ, то въ первомъ случаѣ вы сдѣлаете меньшее число оборотовъ, чѣмъ во второмъ, т. к. внѣшніе обороты будутъ значительно длиннѣе. Слѣдовательно въ этомъ случаѣ число амперъ-оборотовъ будетъ меньше и для того, чтобы получить ту же намагничивающую силу, какъ при двухъ обмоткахъ, надо употребить токъ нѣсколько сильнѣе. Эти электромагниты, благодаря ихъ дешевизнѣ (т. к. сдѣлать одну обмотку дешевле, чѣмъ двѣ) и компактности очень распространены. Ихъ часто употребляютъ для индикаторовъ электрическихъ звонковъ. Въ такихъ электромагнитахъ можно дѣлать соединительную полосу нѣсколько короче и сердечники нѣсколько ближе другъ къ другу, чѣмъ въ обыкновенныхъ и такимъ образомъ укорачивать магнитную цѣпь.

Дю-Монсель сдѣлалъ нѣсколько опытовъ, чтобы опредѣлить который полюсъ дѣйствуетъ сильнѣе, или арматура можетъ вре-

щаться надъ другими и нашелъ, что большей силой обладаетъ тотъ, на который надѣта катушка. Онъ сдѣлалъ два опыта, надѣвая катушку то на одинъ полюсъ, то на другой (фиг. 85).

Фиг. 85.



*Хромые электромагниты съ подвѣшенными арматурами.*

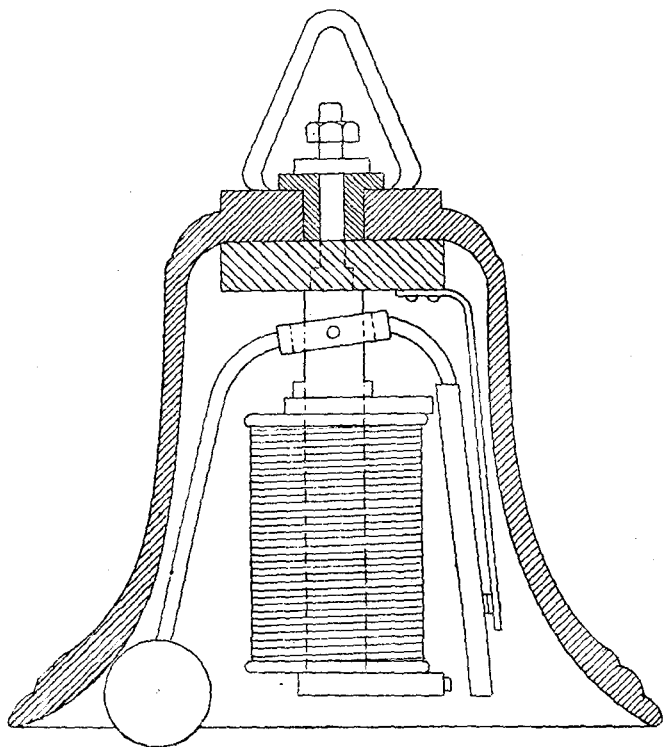
и вѣшая арматуру на одномъ и томъ же разстояніи. Когда арматура была повѣшена надъ не обмотаннымъ полюсомъ, то сила была 35 гр., когда-же она подвѣшивалась надъ обмотаннымъ сердечникомъ, то сила была 40 грам. Другая форма электромагнитовъ, изобрѣтенная Женсеномъ, въ которой дѣлается только одна обмотка, употребляется въ электрическихъ звонкахъ, имѣющихъ видъ церковнаго колокола (фиг. 86). Въ электромагнитахъ Женсена на прямой желѣзный стержень надѣваютъ катушку и затѣмъ привинчиваютъ къ нему одинъ, или въ нѣкоторыхъ случаяхъ два полюсныхъ наконечника. Арматура имѣетъ форму прямоугольника, имѣющаго почти такую-же длину, какъ и сердечникъ, и сдѣлана изъ мягкаго желѣза. Она притягивается съ одного конца однимъ полюснымъ наконечникомъ, а съ другаго — другимъ.

### Электромагниты для быстрыхъ переменныхъ токовъ.

При устройствѣ электромагнитовъ для токовъ переменнаго направленія или прерывистыхъ, необходимо сдѣлать одну переменную именно, такъ раздѣлить желѣзо на пластинки или проволоки, чтобы затруднить образованіе внутреннихъ паразитныхъ токовъ. Вообще для всѣхъ быстро дѣйствующихъ электромагнитныхъ аппаратовъ нужно принять за правило, что желѣзо не должно быть въ одномъ массивномъ кускѣ. Для телеграфныхъ приборовъ обыкновенно не принято дѣлать желѣзныхъ сердечниковъ изъ

пластинокъ или проволокъ, но часто ихъ снабжаютъ цилиндрическими сердечниками, просверленными вдоль по оси. Образовавшіяся такимъ образомъ трубки разрѣзываютъ вдоль по образую-

Фиг. 86.



Электрической звонокъ Женсена.

щей, чтобы предупредить образование паразитныхъ токовъ. Если же пользуются для электромагнитовъ токами съ большимъ числомъ перемѣнъ, напримѣръ такими, какъ при электрическомъ освѣщеніи, гдѣ число перемѣнъ доходитъ до 100 въ секунду и больше, то недостаточно разрѣзать сердечникъ для того, чтобы избавиться отъ круговыхъ токовъ, въ этомъ случаѣ можетъ помочь лишь раздѣленіе желѣза на множество полосъ.

Всѣ необходимыя свѣдѣнія относительно этого вопроса даны въ главѣ XI. Тѣмъ не менѣе важно замѣтить теперь, что существуетъ въ каждой электрической цѣпи родъ электромагнитной инерціи, или самоиндукціи, которая заставляетъ токи увеличи-

ваться и уменьшаться позднѣе по времени, чѣмъ увеличивается или уменьшается электродвижущая сила, которая производитъ эти токи. Во всѣхъ такихъ случаяхъ препятствія, которыя представляетъ электрическая цѣпь, зависятъ отъ двухъ причинъ *сопротивленія цѣпи* и *ея самоиндукціи*. Обѣ эти причины стремятся уменьшить проходящій токъ, самоиндукція, кромѣ того, стремится замедлить его возрастаніе. Вся глава XI посвящена формамъ, дѣйствующимъ съ токами переменными или прерывистыми, такими, которые употребляются въ телеграфной сигнализации.

## Электромагниты для быстрого дѣйствія:

### Законъ Гельмгольца.

Я уже говорилъ объ изслѣдованіяхъ Юза относительно формъ электромагнитовъ, наиболѣе удобныхъ для быстрой сигнализации. Кромѣ того я, мимоходомъ, замѣтилъ, что, когда употребляютъ быстро мѣняющіеся токи, то сила электрическаго тока, который можетъ дать данная батарея, зависитъ не столько отъ сопротивленія цѣпи, сколько отъ ея электрической инерціи. Точно объяснить то, что происходитъ въ электрической цѣпи, когда токъ быстро замыкается — весьма нелегкая задача. Токъ не увеличивается сразу до наибольшей своей величины, такъ какъ онъ замедляется инерціей. Обыкновенный законъ Ома, въ его простой формѣ, болѣе не примѣнимъ. Необходимо употреблять другой законъ, который носить имя закона Гельмгольца и даетъ выраженіе не для окончательной силы тока, но для силы его послѣ нѣкотораго короткаго промежутка времени  $t$ , прошедшаго отъ момента замыканія. Сила тока, черезъ короткій промежутокъ времени  $t$ , не можетъ быть вычислена просто, раздѣливъ электро-возбудительную силу на сопротивленіе, какъ это дѣлается для постоянныхъ токовъ.

Выраженный символами, законъ Гельмгольца будетъ:

$$i_t = \frac{E}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L} t} \right)$$

Въ этой формулѣ  $i_t$  — есть сила тока черезъ короткій промежутокъ времени  $t$ ;  $E$  — электровозбудительная сила;  $R$  — сопро-



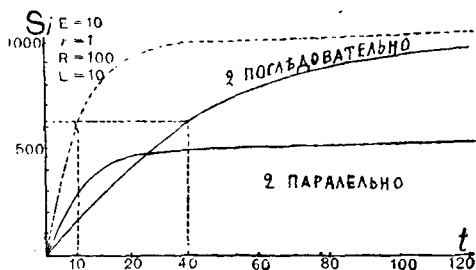
тивленіе;  $L$  — коэффициентъ самоиндукціи въ квадрантахъ \*);  $e$  — число  $= 2,7183$  т. е. основаніе Неперовыхъ логариѳмовъ. Разсмотримъ эту формулу. Въ общемъ видѣ она похожа на формулу Ома, но съ новымъ множителемъ, именно выраженіемъ поставленнымъ въ скобкахъ. Этотъ множитель, несомнѣнно дробный, т. к. онъ состоитъ изъ единицы минусъ нѣкоторая отрицательная показательная функція, которую мы сейчасъ рассмотримъ. Если множитель въ скобкахъ меньше единицы, то величина  $i_t$  меньше чѣмъ  $\frac{E}{R}$ . Обращаться съ показательной функціей съ отрицательнымъ знакомъ и съ отрицательнымъ дробнымъ показателемъ въ популярной книгѣ довольно затруднительно. Наилучшій способъ—это вычислить нѣсколько ея значеній и изобразить кривой. Разъ получивъ кривую, мы можемъ размышлять относительно ея, т. к. она даетъ графическое изображеніе того факта, который формула выражаетъ абстрактно. Такъ мы и поступимъ. Положимъ, что  $E = 10$  вольтамъ;  $R = 1$  ому и положимъ, для того, чтобы увеличить вліяніе самоиндукціи, что она сравнительно велика, напр.  $L = 10$  квадрантамъ. На основаніи этихъ данныхъ вычислимъ слѣдующую таблицу:

$t$ (сек.)	$e^{+\frac{R}{L}t}$	$i_t$
0	1	0
1	1,105	0,950
2	1,221	1,810
5	1,649	3,936
10	2,718	6,343
20	7,389	8,646
30	20,08	9,501
60	403,4	9,975
120	162800,0	9,999

\*) Квадъ или квадрантъ, есть единица, въ которой выражаются коэффициенты самоиндукціи. Раньше эту единицу называли *секомъ*, а теперь нѣкоторые американскіе электрики называютъ Генри. Подробности см. въ приложеніи А, гдѣ изложено о единицахъ.

Въ этомъ случаѣ сила постояннаго тока, вычисленная по закону Ома, была бы 10 амперъ, но законъ Гельмгольца показываетъ, что при большой самоиндукціи, которую мы предположили, даже черезъ 30 сек. токъ достигъ лишь 95% своей окончательной величины и только черезъ двѣ минуты практически достигъ окончательной силы. Эти величины были выражены самой высокой кривой на фиг. 87 причемъ было однако сдѣлано

Фиг. 87.



Кривыя усиленія тока.

еще предположеніе, что число оборотовъ въ обмоткѣ (S) электромагнита равняется 100 такъ, что когда токъ достигнетъ наибольшей силы, т. е. 10 амперъ, то намагничивающая сила будетъ  $Si = 1000$ . Замѣтимъ, что кривая круто подымается отъ нуля и идетъ приблизительно прямой линіей, затѣмъ перегибается внизъ и, вновь становясь приблизительно прямой, постепенно подымается до предѣльнаго значенія. Первая часть кривой, относящаяся къ силѣ тока, послѣ весьма малаго промежутка времени  $t$ , изображаетъ періодъ, когда сила тока зависитъ болѣе отъ инерціи (т. е. отъ самоиндукціи), чѣмъ отъ сопротивленія.

Такъ что для весьма малой величины  $t$ , приближенная формула можетъ быть написана такъ:

$$i_t = \frac{E t}{L}$$

или, словами, что вліяніе самоиндукціи въ теченіи перваго весьма малаго промежутка времени таково, что сопротивленіе цѣпи равняется въ этотъ промежутокъ числу квадрантовъ самоиндукціи, дѣленному на малую дробь секунды, которая прошла отъ мо-

мента замыканія тока. Дѣленіе на маленькую дробь равносильно умноженію на большое число, слѣдовательно все произойдетъ такъ, какъ будто бы цѣпь обладала громаднымъ сопротивленіемъ которое съ теченіемъ времени уменьшается.

### «Постоянныя времени» для электромагнитовъ.

Только что мы замѣтили, что въ первые моменты послѣ замыканія тока, сила его зависитъ больше отъ самоиндукціи цѣпи чѣмъ отъ ея сопротивленія, т. е. она зависитъ больше отъ квадратовъ, чѣмъ отъ омовъ.

На самомъ дѣлѣ сила тока никогда не зависитъ только отъ самоиндукціи или сопротивленія, но всегда отъ ихъ отношенія. Это отношеніе можно назвать «Постоянной времени» (time-constant) цѣпи, т. к. оно представляетъ *время*, которое употребляетъ токъ въ данной цѣпи для того, чтобы достичь опредѣленной части своей конечной величины. Эта опредѣленная часть есть  $\frac{e-1}{e}$  или 0,634. Всѣ кривыя усиленія тока имѣютъ подобныя формы, они разнятся только шкалами, т. е. высотой, которую они окончательно достигаютъ и временемъ, которое они употребляютъ, чтобы подняться до опредѣленной части своей окончательной величины.

*Примѣръ 1.* Положимъ, что  $E = 10$ ,  $R = 400$  омовъ,  $L = 8$ . Окончательная сила тока будетъ 0,025 амперъ или 25 миллиамперъ. Постоянная времени будетъ  $8 : 400 = \frac{1}{50}$  секунды.

*Примѣръ 2.* Релэ «А» Р.О. (Post Office) имѣетъ сопротивленіе  $R = 400$  омовъ,  $L = 3,25$ . Оно работаетъ при 0,5 миллиампера и слѣдовательно съ 5 элементами Даниеля можетъ работать въ линіи, обладающей сопротивленіемъ 9600 омъ. Постоянная времени прибора равна 0,0081 сек.

Замѣтимъ, что «постоянная времени» въ каждой цѣпи можетъ быть уменьшена двоякимъ способомъ: или уменьшивъ самоиндукцію, или увеличивъ сопротивленіе цѣпи. На фиг. 87 положеніе постоянной времени для верхней кривой показано вертикальной пунктирной линіей, проходящей черезъ точку 10 сек. Токъ потребуетъ 10 сек., чтобы достичь 0,634 своей предѣльной величины. Это опаздываніе происходитъ просто вслѣдствіе присутствія въ

цѣпи катушекъ и электромагнитовъ. Увеличиваясь, токъ производитъ въ этихъ катушкахъ магнитное поле и такимъ образомъ возникаетъ противоположная электровозбудительная сила, которая мѣшаетъ ему достигъ предѣльной величины. Многие электрики, незнакомые съ закономъ Гельмгольца, утверждали, что запаздываніе происходитъ въ желѣзныхъ сердечникахъ электромагнитовъ. Они говорятъ, что желѣзный сердечникъ не можетъ быть намагничень моментально, но что требуется нѣкоторое время, чтобы онъ сдѣлался магнитнымъ. Они думаютъ, что это одно изъ свойствъ желѣза. Но мы знаемъ, что единственное запаздываніе въ намагничиваніи желѣза, такъ называемый «вязкій гистерезисъ», не достигаетъ большаго процента полного намагничиванія, требуетъ сравнительно значительнаго времени для того, чтобы проявиться и слѣдовательно не можетъ быть причиной того запаздыванія, которое мы разсматриваемъ. Существуютъ электрики, которые говорятъ, что когда вы быстро производите въ желѣзной полосѣ намагничиваніе, то въ желѣзѣ появляются индуктированные токи, которые сопротивляются намагничиванію и замедляютъ его. Что они сопротивляются намагничиванію—это совершенно вѣрно, но если вы раздѣлите желѣзо такъ, чтобы уничтожить паразитные токи, то найдете, что магнетизмъ растетъ еще медленнѣе до своей предѣльной величины. Это потому, что раздѣливъ желѣзо вы неявно увеличили дѣйствіе самоиндукціи и слѣдовательно постоянную времени цѣпи, такъ что магнетизмъ растетъ медленнѣе, чѣмъ раньше. Запаздываніе происходитъ не въ желѣзѣ, а въ намагничивающемъ токѣ, а разъ токъ запаздываетъ, то конечно запаздываетъ и намагничиваніе.

Нѣкоторые электрики, преимущественно на континентѣ, обыкновенно различаютъ два періода образованія тока, называя «*перемѣннымъ періодомъ*» — время пока токъ увеличивается и «*постояннымъ періодомъ*» — тотъ періодъ, когда токъ уже сохраняетъ постоянную величину. Но провести точную границу между двумя этими періодами совершенно невозможно, т. к. токъ достигаетъ своей предѣльной величины, измѣняясь весьма мало. Законъ Ома примѣнимъ только къ установившемуся уже току. Пока сила тока отличается, хоть на незначительную величину отъ своего предѣльнаго значенія, до тѣхъ поръ надо разсматривать токъ, какъ находящійся въ перемѣнномъ періодѣ, къ которому надо примѣ-

нять законъ Гельмгольца. Часто спрашиваютъ, можно ли сдѣлать медленно дѣйствующій электромагнитъ быстро дѣйствующимъ, если снабдить его обмоткой другаго сопротивленія. Какъ будетъ сказано дальше, это зависитъ отъ сопротивленія и самоиндукціи другихъ частей цѣпи. Если предположить, что изолировка электромагнита тщательная, и что обмотка имѣетъ опредѣленный объемъ, то, мѣняя ее никакъ нельзя измѣнить постоянную времени самого электромагнита, т. к. для обмотки опредѣленнаго объема, сопротивление и самоиндукція пропорціональны квадрату числа амперт-оборотовъ и отношеніе этихъ двухъ величинъ есть, слѣдовательно, величина постоянная, независящая отъ толщины проволоки въ обмоткѣ. Но, если электромагнитъ будетъ работать въ линіи, въ которой нѣтъ другихъ электромагнитовъ или соленоидовъ, и, которая обладаетъ большимъ сопротивленіемъ, но малой самоиндукціей, то полезно снабдить электромагнитъ обмоткой изъ болѣе толстой проволоки, дѣлающей меньшее число оборотовъ. Такимъ образомъ можно уменьшить постоянную времени всей цѣпи. Фонъ-Беецъ (Von Westz) показалъ, что стержень электромагнита намагничивается скорѣе, при большой электродвижущей силѣ, дѣйствующей черезъ большое сопротивление, чѣмъ при малой электродвижущей силѣ, дѣйствующей черезъ малое сопротивление, хотя сила тока въ обоихъ случаяхъ одна и таже и окончательная степень намагничиванья сердечника-тоже. Другими словами, если батарея можетъ мѣняться такъ, чтобы токъ всегда былъ одной и той же силы, то постоянная времени цѣпи уменьшается при увеличеніи ея сопротивленія.

### Соединеніе обмотки для наиболѣе быстрого дѣйствія.

Приложимъ теперь эти, въ высшей степени важныя соображенія, къ практическимъ задачамъ, именно къ задачамъ о быстро дѣйствующихъ электромагнитахъ. Возмемъ случай, когда электромагнитъ составляетъ часть пріемнаго телеграфнаго аппарата, въ которомъ желательно обезпечить быстрое дѣйствіе. Положимъ, что обѣ обмотки, надѣтыя на вѣтвяхъ подковообразнаго электромагнита соединены послѣдовательно. Для нихъ тогда коэффициентъ самоиндукціи въ четыре раза больше, чѣмъ для каждой въ отдѣльности, т. к. онъ растетъ пропорціонально квадрату числа оборотовъ, окружающихъ данный сердечникъ. Если же мы сое-

динимъ обѣ обмотки не послѣдовательно, а параллельно, то коэффициентъ самоиндукціи будетъ тотъ же, что и для одной обмотки, потому что половина потока линій (который практически остается неизмѣннымъ) пройдетъ черезъ каждую обмотку. Слѣдовательно постоянная времени въ томъ случаѣ, когда обмотки соединены параллельно, будетъ равна четверти той, которая будетъ въ случаѣ соединенія обмотокъ послѣдовательно. Съ другой стороны для даннаго тока въ линіи, окончательная намагничивающая сила будетъ въ случаѣ, когда обмотки соединены параллельно, лишь половина той, которая получится, если ихъ соединить послѣдовательно.

Двѣ нижнія кривыя на фиг. 87 показываютъ это. Изъ нихъ видно, что намагничивающая сила для очень короткаго тока болѣе, когда обмотки соединены параллельно, чѣмъ когда они соединены послѣдовательно.

Эти свѣденія были уже извѣстны давно телеграфнымъ инженерамъ. Они были нѣсколько разъ примѣнены въ приборахъ патентованныхъ, служили темами для научныхъ сочиненій, которыя печатались во Франціи и Англии. Объясненіе, которое обыкновенно давалось тому обстоятельству, что выгодноѣ соединять обмотки параллельно, я думаю не справедливо. Именно говорили, что экстра-токи (т. е. токи, происходящіе отъ самоиндукціи) возбуждаемые въ обѣихъ обмоткахъ, индуктируются такъ, что помогаютъ другъ другу въ случаѣ, когда обмотки соединены послѣдовательно, и нейтрализуются взаимно, когда обмотки соединены параллельно. Это несправедливо, такъ какъ они не нейтрализуются взаимно ни въ какомъ случаѣ. Какъ бы не проходилъ токъ для намагничиванія, экстра-токъ будетъ ему препятствовать, когда онъ увеличивается и помогаетъ, когда онъ уменьшается. Если токъ возрастаетъ одновременно въ обѣихъ обмоткахъ, то самоиндукція замедляетъ это возрастаніе, все равно соединены ли обмотки послѣдовательно или параллельно. Преимущество соединенія параллельнаго состоитъ просто въ томъ, что оно уменьшаетъ «постоянную времени».

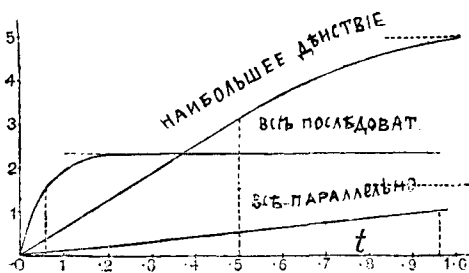
### **Соединеніе элементовъ батареи для наиболѣ быстрого дѣйствія.**

Вопросъ о соединеніи элементовъ батареи можно разсматривать съ той же точки зрѣнія. Какъ будутъ вліять необходимость

быстрой работы и вопросъ о постоянной времени на наилучшую группировку элементовъ? Любительское правило, которое совѣтуетъ группировать элементы такъ, чтобы внутреннее сопротивление батареи равнялось сопротивленію вѣншей цѣпи, для быстрой работы даетъ совершенно непригодные результаты. Полученная такимъ образомъ лучшая группировка, не даетъ намъ самаго лучшаго результата, который можетъ быть достигнутъ при помощи даннаго числа элементовъ. Возьмемъ какой нибудь примѣръ, вычислимъ его и результаты выразимъ графически кривыми. Положимъ, что линія и электромагнитъ вмѣстѣ имѣютъ сопротивление 6 омъ, и что мы имѣемъ 24 маленькихъ элементовъ Даниеля, у каждаго электровозбудительная сила равна одному вольту, а сопротивление 4 омамъ. Такъ же положимъ, что коэффициентъ самоиндукціи линіи и электромагнита равенъ 6 квадрантамъ. Когда всѣ элементы соединены послѣдовательно, то сопротивление батарей будетъ 96 омъ, сопротивление всей цѣпи 102 ома и наибольшая сила тока 0,235 ампера. Когда всѣ элементы соединены параллельно, то сопротивление батареи будетъ 0,133 ома, общее сопротивление цѣпи 6,133 омъ и наибольшая сила тока 0,162 ампера. Слѣдуя любительскому правилу группировать элементы такъ, чтобы внутреннее сопротивление равнялось бы вѣншему, мы должны соединить элементы въ четыре группы, въ каждой по 6 элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно. Тогда сопротивление батарей будетъ 6 омъ, общее же сопротивление 12 омъ, наибольшая сила тока 0,5 ампера. Постоянныя времени для этихъ трехъ случаевъ (вычисленныя, раздѣливъ коэффициентъ самоиндукціи на сопротивление) будутъ соответственно — для случая соединенія послѣдовательно — 0,06 секунды; для случая соединенія параллельно — 0,96 сек.; для случая соединенія для максимальнаго постояннаго тока — 0,5 сек. На основаніи этихъ данныхъ построены кривыя (фиг. 88), гдѣ по абсциссамъ отложены времена въ секундахъ, а по ординатамъ—сила тока. Вертикальныя пунктирныя линіи показываютъ постоянную времени въ этихъ трехъ случаяхъ. Изъ этихъ кривыхъ видно, что когда требуется быстрая работа, то намагничивающій токъ будетъ увеличиваться, въ продолженіи короткаго промежутка времени, скорѣе, когда всѣ элементы соединены послѣдовательно, чѣмъ когда они соединены на основаніи любительскаго правила. Когда элементы всѣ соединены послѣдо-

вательно такъ, что сопротивленіе баттарен значительно больше сопротивленія остальной части цѣпи, то токъ возрастаетъ бы-

Фиг. 88



Кривыя усиленія тока при различныхъ группировкахъ элементовъ баттары.

стрѣе, благодаря малости постоянной времени, хотя и не достигаетъ того предѣльнаго значенія, которое достигается при другихъ группировкахъ. Другими словами, если цѣпь обладаетъ сопротивленіемъ и самоиндукціей, то любительское правило не даетъ невыгоднѣйшей группировки баттары. Существуетъ другой способъ разсматривать этотъ вопросъ, который даетъ полезныя результаты. Самоиндукція въ случаѣ, когда токъ возрастаетъ, дѣйствуетъ какъ нѣкоторое добавочное сопротивленіе, прибавленное къ сопротивленію цѣпи, когда же токъ уменьшается, то она дѣйствуетъ какъ будто сопротивленіе цѣпи уменьшено. Поэтому можно соединить баттары такъ, чтобы ея внутреннее сопротивленіе равнялось бы истинному сопротивленію цѣпи плюсъ добавочное сопротивленіе, которое является въ это время. Но каково это добавочное сопротивленіе, являющееся въ продолженіи этого времени? Это сопротивленіе пропорціональное времени, прошедшему отъ момента замыканія тока. Такимъ образомъ вопросъ сводится къ величинѣ промежутка времени, въ который выхотите работать. Какую часть секунды требуетъ подача вашего сигнала? Какова продолжительность колебанія молоточка вашего звонка? Положимъ вы рѣшили этотъ вопросъ и пусть короткій промежу-



токъ времени, пока токъ долженъ возрасть будетъ  $t$ , тогда сопротивление по истеченіи времени  $t$ , послѣ момента замыканія тока дается формулой

$$R_t = R \times e^{\frac{R}{L}t} \div \left( e^{\frac{R}{L}t} - 1 \right)$$

### «Постоянныя времени» электромагнитовъ.

Я сошлюсь здѣсь на нѣсколько опредѣлений коэффициентовъ самоиндукціи, сдѣланныхъ Васки (Vaschy)\* для электромагнитовъ нѣсколькихъ телеграфныхъ приборовъ. Изъ нихъ приведу одно, которое очень знаменательно. Оно относится къ электромагниту приѣмнаго аппарата Морзе, модели обыкновенно употребляемой во Франціи:

*L* въ квадрантахъ.

Катушки отдѣльно, безъ желѣзныхъ сердечниковъ	0,233 и 0,265
Катушки отдѣльно, съ желѣзными сердечниками	1,65 и 1,71
Катушки съ сердечниками, соединенными полосой, обмотки включены послѣдовательно . . .	6,37
Катушки, когда арматура лежитъ на полюсахъ .	10,68

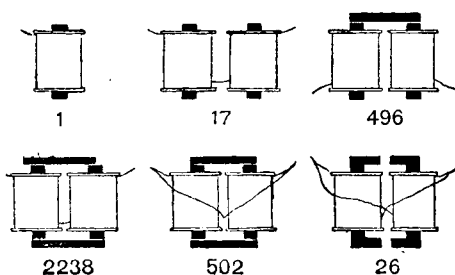
Интересно замѣтить какъ увеличивается самоиндукція, когда улучшается магнитная цѣпь.

Благодаря любезности г. Приса (Mr. Preece) мнѣ были сообщены очень важныя свѣдѣнія относительно сопротивленій и коэффициентовъ самоиндукціи образцовыхъ моделей релэ и другихъ инструментовъ, которые употребляются на англійскихъ телеграфахъ. Изъ этихъ данныхъ можно очень точно вычислить, какова будетъ постоянная какого либо прибора, дѣйствующаго въ извѣстной цѣпи, и сколько времени въ этомъ случаѣ потребуется, чтобы токъ увеличился до извѣстной части своей окончательной величины. Позвольте мнѣ сослаться тутъ на весьма важный трудъ Приса, напечатанный въ номерѣ *Journal of the Society of Telegraph Engineers*, трудъ озаглавленный «О Шунтахъ» (*On Shunts*), въ

\*) Bulletin de la Société Internationale des Electriciens, 1886.

которомъ онъ разсматриваетъ этотъ вопросъ, конечно не такъ совершенно, какъ это можно сдѣлать теперь, благодаря приобретеннымъ къ 1890 г. свѣдѣніямъ о самоиндукціи, но тѣмъ не менѣе очень хорошо. Онъ вполне доказалъ, что чѣмъ полнѣе магнитная цѣпь, тѣмъ сильнѣе запаздываніе тока, хотя конечно при этомъ токъ даетъ больше магнетизма. Способъ изслѣдованія Приса былъ очень простъ: онъ наблюдалъ отклоненія гальванометра, когда цѣпь, содержащая батарею и электромагнитъ замыкалась при помощи ключа, который въ то же самое время соединялъ гальванометръ съ обмоткой электромагнита. Предполагалось, что отклоненіе гальванометра измѣряло экстра-токъ, который проходилъ черезъ него. Фиг. 89 представляетъ нѣсколько электромагнитовъ, съ которыми производилъ Присъ изслѣдованія.

Фиг. 89.

*Электромагниты отъ релэ и ихъ дѣйствія.*

Возьмемъ катушку обыкновеннаго релэ съ желѣзнымъ стержнемъ, такъ сказать половину электромагнита безъ соединительной части и арматуры. Соединимъ ее какъ было описано и замѣтимъ отклоненіе гальванометра. Величина отклоненія отъ одной катушки примемъ за единицу и всѣ остальные будемъ сравнивать съ ней. Соединивъ двѣ такихъ катушки такъ, какъ они соединяются обыкновенно, т. е. послѣдовательно, получимъ отклоненіе 17. Прибавивъ соединительную часть и сдѣлавъ такимъ образомъ подковообразный магнитъ, получимъ отклоненіе 496, т. е. въ этомъ электромагнитѣ стремленіе тока запаздывать было въ 496 разъ больше, чѣмъ въ простой катушкѣ. Когда къ полюсамъ была приложена арматура, то отклоненіе увеличилось до 2238. Соединивъ катушки параллельно, вмѣсто прежняго послѣдовательнаго соединенія, увидимъ, что отклоненіе уменьшилось до 502, т. е.

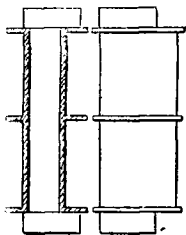
меньше чѣмъ до одной четверти прежняго. Наконецъ, если арматуру и соединительную полосу разрѣзать по срединѣ, какъ это на самомъ дѣлѣ и дѣлается въ образцовыхъ моделяхъ Британскихъ телеграфныхъ релэ, то отклоненіе гальванометра уменьшится съ 502 до 26. Устроенное такимъ образомъ релэ работаетъ весьма быстро. Присъ утверждаетъ, что съ прежними моделями релэ, обладавшими такой самоиндукціей, что гальванометръ давалъ отклоненіе 1688, скорость сигнализациі была только отъ 50 до 60 словъ въ минуту, тогда какъ съ моделями, устроенными по новому плану, скорость сигнализациі стала отъ 400 до 500 словъ въ минуту. Возможность получить такіе результаты съ помощью экспериментальныхъ изслѣдованій магнитной цѣпи, представляетъ дѣйствительно большой интересъ.

### Британскія телеграфныя релэ.

Какъ примѣръ быстро работающихъ телеграфныхъ приборовъ, мы опишемъ здѣсь четыре формы релэ, употребляемыхъ на телеграфахъ Британскаго королевства.

Модель релэ «А» имѣетъ электромагнитъ, который представленъ въ половину настоящей величины на фигурѣ 90. Одна изъ

Фиг. 90.



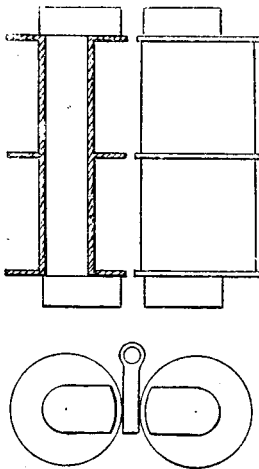
катушекъ представлена обмотанной, другая нѣтъ. Въ официальномъ описаніи этого электромагнита сказано: «Желѣзные сердечники этого электромагнита должны быть выточены изъ сплошнаго куска лучшаго шведскаго желѣза и, будучи хорошо отожжены, не должны удерживать никакого слѣда остаточнаго магнетизма послѣ того, какъ черезъ ихъ обмотки будетъ пропущенъ токъ, электродвижущая сила котораго должна равняться 50 вольтамъ». На обоихъ электромагнитахъ обмотка состоитъ изъ четырехъ проволокъ въ 0,005 дюйма въ діаметрѣ, изъ которыхъ каж-

\*) Авторъ обязанъ тѣми подробностями относительно этихъ приборовъ, которыя онъ можетъ сообщить, любезности главнаго инженера Британскихъ телеграфовъ В. Приса.

дая должна имѣть сопротивленіе въ 100 омовъ при температурѣ 60° F. (15° C). Допускается отклоненіе въ ту и другую сторону не болѣе какъ на *одинъ* процентъ. Проволоки должны быть равной длины. Концы каждой пары проволокъ должны быть различнаго цвѣта (зеленаго и бѣлаго). Въ оффиціалномъ наставленіи къ испытанію приборовъ прибавлено: «изолировка частей, между которыми не должно быть электрическаго соединенія, должна быть весьма тщательна. Особенно это условіе должно быть исполнено при изолированіи обмотки отъ стержня и дифференціальныхъ обмотокъ другъ отъ друга. Приборы должны быть забракованы, если сопротивленіе изолировки меньше одного мегома». Вся длина проволоки въ обмоткѣ релэ «А» равняется 320 ярдамъ, ея сопротивленіе, когда всѣ обмотки соединены послѣдовательно равняется 400 омомъ и ихъ коэффициентъ самоиндукціи равенъ 3,25 квадранта.

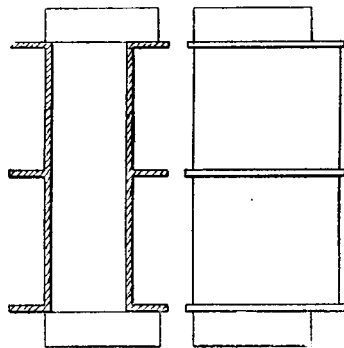
Въ модели «В» представленной въ половинную величину на фиг. 91, обмотка тоже сдѣлана изъ проволокъ въ 0,005 д. въ

Фиг. 91.



Модель «В» релэ Р.О.

Фиг. 92.



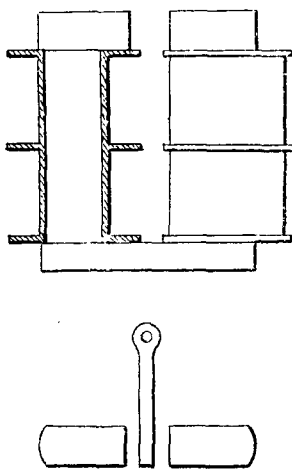
Модель «С» релэ Р.О.

діаметрѣ. Здѣсь всего двѣ проволоки, каждая въ 320 ярдовъ длиною и съ сопротивленіемъ въ 400 омовъ. Обѣ проволоки, послѣ

наматыванія, соединяются навсегда параллельно такъ, что сопротивление обмотки прибора равно 200 омамъ, а его коэффициентъ самоиндукціи 2,14 квадранта.

Модель «С» (на фиг. 92 въ половинную величину), самая большая изъ моделей релэ, снабжена обмоткой изъ проволоки длиною 960 ярдовъ и діаметромъ 0,005 дюйма. Сопротивленіе обмотки 1200 омовъ, а коэффициентъ самоиндукціи 26,4 квадранта. Сопротивленіе тутъ въ три раза больше, чѣмъ въ модели «А», а коэффициентъ самоиндукціи почти въ девять разъ. Относительно сердечниковъ моделей «В» и «С» даются тѣ же инструкции, что и относительно сердечниковъ модели «А». Въ каждой модели употребляется кромѣ того постоянный изогнутый магнитъ (изъ вольфрамовой стали), который поляризуетъ арматуры. Въ каждой модели двѣ арматуры: одна между верхними полюсными наконечниками, другая между нижними.

Фиг. 93.



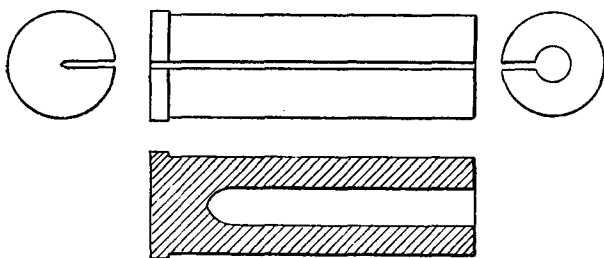
Релэ Сименса.

Фиг. 93 представляетъ (въ половинную величину) релэ Сименса принятое на Британскихъ телеграфахъ. Обмотка электромагнитовъ сдѣлана изъ 646 ядровъ проволоки въ 0,007 д. въ діаметръ. Сопротивленіе ея 400 омовъ, коэффициентъ самоиндукціи 7,09 квадранта.

## Электромагниты Гиггинса (Higgins).

Электромагниты, употребляемые въ автоматическихъ печатающихъ телеграфныхъ аппаратахъ Exchange Telegraph Co, представляютъ другой примѣръ электромагнитовъ, приспособленныхъ для быстрой работы. Гиггинсъ замѣтилъ, что сердечники болѣе короткіе сравнительно со своимъ діаметромъ, лучше годятся для быстрой работы, чѣмъ тонкіе и длинные. Точно также онъ отбросилъ употребленіе выдающихся концовъ и полюсныхъ накопечниковъ на томъ основаніи, что они замедляютъ дѣйствіе. На этомъ же основаніи онъ не употребляетъ и металлическихъ катушекъ. Сердечники такихъ электромагнитовъ (фиг. 94) дѣлаются

Фиг. 94.



Сердечникъ электромагнита Exchange Telegraph Co.

изъ очень хорошаго сорта желѣза, выплавленнаго на углѣ, которое готовится въ Швейцаріи. Въ сердечникѣ просверливаютъ отверстіе шириною въ  $\frac{1}{3}$  его діаметра почти насквозь, затѣмъ распиливаютъ вдоль по образующей и отжигаютъ. Для этого электромагнита употребляется плоская арматура.

Нѣкоторыя свѣденія относительно электромагнитовъ, употребляемыхъ въ релѣ Д'Арлингура, можно найти въ главѣ IX.

### Короткіе и длинные сердечники.

Разсматривая формы, наиболѣе удобныя для быстрого дѣйствія, надо помнить, что дѣйствіе гистерезиса, стремящагося замедлить перемѣны намагничиванія, гораздо болѣе замѣтно въ кускахъ, представляющихъ почти замкнутую цѣпь, чѣмъ въ кускахъ короткихъ.

Электромагнитъ съ желѣзной арматурой, касающейся полюсовъ, задержать, послѣ того какъ токъ будетъ разомкнутъ, значительную часть своего магнетизма, даже въ случаѣ, если сердечники будутъ сдѣланы изъ самаго мягкаго желѣза. Но какъ только арматура будетъ отнята, магнетизмъ исчезнетъ. Слой воздуха въ магнитной цѣпи всегда стремится ускорить размагничиваніе. Магнитная цѣпь, состоящая по большей части изъ воздуха и изъ малой части желѣза, сама размагничивается скорѣе, чѣмъ цѣпь, состоящая по большей части изъ желѣза и изъ малой воздушной части. Въ длинныхъ кускахъ желѣза взаимное вліяніе различныхъ частей стремится задержать весь магнетизмъ, которымъ они могутъ обладать, поэтому они размагничиваются медленно. Въ короткихъ кускахъ, гдѣ это взаимодействие или слабо, или его вовсе нѣтъ, магнетизмъ не такъ устойчивъ и пропадаетъ сейчасъ же за уничтоженіемъ намагничивающей силы.

Короткіе куски и маленькіе шарики изъ желѣза не обладаютъ «магнитной памятью». Отсюда убѣжденіе, распространенное повсюду между телеграфными инженерами, что для быстрого дѣйствія электромагниты должны обладать короткими сердечниками. Какъ мы видѣли, единственная причина, почему употребляются длинные сердечники — это желаніе имѣть достаточную длину, чтобы намотать проволоку, которая необходима для проведенія тока, нужнаго для того, чтобы провести магнетизмъ черезъ слой воздуха. Если для быстроты дѣйствія пожертвовали длиной, то проволока на короткомъ сердечникѣ должна быть намотана на большую толщину. Электромагниты въ американскихъ моделяхъ телеграфныхъ аппаратовъ обыкновенно имѣютъ болѣе короткіе сердечники и сравнительно большую толщину обмотки, чѣмъ европейскія модели.

### Быстродѣйствующіе электромагниты для хронографовъ.

Хотя электромагниты, устраиваемые для телеграфныхъ аппаратовъ и особенно для релэ и должны дѣйствовать быстро, тѣмъ не менѣе ихъ быстрота слишкомъ недостаточна для приведения въ дѣйствіе записывающихъ частей въ хронографахъ. Когда хронографы употребляются для такихъ опытовъ, какъ опредѣленіе скорости распространенія звуковой волны въ воздухѣ, то обыкновенно

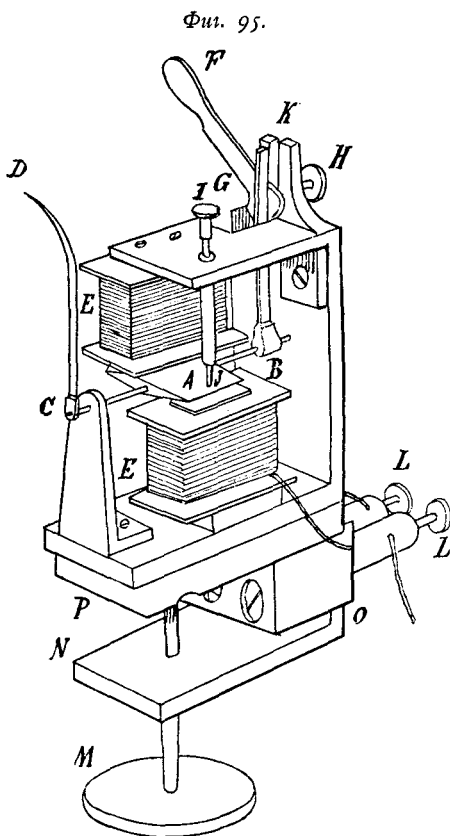
новенно устраиваютъ такъ, что электрическій токъ автоматически прерывается тѣмъ самымъ движеніемъ, которое нужно записывать. Арматура отпадаетъ и затѣмъ притягивается обратно пружиной. При этомъ остріе, придѣланное къ арматурѣ, дѣлаетъ отмѣтку на какойнибудь движущейся поверхности, обыкновенно на вращающемся равномерно барабанѣ. Между моментомъ прерыванія тока и записью можетъ пройти нѣкоторый промежутокъ времени, продолжительность котораго зависитъ отъ нѣсколькихъ причинъ. Во первыхъ электромагнитъ и цѣпь, въ которую онъ включенъ, обладаютъ нѣкоторой опредѣленной «постоянной времени», поэтому токъ потребуетъ нѣкотораго времени, чтобы уменьшиться до нуля. Во вторыхъ магнетизмъ можетъ отставать отъ тока, если сердечники и катушки устроены такъ, что въ нихъ могутъ появляться паразитные токи, или же, если желѣзные части электромагнита составляютъ почти замкнутую магнитную цѣпь. Въ третьихъ инерція движущейся части можетъ быть настолько велика, что эта часть не начнетъ двигаться нѣкоторое время послѣ того, какъ ужъ магнетизмъ исчезнетъ. Весь промежутокъ времени между моментомъ размыканія тока и моментомъ записи называется *медлительностью* (latency) прибора. Смитъ изъ Оксфорда, который ввелъ это названіе, удалось устроить такія записывающіе приборы, медлительность которыхъ меньше 0,0003 секунды.

Для того, чтобы уменьшить «постоянную времени» цѣпи, надо устроить электромагниты возможно меньшихъ размѣровъ, съ наименьшимъ количествомъ мѣдной проволоки въ обмоткахъ, которыя лучше помѣщать близъ полюсовъ, какъ на электромагнитахъ Юза, представленныхъ на фиг. 73. Въ цѣпь, кромѣ того, надо ввести значительное добавочное сопротивленіе, безъ самоиндукціи. Все желѣзо не должно быть сплошнымъ, а должно быть раздѣлено на пластинки. Движущая часть должна быть насколько возможно легче, а пружина такой формы, которая могла бы работать весьма быстро.

Устройствомъ такихъ электромагнитовъ занимались Гиппъ, Шнеебели, Марсель Дебре, Меркадье, Смитъ и многіе другіе. Достаточно будетъ описать двѣ формы, придуманные Марселемъ Дебре и форму, придуманную Смитомъ для его Оксфордской лабораторіи.



Фигура 95 представляетъ электромагнитъ одного изъ хронографовъ Марселя Дебре. Онъ состоитъ изъ двухъ прямыхъ элект-



*Электромагнитъ хронографа Дебре № 1 (въ натур. вел.).*

ромагнитовъ, *EE*, сердечники которыхъ сдѣланы изъ желѣзныхъ пластинокъ. Арматура имѣетъ форму ромба и можетъ вращаться вокругъ оси. Ея движеніе ограничивается штифтомъ *I* и управляется пружиной *BK*, натяженіе которой регулируется рычагомъ *F*. Записывающая часть—*CD*. При помощи винта *M* весь приборъ можно прикрѣпить къ какой либо подставкѣ. Ограничивая движеніе арматуры пространствомъ въ 2 миллиметра, можно довести медлительности прибора до 0,00016 сек. при размыканіи тока и до 0,00048 с. при замыканіи.

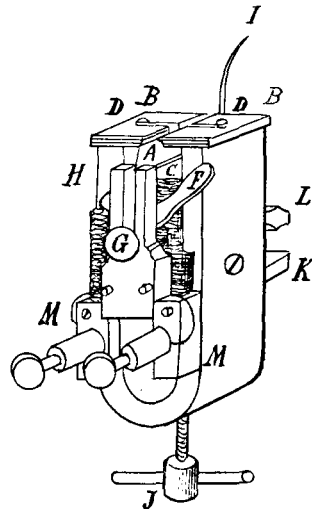
Другой механизмъ, придуманный Марселемъ Дебре—поляризованный. Онъ состоитъ изъ сильнаго постоянного магнита, (фиг. 96), повернутаго вѣтвями вверхъ и снабженнаго двумя полюсными наконечниками *BD, BD*.

Между вѣтвями помѣщена плоская катушка съ сердечникомъ, составленнымъ изъ пластинокъ. На верхней части сердечника лежитъ на одномъ ребрѣ арматура изъ мягкаго желѣза, имѣющая въ сѣченіи форму треугольника. Она можетъ вращаться вокругъ этого ребра, но ея движеніемъ, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, управляетъ особая пружина, натяженіе которой регулируется при помощи рычага *F*. Приборомъ этимъ пользуются такимъ же образомъ, какъ электромагнитомъ Юза (фиг. 79) т. е. арматура находится въ соприкосновеніи съ однимъ изъ полюсныхъ наконечниковъ постоянного магнита, а

пружина натянута всегда настолько, что ея сила была почти достаточна для того, чтобы оторвать арматуру. Когда по обмоткѣ центрального сердечника проходитъ токъ въ требуемомъ направленіи, арматура отрывается. Электрической токъ, происходящій при замыканіи цѣпи только  $\frac{1}{40000}$  сек. достаточенъ, чтобы привести приборъ въ дѣйствіе, но по даннымъ Дебре, нужно 0,001 сек. для того, чтобы оторвать арматуру.

Форма электромагнита, изобрѣтеннаго Смитомъ, представлена на фиг. 97 въ натуральную величину. Соединительная полоса состоитъ изъ маленькаго куска желѣза въ 18 мил. длиной и 22 кв. мил. въ сѣченіи. Сердечники имѣютъ форму тонкихъ цилиндровъ въ 1,5 мил. въ діаметрѣ и 9,5 мил. длиной. Желѣзо употребляется хорошо отожженное при низкой температурѣ, до котораго послѣ этой операціи уже не касался ни молотокъ, ни напильокъ. Арматурой (*A*) служитъ треугольная трубка изъ весьма

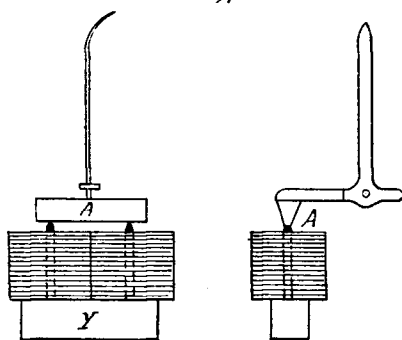
Фиг. 96.



Поляризованный электромагнитъ для хронографа Дебре.

тонкаго желѣза, прикрѣпленная къ рычагу L. Ребро арматуры, которое касается полюсовъ, закруглено, полюсамъ же придана

Фиг. 97.



*Электромагнитъ въ хронографѣ Смита.*

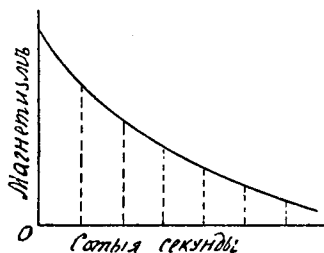
форма полушаровъ. Послѣ прикрѣпленія сердечниковъ къ соединительной полость, все отжигается въ газовой печи. Обѣ обмотки соединены параллельно. Смитъ нашель, что при одномъ и томъ же числѣ амперъ-оборотовъ, длина стержней имѣеть большое вліяніе на медлительность прибора. Въ описанномъ электромагнитѣ эта послѣдняя равняется 0,0003 секунды.

### Скорость приобрѣтенія и потери магнетизма.

Послѣ замыканія батареи должно пройти нѣкоторое время, пока токъ достигнетъ своей полной силы, а слѣдовательно и магнетизмъ требуетъ времени для своего возрастанія. Онъ увеличивается сначала медленно, потомъ быстро, потомъ опять медленно, пока не достигнетъ предѣльной величины. Точно такъ же электромагнитъ, особенно массивный или обладающій почти замкнутой магнитной цѣпью, требуетъ нѣкотораго времени, чтобы потерять свой магнетизмъ послѣ того, какъ токъ будетъ прерванъ. Если быстро разомкнуть цѣпь, въ которой находится большой электромагнитъ, то между концами появится тонкая искра, которая можетъ длиться нѣсколько секундъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, послѣ того какъ токъ былъ прерванъ и искра прекратилась, магнитъ продолжаетъ медленно терять свой магне-

тизмъ и его индуцирующее дѣйствіе можетъ такъ зарядить обмотку, что тронувши ее можно получить искру. Скорость, съ

Фиг. 98.



Кривая потери магнетизма.

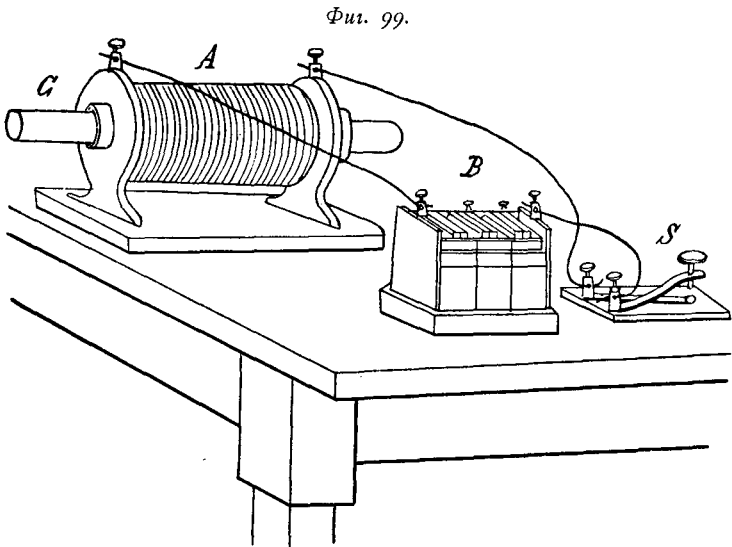
которую электромагнитъ теряетъ свой магнетизмъ не всегда одна и таже. Кривая, изображающая потерю магнетизма имѣетъ форму подобную изображенный на фиг. 98. Потеря идетъ скорѣе въ началѣ. Большіе электромагниты, напримѣръ такіе, которые употребляются въ динамомашинахъ, могутъ требовать нѣсколько минутъ, чтобы потерять свой магнетизмъ.

## ГЛАВА VIII.

### *Катушка съ подвижнымъ стержнемъ.*

Въ настоящей главѣ я разсмотрю приборъ, въ которомъ желѣз-  
ный стержень втягивается въ трубнообразную катушку или соленоидъ. Для краткости я позволяю себѣ назвать этотъ приборъ *катушкой съ подвижнымъ стержнемъ*. Уже давно, приблизительно съ 1822 г., было извѣстно, что катушка втягиваетъ въ себя кусочки желѣза и, что движеніе стержня въ катушкѣ подобно движенію поршня въ цилиндрѣ паровой машины.

Весьма простой опытъ можетъ пояснить о чемъ тутъ идетъ рѣчь. Трубнообразную катушку или соленоидъ (А) помещаютъ на подставку и соединяютъ концы проволоки, составляющей обмотку съ гальванической баттареей В (фиг. 99). Въ цѣпь вве-



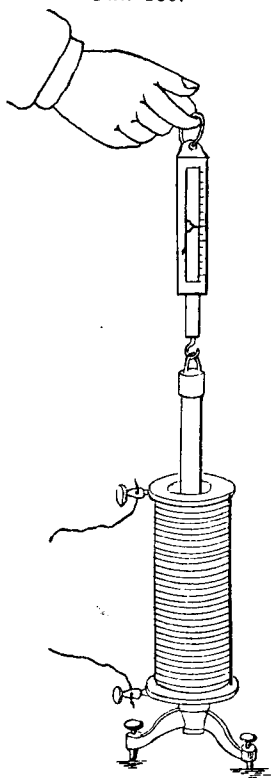
*Опытъ съ катушкой и подвижнымъ сердечникомъ.*

дствъ также обыкновенный пружинный ключъ S. Внутри пустотѣ-  
лой катушки можетъ двигаться стержень С. Если ввести внутрь

катушки только одинъ конецъ стержня и затѣмъ замкнуть токъ, то стержень мгновенно втягивается въ катушку и занимаетъ положеніе, представленное на фиг. 99, при которомъ оба его конца равно выдаются изъ катушки. При этомъ положеніи стержня равновѣсіе системы устойчивое. Если стержень заставить измѣнить положеніе, напримѣръ вытянуть его нѣсколько въ одну сторону и затѣмъ пустить, то онъ сейчасъ же вернется въ первоначальное положеніе. Какая то невидимая сила втянетъ его обратно. Дѣйствительно, лицо, держащее въ рукѣ стержень при попыткѣ вытянуть его вонъ, чувствуетъ, что стержень втягивается обратно, какъ будто бы подъ дѣйствіемъ пружины, помѣщенной внутри катушки. Благодаря этому свойству, рассматриваемый приборъ иногда называютъ *«всасывающимъ электромагнитомъ»*. Въ Англій на это изобрѣтеніе былъ взятъ патентъ въ 1846 г. подъ именемъ «новый электромагнитъ». На принципѣ втягивающагося стержня Пажемъ (Page), а затѣмъ и другими, были устроены электромагнитныя машины и двигатели, но ихъ обыкновенно считали за отдѣльныя изобрѣтенія. Если вы, желая узнать особенныя свойства катушки со стержнемъ, обратитесь къ литературѣ учебниковъ, то вы не найдете тамъ почти никакихъ свѣденій. Въ этихъ книгахъ довольствуются тѣмъ, что говорятъ: «это нѣчто въ родѣ магнитнаго всасыванья, стержень втягивается внутрь». Нѣкоторые учебники утверждаютъ, что сила становится наибольшей, когда стержень дойдетъ приблизительно до половины пути. Это вѣрно только въ одномъ частномъ случаѣ, но совершенно невѣрно во многихъ другихъ. Другіе учебники говорятъ, что сила бываетъ наибольшей въ точкѣ, лежащей на одинъ сантиметръ ниже середины катушки, несмотря на то какой длины будетъ стержень. Это утвержденіе уже совершенно невѣрно. Третьи учебники говорятъ, что широкая катушка дѣйствуетъ съ меньшей силой, чѣмъ узкая, что опять таки вѣрно въ однихъ случаяхъ и невѣрно въ другихъ. Такимъ образомъ книги даютъ весьма ограниченныя и неточныя свѣденія относительно интересующаго насъ предмета. Причины, почему катушка со стержнемъ достойна особаго разсмотрѣнія та, что этотъ механизмъ даетъ намъ возможность не только уравнивать силу, съ которой дѣйствуетъ электромагнитъ на всемъ протяженіи дѣйствія, но и увеличить значительно это протяженіе. Весьма простой опытъ можетъ показать разницу между простран-

ствомъ, на которомъ дѣйствуетъ обыкновенный электромагнитъ и на которомъ дѣйствуетъ катушка со стержнемъ. Фиг. 100 пред-

Фиг. 100.



Вертикальная катушка съ подвижнымъ стержнемъ.

ставляетъ поставленную вертикально трубкообразную катушку, длиною около 9 д. Желѣзный стержень, сдѣланный изъ куска желѣзнаго прута тоже длиною въ 9 д., подвѣшенъ при помощи петли къ обыкновеннымъ пружиннымъ вѣсамъ. Съ помощью этихъ вѣсовъ легко измѣрить силу, съ которой катушка дѣйствуетъ на стержень, находящійся на различныхъ расстояніяхъ отъ нея. Если держать стержень сначала довольно высоко надъ катушкой и затѣмъ постепенно спускать его, то дѣйствіе катушки начнетъ становиться замѣтнымъ съ того момента, когда нижній конецъ стержня будетъ находиться немного выше отверстія катушки. По мѣрѣ того, какъ стержень входитъ внутрь катушки, дѣйствіе ея усиливается. Въ этомъ частномъ случаѣ, т. е. когда длина стержня равна длинѣ катушки, сила, съ которой стержень втягивается, возрастаетъ до тѣхъ поръ,

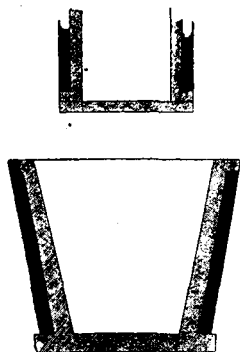
пока онъ не спустится нѣсколько ниже середины катушки, затѣмъ, при дальнѣйшемъ опусканіи стержня, она уменьшается, и пропадаетъ совершенно, когда концы стержня будутъ совпадать съ концами катушки. Итакъ тутъ сила дѣйствуетъ, хотя и неравномѣрно, на протяженіи равномъ длинѣ стержня.

Я приведу нѣсколько цифръ, заимствованныхъ мною изъ сочиненій покойнаго Роберта Хунта (Robert Hunt), читанныхъ имъ въ 1856 г. въ Institution of Civil Engineers и разобранныхъ въ записданіи, происходившемъ подъ предсѣдательствомъ знаменитаго инженера Роберта Стефенсона. Хунтъ описывалъ различные типы

электрическихъ двигателей и говорилъ по поводу вопроса о протяженности дѣйствія. Онъ привелъ нѣсколько своихъ опытовъ, въ которыхъ протяженія дѣйствія были таковы: подковообразный электромагнитъ на разстояніи нуль, т. е. когда арматура прикасалась къ полюсу, онъ притягивалъ съ силой 220 фунтовъ; когда разстояніе было увеличено до  $\frac{4}{1000}$  дюйма, то сила уменьшилась до 90 фун., когда же разстояніе увеличилось до  $\frac{1}{50}$  дюйма, то сила еще уменьшилась до 36 фун. Слѣдовательно измѣнененіе на разстояніи  $\frac{1}{50}$  дюйма было отъ 220 фун. до 36 фун. Этотъ результатъ значительно разнится отъ другаго, даннаго механизмомъ, не совсѣмъ подобнымъ катушкѣ съ подвижнымъ стержнемъ, но электромагнитомъ особой формы, изобрѣтеннымъ въ 1845 г. однимъ датчаниномъ жившемъ въ Ливерпулѣ, по имени Хіорть (Hjörth). Электромагнитъ состоялъ изъ пустотѣлаго усѣченнаго желѣзнаго конуса (фиг. 101), на поверхности котораго были сдѣлана обмотка. Этотъ, такъ сказать, пустотѣлый электромагнитъ, дѣйствовалъ на другой электромагнитъ, который втягивался въ него. Мы не знаемъ, какова была сила, съ которою дѣйствовалъ этотъ оригинальный механизмъ на разстояніи нуль, но на разстояніи одного дюйма сила была 160 фун.

(приборъ былъ больше прибора Хунта), на разстояніи 3 дюймовъ,—88 фун., на разстояніи 5 д.—72 ф. Здѣсь протяженіе дѣйствія не  $\frac{1}{50}$  д., но 5 дюймовъ и сила падаетъ не съ 220 ф. до 36 ф., но съ 160 ф. до 72 ф. Очевидно, что тутъ дѣйствіе на всемъ протяженіи гораздо болѣе равномерно. По этому поводу въ Institution of Civil Engineers этотъ вопросъ разсматривался самими знаменитыми учеными: Джоулемъ, Коуперомъ, Вильямомъ Томсономъ, Грове, Тиндалемъ, и разсматривался всесторонне, какъ относительно протяженія дѣйствія, такъ и относительно того, что въ то время не было возможности работать съ подобнаго рода механизмами иначе, какъ сожигая цинкъ въ первичныхъ батареяхъ. Они всѣ пришли къ заключенію, что электрическіе двигатели никогда не будутъ окупаться. Робертъ Стефенсонъ, резюмируя разсужденія, сказалъ: «заключая пренія, я могу сказать, что изъ

Фиг. 101.



Электромагнитный механизмъ Хіорта.

знаменитыми учеными: Джоулемъ, Коуперомъ, Вильямомъ Томсономъ, Грове, Тиндалемъ, и разсматривался всесторонне, какъ относительно протяженія дѣйствія, такъ и относительно того, что въ то время не было возможности работать съ подобнаго рода механизмами иначе, какъ сожигая цинкъ въ первичныхъ батареяхъ. Они всѣ пришли къ заключенію, что электрическіе двигатели никогда не будутъ окупаться. Робертъ Стефенсонъ, резюмируя разсужденія, сказалъ: «заклучая пренія, я могу сказать, что изъ



всего сказаннаго ясно, что употребленіе voltaическаго электричества, какимъ бы образомъ оно не добывалось, совершенно не можетъ получить примѣненія въ промышленности. Кромѣ того, не рассматривая даже вопросъ съ этой точки зрѣнія, механическія приложенія, кажется, представляютъ почти непреодолимые затрудненія. Сила развиваемая электромагнетизмомъ, хотя бы и большая, дѣйствуетъ на такомъ незначительномъ протяженіи, что практически она бесполезна. *Сильный магнитъ можно сравнить съ паровой машиной, въ которой громадный поршень обладаетъ весьма небольшимъ ходомъ. Подобнаго рода устройство достаточно извѣстно, чтобы признать его весьма нежелательнымъ».*

Со времени этихъ разсужденій въ 1856 г., когда вопросъ о протяженіи дѣйствія былъ высказанъ столь ясно, и до нынѣшняго времени, было сдѣлано много попытокъ, чтобы найти способъ устраивать электромагниты съ большимъ протяженіемъ дѣйствія. Тѣ изслѣдователи, которые успѣли что нибудь сдѣлать, по большей части не были теоретиками, а были приведены къ своимъ результатамъ силою обстоятельствъ. Я боюсь, что, еслибы они пожелали пролить на этотъ вопросъ нѣсколько свѣта, при помощи вычисленій, основанныхъ на свѣденіяхъ относительно поверхностнаго распредѣленія магнетизма и тому подобныхъ, то эти вычисленія не принесли бы имъ большой помощи. Конечно первымъ бы явился законъ обратной пропорціональности квадратамъ разстояній и изслѣдователи убѣдились бы, что невозможно устроить магнитъ, который дѣйствовалъ бы на нѣкоторомъ протяженіи съ одинаковой силой, потому что сила навѣрное мѣнялась бы обратно пропорціонально квадратамъ разстояній. Теперь мы уже знаемъ, въ какихъ случаяхъ можно примѣнять этотъ законъ и можно навѣрное сказать, что къ случаю катушки со стержнемъ онъ не примѣнимъ.

Постараемся теперь найти истинные законы, управляющія дѣйствіемъ катушки на стержень. Это не особенно трудно, если только держаться правильныхъ идей.

Мы должны начать съ самаго простаго случая, именно со случая дѣйствія катушки, состоящей только изъ одного оборота, на одинъ полюсъ — точку. Затѣмъ мы будемъ въ состояніи рассмотреть дѣйствіе на — полюсъ точку, длинной трубкообразной катушки. Затѣмъ перейдемъ къ болѣе сложному случаю дѣйствія

трубкообразной катушки на очень длинный желѣзный стержень, и наконецъ отъ этого случая перейти къ случаю короткаго стержня.

Всѣ вы знаете, какъ будетъ дѣйствовать длинная трубкообразная катушка на желѣзный стержень. Посмотримъ, что покажетъ опытъ. Я пропускаю по обмоткѣ токъ и подношу къ отверстию ея стержень изъ мягкаго желѣза, онъ сейчасъ же втягивается внутрь. Если я его вытолкну слегка, онъ опять втягивается внутрь, какъ бы отъ дѣйствія пружины. Сила тока тутъ около 25 амперъ, а число оборотовъ проволоки въ обмоткѣ катушки 700. Стержень длиною 20 д. и діаметромъ въ одинъ дюймъ. Сила настолько велика, что я не могу его вытолкнуть до конца. Втягивающая сила была очень незначительна, когда стержень былъ снаружи, но какъ только его помѣстили внутрь катушки, сейчасъ же сила увеличилась и стержень втянувшись въ катушку, помѣстился такъ, что оба конца его выступаютъ изъ катушки на равную длину. Я употребилъ трубкообразную катушку въ 14 д. длины. Теперь же возьмемъ другую болѣе короткую, длиною только въ  $\frac{1}{2}$  дюйма, или же еще болѣе короткую, въ которой длина по оси очень незначительна въ сравненіи съ отверстіемъ. Она состоитъ только изъ одного оборота проволоки. Какъ будетъ дѣйствовать такое кольцо на магнитъ, помѣщенный на оси, когда по немъ проходить токъ?

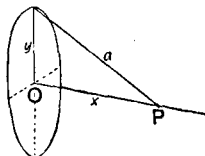
### Вычисленіе силы дѣйствія катушки на стержень.

Прежде всего рассмотримъ слѣдующій случай: взять стальной магнитъ такой длины, что вліяніе удаленнаго полюса столь слабо, что имъ можно совершенно пренебречь, а дѣйствуетъ только ближайшій къ кольцу полюсъ на примѣръ сѣверный. Какимъ образомъ будетъ дѣйствовать это кольцо на полюсъ? Сила, съ которой оно будетъ дѣйствовать, не будетъ мѣняться обратно пропорціонально квадратамъ, кубамъ или какимъ нибудь другимъ степенямъ разстояній, измѣренныхъ вдоль по оси, но будетъ мѣняться обратно пропорціонально кубамъ разстояній отъ полюса до окружности.

Пусть точка  $O$  (фиг. 102) представляетъ центръ кольца радіуса равнаго  $y$ . Линія  $OP$  есть ось кольца и разстояніе отъ  $O$  до  $P$  назовемъ  $x$ . Разстояніе отъ  $P$  до окружности мы назовемъ  $a$ .

Сила вдоль по оси по направленію къ центру кольца мѣняется обратно пропорціоально кубамъ величинъ  $a$ . Чтобы изучить измѣненіе силы въ различныхъ точкахъ вдоль по оси, можно это измѣненіе выразить графически. Обратите вниманіе на фиг. 102,

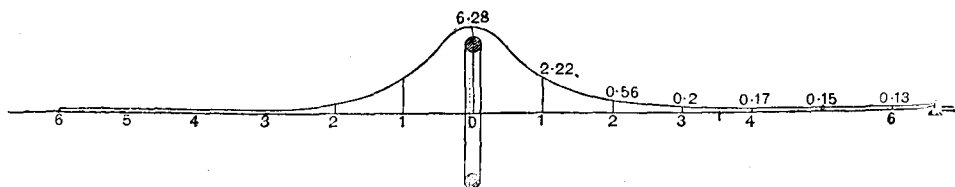
Фиг. 102.



*Дѣйствіе обмотки изъ одного оборота на полюсъ помѣщенный на оси.*

которая изображаетъ поперечное сѣченіе кольца. Направо и налѣво отъ него по вертикалямъ отложены величины силы въ нѣкоторыхъ точкахъ на оси, вычисленныя для тока въ 10 амперъ, проходящаго по кольцу: радіуса въ одинъ сантиметръ. Сила, съ которой такое кольцо дѣйствуетъ на полюсъ, равный единицѣ, помѣщенный въ центрѣ кольца равна 6,28 динъ. Когда полюсъ продвинутъ вдоль по оси, то сила уменьшается. На разстояніи одного радіуса, она становится равна 2,22 динамъ, на разстояніи двухъ радіусовъ—0,56 динамъ, на разстояніи 4 радіусовъ или двухъ діаметровъ она уменьшается до 0,17 динъ, т. е. меньше чѣмъ до

Фиг. 103.

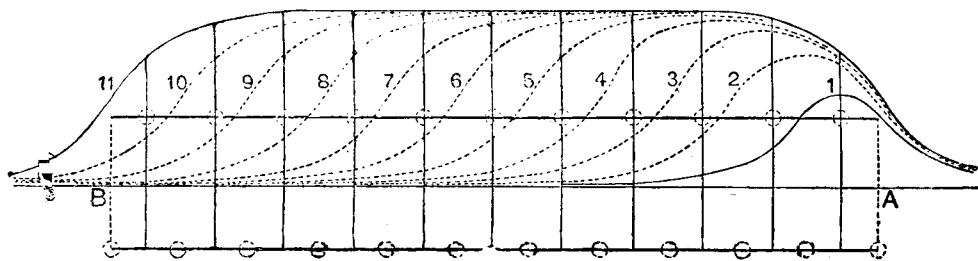


*Дѣйствіе одного оборота на точки лежащія на оси.*

3% первоначальной величины, сила же на разстояніи 3 діаметровъ едва равна 2% той, которая была въ центрѣ кольца. Если мы беремъ очень длинный магнитъ, то мы можемъ вполнѣ пренебречь дѣйствіемъ на болѣе удаленный полюсъ. Если у меня есть длинный стальной магнитъ, южный полюсъ котораго находится на разстояніи 5 или 6 футовъ, а сѣверный—на разстояніи 3 діаметровъ отъ плоскости кольца, (т. е. въ данномъ случаѣ на разстояніи 6 сантим.), то дѣйствіемъ тока, проходящаго по кольцу на сѣверный полюсъ, практически можно пренебрегать, т. к. оно достигаетъ всего 2% того дѣйствія, который испытываетъ полюсъ въ центрѣ кольца. Въ случаѣ обмотки, состоящей изъ нѣсколькихъ

оборотовъ проволоки, нужно разсматривать дѣйствіе всѣхъ оборотовъ. Если ближайшій изъ оборотовъ находится на разстояніи 3 диаметровъ отъ полюса, то остальные будутъ на большихъ разстояніяхъ и слѣдовательно, если мы пренебрегаемъ такими незначительными величинами, какъ 2<sup>0</sup>/<sub>10</sub>, то подавно можемъ пренебречь дѣйствіемъ этихъ оборотовъ, т. к. оно будетъ еще незначительнѣе. Чтобы изучить дѣйствіе трубкообразной обмотки, я воспользуюсь графическимъ способомъ Сайера (Sayers). Положимъ, что у насъ есть длинная трубка, покрытая по всей длинѣ мѣдной проволокой, дѣйствіе ея будетъ то же самое, какъ если бы проволока была собрана вмѣстѣ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ трубки, на нѣкоторыхъ разстояніяхъ другъ отъ друга. Если, напримѣръ, на катушкѣ, которой я пользовался для опыта, сдѣлано по 4 оборота на каждомъ сантиметрѣ длины, то дѣйствіе ея не измѣнится, если вмѣсто этихъ четырехъ оборотовъ на каждомъ сантиметрѣ будетъ одинъ, но изъ настолько толстой проволоки, чтобы по ней проходилъ токъ въ четыре раза болѣе сильный чѣмъ раньше. Диаграмма фиг. 104

Фиг. 104.



Дѣйствіе трубчатой обмотки.

вычислена въ предположеніи, что дѣйствіе не измѣнится, если проволоки будутъ собраны такимъ образомъ. Вычисленіе же отъ этого облегчится. Начиная отъ конца, обозначеннаго буквой А, мы собираемъ вмѣстѣ всю проволоку, покрывавшую первый сантиметръ и можемъ начертить кривую, для дѣйствія этихъ проволокъ, обозначенную знакомъ 1. Для слѣдующаго пучка мы можемъ вычертить такую же кривую, но вмѣсто того, чтобы откладывать ординаты отъ горизонтальной линіи, отложимъ ихъ отъ кривой 1; такимъ образомъ мы получимъ кривую 2. Тоже мы можемъ сдѣлать и для третьяго пучка и такимъ образомъ посте-

ленно дойдемъ до окончательной кривой, выражающей дѣйствія разсматриваемой трубкообразной катушки на единичный полюсъ, помѣщаемый въ различныхъ точкахъ на оси. Полученная такимъ образомъ кривая начинается приблизительно на разстояніи  $2\frac{1}{2}$  діаметровъ отъ концовъ обмотки, поднимается сначала тихо, а потомъ вдругъ, затѣмъ нагибается и становится почти горизонтальной. Начиная отъ точки, лежащей приблизительно на разстояніи  $2\frac{1}{2}$  діаметровъ отъ конца А, кривая перестаетъ подниматься и начиная съ этой точки она становится практически горизонтальной, т. к. ея ординаты не мѣняются больше чѣмъ на 1<sup>0</sup>%, какова-бы ни была длина катушки. Напримѣръ въ катушкѣ въ одинъ дюймъ въ діаметрѣ и 20 д. длиною, внутри ея вдоль по оси, магнитное поле равномерно на длинѣ 15 д. Въ катушкѣ въ 3 сант. въ діаметрѣ и 40 сант. длиной, равномерное магнитное поле внутри ея будетъ на длинѣ 32 сант. Слѣдовательно магнитная сила появляется внѣ катушки, увеличивается по мѣрѣ приближенія къ ней, достигаетъ извѣстнаго максимума внутри ея, недалеко отъ конца, и затѣмъ остается постоянной почти по всей длинѣ. У другого конца сила начинается совершенно симметрично убывать. Ординаты изображаютъ силу въ различныхъ точкахъ оси, но они могутъ изображать не только намагничивающую силу, но и силу, дѣйствию которой подвергается магнитный полюсъ, находящійся на концѣ длиннаго тонкаго стального магнита, опредѣленной силы.

Вотъ формула, которая позволяетъ вычислить напряженность магнитной силы въ какой либо точкѣ на оси длинной трубкообразной катушки, въ той ея части, гдѣ поле равномерно:

$$H = 4 \pi \times \text{число амперъ-оборотовъ на сант. длины.}$$

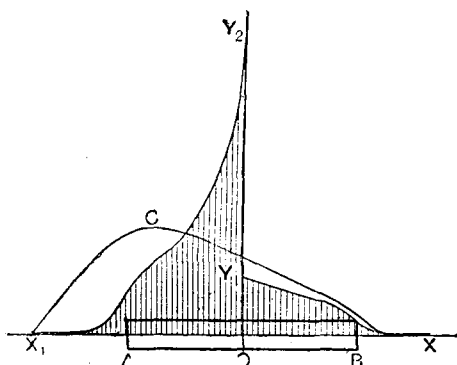
Такъ какъ вся величина намагничивающей силы трубкообразной катушки пропорціональна не только магнитной силѣ въ нѣкоторой точкѣ, но также и длинѣ обмотки, то намагничивающую силу, которой подвергается кусокъ желѣза, находящійся внутри обмотки, практически можно признать равной  $\frac{4\pi}{10}$  умноженнымъ на число амперъ-оборотовъ той части обмотки, которая окружаетъ желѣзо. Если желѣзо выдается изъ обоихъ концовъ обмотки болѣе чѣмъ на три діаметра ея, то вся намагничивающая сила будетъ:

$$\frac{4\pi}{10} \times \text{полное число амперъ-оборотовъ.}$$

Конечно на практикѣ намъ придется имѣть дѣло не съ такимъ случаемъ. Мы не въ состояніи получить стальнаго магнита съ неизмѣняемыми полюсами опредѣленной силы. Даже магнитъ изъ самой твердой стали, намагниченный такъ, чтобы полюсъ былъ возможно ближе къ концу его, становится сильнѣе, чѣмъ былъ лишь только его вложить въ катушку. Такимъ образомъ въ настоящее время невозможно получить магнита съ неизмѣняемыми полюсами. На этомъ основаніи употребляютъ не сталь, а мягкіе желѣзные стержни, которые находясь на нѣкоторомъ разстояніи отъ катушки бывають совершенно не намагничены, но какъ только ихъ подносятъ къ отверстию катушки, становятся намагниченными. Магнетизмъ ихъ увеличивается постепенно при вдвиганіи внутрь катушки. Подобный стержень стремится принять такое положеніе, чтобы оба его конца равно выдавались изъ катушки, такъ какъ при этомъ положеніи стержня магнитная цѣпь наиболѣе приближается къ замкнутой. Въ этомъ положеніи стержень намагниченъ до высшаго предѣла. Слѣдовательно, какова бы ни была намагничивающая сила вдоль трубки, магнетизмъ, входящаго въ нее стержня, усиливается по мѣрѣ того, какъ онъ вдвигается внутрь ея. Теперь мы прибѣгнемъ къ слѣдующему способу изученія явленія. Мы построимъ кривую, для которой будемъ наносить не величины намагничивающей силы спирали въ различныхъ точкахъ, но величины произведеній намагничивающихъ силъ на магнетизмъ желѣзнаго стержня, который, какъ было сказано, самъ увеличивается по мѣрѣ того, какъ стержень вдвигается внутрь обмотки. Кривая съ плоской верхней частью относится къ идеальному случаю одного полюса постоянной силы. Мы теперь отъ нея хотимъ перейти къ кривой, которая представляла бы дѣйствительный случай съ желѣзнымъ стержнемъ. Положимъ сначала, что нашъ стержень очень длиненъ, длиненъ настолько, что когда передній конецъ его уже вошелъ внутрь катушки, задній еще находится далеко отъ нея. Количество магнетизма, которое можно развить въ желѣзномъ стержнѣ при помощи данной намагничивающей силы, конечно зависитъ отъ размѣровъ стержня и качества желѣза, изъ котораго онъ сдѣланъ. Когда стержень дошелъ до известной точки, то всѣ намагничивающія силы отъ оборотовъ, лежащихъ до этой точки, дѣйствуютъ на него. Онъ приобретаетъ нѣкоторое количество

магнетизма и сила, съ которой онъ втягивается, увеличивается все время, хотя намагничивающая сила катушки вдоль оси почти не мѣняется. Она остается постоянной внутри катушки на всемъ пространствѣ до точки, лежащей приблизительно на разстояніи двухъ діаметровъ отъ дальняго ея конца. Итакъ, хотя намагничивающая сила спирали остается постоянной, все же сила, съ которой стержень втягивается, увеличивается, т. к. стержень приобретаетъ все больше и больше магнетизма. Эта сила увеличивается почти равномерно (если желѣзо еще не насыщено), пока стержень не дойдетъ почти до конца спирали. На фиг. 105

Фиг. 105.



*Діаграмма силы и работы катушки съ подвижнымъ сердечникомъ.*

изображена трубкообразная катушка АВ. Представимъ себѣ, что направо отъ нея находится длинный желѣзный стержень, и что его конецъ постепенно приближаютъ къ концу катушки В. Когда онъ достигнетъ точки X, то сила втяженія становится замѣтной и увеличивается сначала быстро, пока конецъ стержня не дойдетъ до отверстія катушки. Затѣмъ она увеличивается медленнѣе, пока стержень движется внутри катушки и достигаетъ максимума С приблизительно около другаго ея конца (А). Приближаясь къ концу А, стержень входитъ въ область, гдѣ намагничивающая сила катушки начинаетъ уменьшаться, но магнетизмъ слегка увеличивается, потому что нѣчто прибавляется ко всей намагничивающей силѣ и это нѣчто почти уравниваетъ уменьшеніе намагничивающей силы. Такимъ образомъ сила втяженія дости-

гаетъ своего максимума. Этому максимуму соотвѣтствуетъ высшая точка С кривой. Онъ появляется какъ разъ на дальнемъ концѣ трубкообразной обмотки. Съ этой точки начинается уменьшеніе силы. Быстрота этого уменьшенія прямо зависитъ отъ длины стержня. Если стержень настолько длиненъ, что когда одинъ конецъ его достигъ конца А, другой еще находится далеко, то кривая спускается очень медленно, идетъ далѣе трехъ діаметровъ и постепенно приближается къ оси абсциссъ. Если же, наоборотъ, другой конецъ будетъ находиться на болѣе близкомъ разстояніи отъ В, то кривая спустится гораздо скорѣе и дойдетъ до опредѣленной точки Х. Въ случаѣ, напримѣръ, если стержень въ два раза длиннѣ катушки, то кривая спустится приблизительно въ видѣ прямой линіи въ такую точку, для которой концы стержня равно удалены отъ концовъ катушки.

Рѣшительно то же самое произойдетъ и во всѣхъ другихъ случаяхъ, лишь бы стержень былъ достаточно длиненъ. Именно онъ долженъ быть по крайней мѣрѣ вдвое длиннѣ катушки, въ которую онъ втягивается. Во всякомъ другомъ случаѣ, явленіе будетъ иное. Разсмотримъ случай, когда стержень такой же длины, какъ и катушка. Вотъ что тогда необходимо должно произойти: сначала явленіе будетъ тоже, что и въ предыдущемъ случаѣ, но какъ только стержень войдетъ на половину своей длины или нѣсколько больше, то начнетъ сказываться дѣйствіе другаго полюса, стремящееся вытянуть стержень обратно и, хотя по мѣрѣ того какъ стержень вдвигается дальше внутрь катушки, намагничивающая сила ея увеличивается, все же отталкиваніе, которое она производитъ на удаленный полюсъ, увеличивается, при приближеніи полюса къ ея отверстію, быстрѣе. Въ этомъ случаѣ максимумъ будетъ находиться въ точкѣ, расположенной нѣсколько далѣе середины катушки. Отъ этой точки кривая начнетъ понижаться и дойдетъ до нуля въ точкѣ А. Другими словами втягиванія не будетъ, когда оба конца стержня совпадутъ съ концами катушки. Если мы возьмемъ стержень нѣсколько короче, чѣмъ катушка, то найдемъ, что притяженіе уменьшается до нуля скорѣе. Максимумъ силы втяженія наступаетъ скорѣе и скорѣе происходитъ уменьшеніе его до нуля. Дѣйствія на стержень не будетъ никакого, когда онъ лежитъ всей длиной въ той части катушки, гдѣ напряженность магнитной силы однообразна. Другими словами



въ той части катушки, которой соотвѣтствуетъ плоская часть кривой (фиг. 104), стержень не подвергается никакому дѣйствию, если только онъ настолько коротокъ, что можетъ всей своей длиною умѣститься въ этой части. Въ этомъ случаѣ онъ не будетъ выталкиваться ни въ одну сторону. Этого рода явленія могутъ быть не только предсказаны, но и провѣрены экспериментально. У меня есть нѣсколько трубочкообразныхъ катушекъ, которыя служили въ Finsbury Technical College для провѣрки этихъ законовъ. Одна изъ нихъ длиною въ 9 дюймовъ, другая приблизительно въ половину короче, третья ровно въ четверть длины первой. Онѣ всѣ сдѣланы одинаково въ томъ смыслѣ, что намотано совершенно одинаковое количество мѣдной проволоки, отрѣзанной отъ одного и того же мотка. На длинной конечно число оборотовъ значительнѣе, т. к. средняя длина оборота проволоки въ короткой спирали больше, чѣмъ въ длинной и слѣдовательно изъ одинаковой длины проволоки, оборотовъ можно сдѣлать меньше. Для измѣренія силы, дѣйствовавшей на различныхъ расстояніяхъ на стержни различной длины, мы пользуемся пружинными вѣсами Сальтера (Salters balance). Во всѣхъ случаяхъ находимъ, что сила сначала увеличивается, достигаетъ извѣстнаго максимума и затѣмъ начинаетъ уменьшаться. Мы сдѣлаемъ теперь опытъ, взявъ стержень приблизительно вдвое длиннѣе катушки. Сила увеличивается, пока стержень спускаясь не достигнетъ дна обмотки, затѣмъ она начинаетъ уменьшаться. Съ тѣмъ же самымъ стержнемъ, но съ болѣе короткой обмоткой мы получимъ такіе же результаты, болѣе конечно рѣзко, т. к. въ этомъ случаѣ сердечникъ больше чѣмъ вдвое длиннѣе катушки. Во всѣхъ подобнаго рода случаяхъ, мы найдемъ, что максимумъ дѣйствія наступаетъ не тогда, когда стержень дойдетъ до середины обмотки, какъ это говорится въ книгахъ, но когда его передній конецъ начнетъ выходить изъ обмотки, пройдя ее насквозь. Но когда мы возьмемъ стержень болѣе короткій, результатъ будетъ совершенно другой. Вотъ стержень совершенно такой же длины какъ обмотка. Для него максимумъ дѣйствія наступаетъ, когда онъ дойдетъ до половины длины катушки; максимумъ дѣйствія ровно на ея серединѣ. Далѣе, для весьма короткаго стержня, длиною почти въ одну шестую длины катушки, максимумъ дѣйствія наступитъ, лишь только онъ взойдетъ въ переднее ея отверстіе. Когда же войдутъ

въ нее оба конца такъ, что стержень будетъ находиться въ области равномернаго магнитнаго поля, то ни одинъ изъ его концовъ не будетъ подвергаться никакому дѣйствию катушки. На одинъ конецъ дѣйствуетъ нѣкоторая сила, тянущая его въ одну сторону, на другой—другая равная сила, стремящаяся перемѣстить его въ другомъ направленіи и обѣ эти силы взаимно уравниваются. Если мы возьмемъ предѣльный случай и употребимъ вмѣсто стержня маленькій желѣзный шарикъ, то придемъ къ слѣдующему весьма интересному результату. Единственное мѣсто, гдѣ на шарикъ дѣйствуетъ нѣкоторая сила, это при входѣ въ отверстіе катушки уже на глубинѣ  $1/2$  дюйма, внутри ея дѣйствія никакого нѣтъ. Точно также нѣтъ дѣйствія и снаружи катушки.

Дѣйствіе катушки на стержень можно разсматривать еще съ другой стороны. Каждый инженеръ знаетъ, что работа, произведенная какой нибудь силой, измѣряется произведеніемъ величины силы на перемѣщенія точки ея приложенія. Пусть у насъ будетъ мѣняющаяся сила, дѣйствующая на извѣстномъ протяженіи. Раздѣлимъ это протяженіе на весьма малыя части. Помножимъ величину каждой изъ этихъ частей на среднюю величину силы, на ней дѣйствующей, и сдѣлавъ это умноженіе, для всѣхъ маленькихъ частей протяженія, мы изслѣдуемъ работу по всей длинѣ пути. Если мы назовемъ всю длину пути черезъ  $x$ , то элементъ пути будетъ  $dx$ . Помножимъ его на силу  $f$ . Элементъ пути, помноженный на силу  $f$ , даетъ работу силы  $d w$  на этомъ короткомъ протяженіи. Сумма такихъ элементарныхъ работъ даетъ намъ всю работу на всемъ протяженіи. Другими словами мы должны взять всѣ различныя значенія силы  $f$ , помножить ихъ на соотвѣтствующія величины короткихъ протяженій  $dx$  и сложить полученныя произведенія. Сумма ихъ, которую мы обозначимъ знакомъ  $\int$  будетъ равна суммамъ всѣхъ работъ, т. е.

$$w = \int f dx.$$

Вотъ, что я хочу, чтобы вы заключили изъ этого. Вотъ лежитъ спираль, а на нѣкоторомъ разстояніи отъ нея стержень. Хотя по спирали проходитъ токъ, но разстояніе до стержня настолько велико, что практически на него нѣтъ никакого дѣйствія. Приближайте ихъ постепенно другъ къ другу. Они начинаютъ дѣйствовать одинъ на другой, появляется притяженіе, которое уве-

личивается, когда стержень входитъ въ спираль, достигаетъ затѣмъ максимума и начинаетъ уменьшаться, когда стержень начинаетъ выходить изъ противоположнаго конца спирали. Когда оба конца будутъ выдаваться равно, всякое притяженіе пропадетъ. Этотъ приборъ произвелъ нѣкоторое количество работы. Каждый инженеръ знаетъ, что, если мы можемъ узнать величину силы въ каждой точкѣ пути, то работа, произведенная на этомъ пути, изображается площадью, замыкаемой кривой-силы. Посмотрите на кривую  $XСX_1$ , (фиг. 105), ординаты которой изображаютъ силы. Площадь, ограниченная этой кривой, изображаетъ работу, совершенную системой, а слѣдовательно и работу, которую нужно совершить, чтобы разъединить части системы. Эта площадь представляетъ всю работу, произведенную притяженіемъ желѣзнаго стержня силой, распределенной на протяженіи  $XX_1$ .

Теперь сравнимъ этотъ случай со случаемъ электромагнита, гдѣ вы имѣете вмѣсто силы, распределенной на нѣкоторомъ протяженіи, силу гораздо большую, но на гораздо меньшемъ протяженіи. Сравнимъ между собою кривыя, представленныя на фиг. 105. Положимъ, что у насъ осталась прежняя спираль, но стержень вмѣсто того, чтобы быть цѣльнымъ, какъ раньше, состоитъ изъ двухъ частей, которыя можно свинтить или соединить какимъ либо другимъ способомъ. Сначала мы свинтимъ обѣ половины и будемъ обращаться съ новымъ стержнемъ, какъ будто онъ былъ бы цѣльнымъ. Дадимъ ему втянуться въ катушку. Работа, которая будетъ при этомъ произведена, выразится площадью, ограниченной кривой, съ которой мы уже имѣли дѣло. Раздѣлимъ теперь стержень на двѣ части и дадимъ одной части втянуться въ обмотку. Эта часть будетъ притянута совершенно такимъ же образомъ, какъ и цѣлый стержень, только, т. к. она короче, то мѣсто максимума немного перемѣстится. Дадимъ этой части дойти до половины катушки. Тогда мы получимъ трубку наполовину наполненную желѣзомъ. При этомъ будетъ произведена нѣкоторая работа. Такъ какъ новый стержень короче стараго, то кривая  $XУ_1$  пойдетъ нѣсколько ниже кривой  $XСX_1$ . Площадь, ею ограниченная, выразитъ работу притяженія этого полустержня. Вложимъ теперь въ другой конецъ обмотки, другую половину стержня. Въ этомъ случаѣ притягивать уже будетъ не только спираль, но и находящееся въ ней желѣзо, которое будетъ дѣйстви-

вать, какъ электромагнитъ. Притяженіе это сначала будетъ слабое, а потомъ вдругъ усилится и достигнетъ весьма большой силы, когда разстояніе между частями стержня сдѣлается очень малымъ. Мы получимъ, слѣдовательно, кривую, сильно отличающуюся отъ прежней. Она состоитъ изъ двухъ частей, одна часть соотвѣтствующая притяженію первой половины стержня, другая же, быстро поднимающаяся,—притяженію второй половины. Но въ концѣ концовъ мы получимъ тоже самое количество желѣза, намагниченнаго совершенно такимъ же образомъ, тѣмъ же токомъ, проходящимъ по тому же количеству мѣдной проволоки, что и въ первомъ случаѣ. Другими словами въ обоихъ этихъ случаяхъ, количество работы будетъ одно и тоже. Будетъ ли на цѣлый стержень дѣйствовать небольшая сила на значительномъ протяженіи, или же на одну половину его небольшая сила, а на другую быстрая большая, общее количество работы въ обоихъ случаяхъ должно быть тоже самое. Иначе, площадь, ограниченная двумя новыми кривыми, должна быть равна площади, ограниченной старой кривой. Преимущество употребленія желѣза и мѣди въ видѣ стержня съ катушкой не въ томъ, что при этомъ способѣ затраченная энергія производитъ больше работы, чѣмъ при другихъ, но въ томъ, что этимъ способомъ достигается распределеніе силы на значительномъ протяженіи, хотя однако не достигается распределенія вполнѣ равномернаго.

### Подковообразные стержни.

Въ 1846 году Гиллемень (Guillemin) придумалъ употреблять двойные стержни, имѣющіе подковообразную форму. Обѣ вѣтви подковы погружаются въ двѣ отдѣльныя катушки. Электромагниты такого устройства употребляются въ нѣкоторыхъ дуговыхъ лампахъ.

### Экспериментальныя данныя, касающіяся катушки со стержнемъ.

Для того, чтобы изучить приборъ, названный нами катушкой со стержнемъ, отъ времени до времени производились нѣкоторыя экспериментальныя изысканія. Въ 1850 г. Ганкель (Hankel) изслѣ-

доваль отношеніе между силой, дѣйствовавшей на опредѣленную часть стержня и возбуждающей силой. Онъ нашель, что до тѣхъ поръ, пока стержень былъ настолько толстъ и возбуждающая сила настолько слаба, что желѣзо не приближалось къ состоянію магнитнаго насыщенія, сила притяженія была пропорціональна квадрату силы тока, а также пропорціональна числу оборотовъ проволоки. Сопоставляя эти факты, можно сказать, что сила пропорціональна квадрату числа амперъ-оборотовъ. Но это правило справедливо только пока желѣзный стержень, находящійся въ нѣкоторомъ опредѣленномъ положеніи, далекъ отъ насыщенія.

Этотъ результатъ можно было ожидать, т. к., по сдѣланному раньше предположенію, магнетизмъ желѣзнаго стержня пропорціоналенъ числу амперъ-оборотовъ. Интенсивность же магнитнаго поля, въ которомъ онъ помѣщенъ, тоже пропорціональна числу амперъ-оборотовъ. Слѣдовательно сила притяженія, равная произведенію этихъ двухъ величинъ, пропорціональна квадрату числа амперъ-оборотовъ.

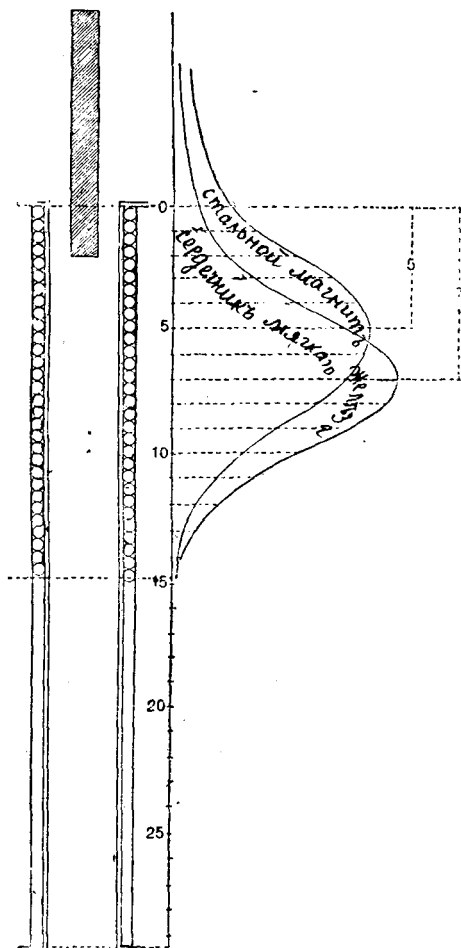
Дубъ, изслѣдовавшій стержни различной толщины, нашель, что сила притяженія мѣняется пропорціонально корню квадратному изъ діаметра стержня. Но его собственные опыты показываютъ, что это не вѣрно, и что сила столько же пропорціональна самому діаметру стержня, сколько и квадратному его корню. Причина этого явленія существуетъ и мы ее покажемъ. Значительная часть магнитной цѣпи состоитъ изъ воздушнаго слоя, по которому протекають магнитныя линіи. Такъ какъ главную часть сопротивленія цѣпи составляетъ сопротивление воздуха, то все, что уменьшаетъ его сопротивление, увеличиваетъ намагничиваніе и слѣдовательно и силу притяженія. Въ данномъ случаѣ сопротивление воздуха сильно зависитъ отъ поверхности оконечностей желѣзнаго стержня. Увеличивая ее, мы уменьшаемъ сопротивление и соотвѣтствующимъ образомъ увеличиваемъ и намагничиваніе.

Въ 1870 г. Фонъ-Вальтенгофенъ сравнивалъ притяженія, производимыя двумя равными (короткими) трубкообразными катушками, на два желѣзные стержня, одинъ изъ которыхъ былъ сплошной цилиндръ, а другой — трубка той же длины и того же вѣса. Онъ нашель, что трубка притягивается сильнѣе. Увеличеніе поверхности и уменьшеніе сопротивленія магнитной цѣпи, безъ сомнѣнія, объясняютъ причину этого результата.

Фонь-Фейличъ сравнивалъ дѣйствіе трубкообразной катушки на стержень изъ мягкаго желѣза съ дѣйствіемъ той же катушки на стержень изъ твердой намагниченной стали тѣхъ же размѣровъ. Стержни (фиг. 106) имѣли по 10,1 сант. длины, катушка же была длиною въ 29,5 сант. и діаметромъ 4,2 сант. Для стального магнита максимумъ притяженія наступалъ, когда онъ погружался до глубины 5 сант., а для желѣзнаго, когда онъ погружался до глубины 7 сант. Это, безъ сомнѣнія, должно и быть такъ, благодаря увеличенію его собственнаго намагничиванія. Такъ какъ область равномернаго поля начинается на глубинѣ 8 сант., а стержни были длиною въ 10,1 сант., то притягательная сила должна бы стать равной нулю на глубинѣ 18 сант. На самомъ дѣлѣ нуль наблюдается нѣсколько раньше. Замѣтимъ, что максимумъ силы былъ немного больше при употребленіи желѣзнаго стержня.

Самыя полныя изслѣдованія за послѣдніе года были сдѣланы Докторомъ Брюгеромъ (Dr. Theodore Brugger) въ 1886 году. Двѣ кривыя на фиг. 107 представляютъ результаты его изслѣдованій, въ которыхъ употреблялся цилиндрическій стержень. Онъ употреблялъ двѣ спирали, одна въ  $2\frac{1}{2}$  с. длиною, другая въ 7 с. Они изображены въ лѣвомъ нижнемъ углу рисунка. Возбуждающій токъ былъ нѣсколько меньше 8 амперовъ. Длина цилиндрическаго стержня была 39 сант. На диаграммѣ предполагается, что

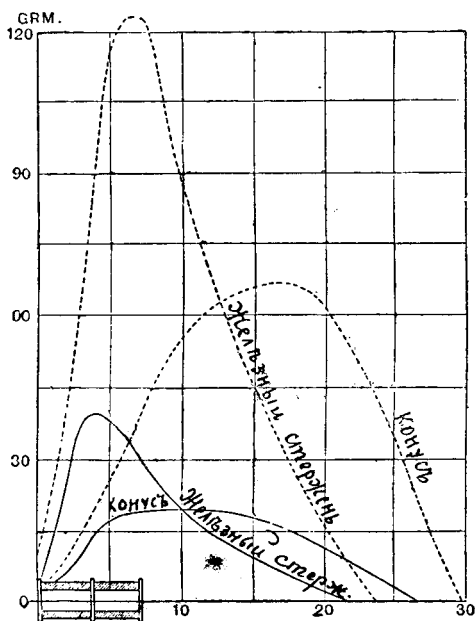
Фиг. 106.



Опыты Фонь-Фейлича съ желѣзными и стальными сердечниками.

стержень входит съ лѣвой стороны. По вертикальной линіи отложены числа граммовъ. Крутыя вершины обѣихъ кривыхъ по

Фиг. 107.

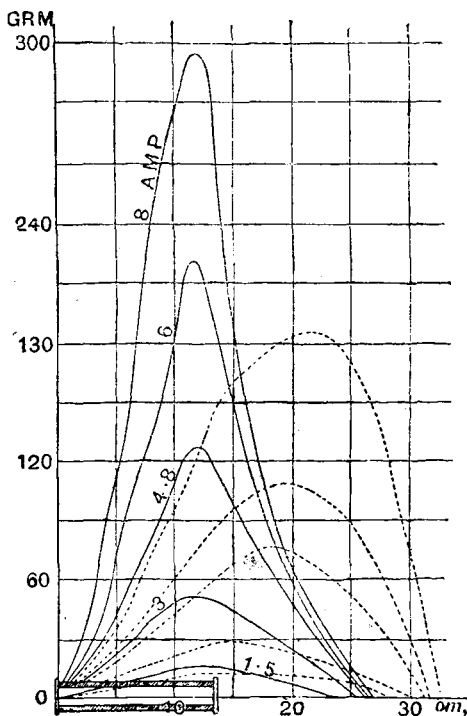


Опыты Брюгера надъ катушкой со стержнемъ.

казываютъ, что максимумъ притяженія наступаетъ тогда, когда одинъ конецъ стержня начинаетъ выходить изъ обмотки; притяженіе уменьшается до нуля, когда начинаетъ выступать и другой конецъ. На фигурѣ пунктирные линіи относятся къ болѣе длинной катушкѣ. Наивысшая точка кривой, въ случаяхъ, когда катушка вдвое длиннѣе, приблизительно въ четыре раза выше, чѣмъ та же точка кривой, соответствующей короткой катушкѣ, т. е. въ первомъ случаѣ число амперъ-оборотовъ возбуждающаго тока вдвое больше. Въ другихъ опытахъ, результаты которыхъ изображены на фиг. 108, пользовались тѣмъ же стержнемъ, но катушки были длиною въ 13 сант. Притяженіе мѣнялось, конечно, когда пропускали токъ въ 1,5 амперъ, 3; 4,8; 6 и 8 амперъ, но явленіе вообще было одно и тоже: максимумъ наступалъ тогда, когда

полюсь начиналъ доходить до дальняго конца катушки. Но было и маленькое различіе: при незначительной силѣ тока, максимумъ

Фиг. 108.



Опыты Брюера съ токами различной силы.

наступалъ ровно на концѣ катушки, при токахъ же большей силы онъ наступалъ раньше. Когда стержень достигнетъ насыщенія, то кривая уже не идетъ, подымаясь такъ далеко, она начинаетъ сгибаться раньше и максимумъ, конечно отступаетъ нѣсколько назадъ отъ конца обмотки. То-же самое наблюдалъ и Фонъ-Вальтенгофенъ, работая со стальнымъ магнитомъ.

### Коническій стержень.

Если, вмѣсто цилиндрическаго стержня, вы употребите стержень конической формы, то, т. к. черезъ вершину не въ состоянн



пройти всѣ магнитныя линіи, образовавшіяся въ стержнѣ, вы найдете, что положеніе максимума силы совершенно переѣнилось. Магнитныя линіи не выходятъ черезъ вершину, а, такъ сказать, просачиваются черезъ боковую поверхность стержня. Мѣсто, гдѣ магнитныя линіи выходятъ изъ желѣза въ воздухъ, въ этомъ случаѣ не будетъ опредѣленнымъ «полюсомъ» близъ конца стержня, но займетъ порядочную поверхность. Поэтому, когда вершина стержня начинаетъ выходить изъ обмотки, въ ней еще остается значительное количество желѣза и сила, вмѣсто того, чтобы достигъ при этомъ положеніи максимума, распредѣляется на значительномъ пространствѣ. Съ обыкновенными пружинными вѣсами можно сдѣлать только грубый опытъ, но я думаю, что всетаки разница между явленіями, при употребленіи коническаго и цилиндрическаго стержней, будетъ замѣтна. Сила притяженія увеличивается, когда стержень входитъ въ обмотку, но максимумъ въ случаѣ употребленія заостреннаго стержня не такъ ясенъ, какъ при употребленіи стержня съ плоскимъ концомъ. Это значительное различіе между цилиндрическимъ и коническимъ стержнями, было замѣчено инженеромъ Крицикомъ (Krizik), который приѣнилъ свое открытіе къ дуговой лампѣ «Пильзень».

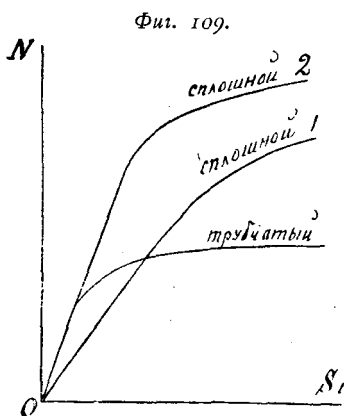
Коническіе стержни были изслѣдованы также Брюгеромъ. На фиг. 108 начерчены кривыя, относящіяся какъ къ употребленію коническихъ, такъ и цилиндрическихъ стержней. Изъ нихъ можно заключить, что коническій стержень не даетъ никогда такой силы притяженія, какъ цилиндрической. Кромѣ того, что максимумъ силы наступаетъ не тогда, когда вершина стержня начинаетъ выходить изъ катушки, но когда она уже пройдетъ значительное разстояніе по другую ея сторону. Это происходитъ въ обоихъ случаяхъ, какъ съ короткой, такъ и съ длинной катушкой. Пунктирныя линіи на фиг. 108 представляютъ явленія, происходящія съ коническими стержнями. Съ длинной катушкой и при различныхъ силахъ тока, максимумъ притягательной силы наступаетъ тогда, когда вершина стержня, пройдя сквозь катушку, выйдетъ вонъ на значительное разстояніе. Протяженіе дѣйствія при болѣе сильныхъ токахъ, становится значительнѣе, чѣмъ при слабыхъ. Брюгеръ изучалъ также случаи употребленія стержней всякихъ неправильныхъ формъ, и получилъ весьма интересныя и неправильныя кривыя силъ. Я думаю, что еще можно много поработать

надъ вопросомъ о распредѣленіи силы, дѣйствующей на притягиваемый стержень, въ зависимости отъ его формы. Брюгеръ указалъ намъ путь, и слѣдовать по этому пути не представитъ уже большаго затрудненія.

### Стержни сплошные и полые.

Часто предполагаютъ, что полые стержни такъ же хороши, какъ и сплошные. Причина, почему это мнѣніе образовалось, лежитъ въ томъ, что, при слабыхъ намагничивающихъ силахъ, не доводящихъ желѣза до насыщенія, большая часть намагничивающей силы идетъ на то, чтобы провести магнитныя линіи на обратномъ ихъ пути черезъ воздухъ (см. главу V). Слѣдовательно сила, съ которой катушка дѣйствуетъ на стержень, зависитъ не столько отъ желѣзной части магнитной цѣпи, сколько — отъ воздушной. Ясно, что при слабыхъ намагничивающихъ силахъ, полый сердечникъ будетъ столь же хорошъ, сколь и сплошной одного съ нимъ діаметра и одной длины. Но для большихъ намагничивающихъ силъ это уже не такъ.

Полый стержень приходитъ въ состояніе магнитнаго насыщенія гораздо скорѣе, чѣмъ сплошной. На фиг. 109 даны кривыя, относящіяся къ сплошному сердечнику (№ 2) и трубчатому того же внѣшняго діаметра. На этой же фигурѣ дана кривая для другаго сплошнаго сердечника (№ 1). По размѣрамъ онъ меньше трубчатого, но вѣситъ нѣсколько больше. При слабыхъ намагничивающихъ силахъ этотъ стержень намагничивается слабѣе, чѣмъ трубчатый, но при большихъ намагничивающихъ силахъ, онъ намагничивается сильнѣе.



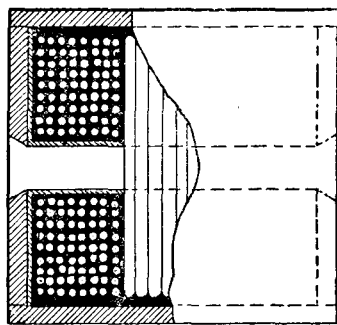
Кривыя для сплошнаго и трубчатого сердечниковъ.

### Другой способъ увеличить протяженіе дѣйствія.

Другой способъ измѣнить распредѣленіе силы притяженія — это измѣнить расположеніе проволоки въ катушкѣ. Въмѣсто того,

чтобы употреблять коническій стержень, можно употребить коническую катушку, снабдивъ ее на одномъ концѣ большимъ числомъ оборотовъ проволоки, чѣмъ на другомъ. Такого рода катушка, утолщающаяся отъ одного конца къ другому, нѣсколько лѣтъ тому назадъ была примѣнена Гэфомъ (Gaiffe) для его дуговой лампы. Въ Германіи патентъ на нее былъ взятъ Лейпольдомъ (Leupold). Тревъ (Trève) думалъ употреблять обмотку изъ желѣзной проволоки, чтобы такимъ образомъ утилизировать магнетизмъ, развиваемый въ желѣзной проволокѣ проходящимъ къ ней токомъ. Тревъ утверждаетъ, что въ подобной обмоткѣ притягательная сила, при одной и той же силѣ тока, въ четыре раза больше, чѣмъ въ обмоткѣ изъ мѣдной проволоки. Я сомнѣваюсь, чтобы это было такъ, но даже, если бы это и было справедливо, мы не должны забывать, что сопротивление желѣзной проволоки въ шесть разъ больше сопротивленія мѣдной проволоки той же толщины и, слѣдовательно, для полученія тока той-же силы, мы должны затратить силу въ шесть разъ большую. Поэтому въ результатѣ не получимъ никакой выгоды. Предлагали также окружать, употребляемую для этой цѣли катушку, желѣзной обкладкой и отъ времени до времени употреблялись одѣ-

Фиг. 110.



Катушка съ внешней желѣзной оболочкой.

тые желѣзомъ соленоиды. Но этого рода приспособленія не увеличиваютъ протяженіе дѣйствія. Они стремятся только препятствовать уменьшенію силы притяженія внутри катушки и уравниваютъ внутреннія силы, жертвуя всякимъ внѣшнимъ дѣйствіемъ. Одѣтый желѣзомъ соленоидъ практически не имѣетъ никакого внѣшняго дѣйствія на желѣзный стержень даже, если послѣдній помѣщается на разстояніи половины діаметра отъ отверстія. Притяженіе начинается только тогда, когда стержень войдетъ внутрь

катушки. При этомъ намагничивающая сила практически равна на всемъ протяженіи внутри катушки, отъ одного ея конца до другого.

Въ 1889 году я захотѣлъ воспользоваться этимъ свойствомъ для нѣсколькихъ опытовъ надъ дѣйствіемъ магнетизма на свѣтъ. Для этой цѣли г.г. Патерсонъ и Куперъ (Paterson and Cooper) устроили мнѣ сильную катушку, снаружи снабженную внѣшней желѣзной оболочкой (фиг. 110). Каждый конецъ ея закрывался дискомъ изъ тонкаго желѣза, въ центрѣ котораго было сдѣлано отверстіе. Магнитная цѣпь снаружи катушки была практически замкнута мягкимъ желѣзомъ. Эта спираль даетъ вполне однородное магнитное поле отъ одного конца ея до другаго, чего бы не было, если бы возвратный путь былъ воздушный. Все количество амперъ-оборотовъ здѣсь употребляется для намагничиванія внутренняго пространства. Поэтому это намагничиваніе весьма сильно и равномерно. Эта спираль и ея употребленіе было описано въ моей лекціи въ Royal Institution въ 1889 году о «свѣтовомъ вращеніи» (on «Optical Torque»).

### Видоизмѣненія катушки съ подвижнымъ стержнемъ.

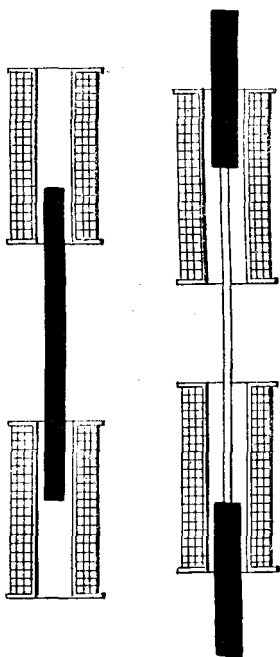
Въ одномъ изъ видоизмѣненій катушки со стержнемъ, на стержнѣ дѣлается вторая обмотка. Въ этомъ случаѣ магнетизмъ, развивающійся въ желѣзѣ, частью происходитъ отъ дѣйствія тока, проходящаго по обмоткѣ, сдѣланной вокругъ него, частью отъ дѣйствія катушки. Поэтому сердечникъ будетъ стремиться передвинуться и занять такое положеніе, при которомъ намагничиваніе становится наибольшимъ. Хюртъ (Hjörth) употреблялъ это видоизмѣненіе, кромѣ того оно употреблялось въ нѣсколькихъ дуговыхъ лампахъ. Г.г. Патерсонъ и Куперъ построили нѣсколько механизмовъ для дуговыхъ лампъ, между ними есть и основанные на изложенномъ принципѣ. Въ одномъ изъ этихъ механизмовъ употребленъ стержень, снабженный обмоткой, входящій въ трубкообразную спираль. Токъ проходитъ послѣдовательно черезъ обѣ обмотки. Въ другой лампѣ двѣ обмотки находятся въ двухъ различныхъ цѣпяхъ. Одна обмотка изъ толстой проволоки соединена послѣдовательно съ лампой, другая изъ тонкой — помѣщена въ отвѣтвленіи.

### Дифференціальныя катушки со стержнями.

Фиг. 111 изображаетъ механизмъ, изобрѣтенный Сименсомъ. Въ немъ стержень однимъ концомъ погруженъ въ катушку, ко-

торая находится въ главной цѣпи, а другимъ концомъ въ катушку, помещенную въ отвѣтвленіи. Очевидно, что магнетизмъ стержня

Фиг. III.



Два вида дифференціальныхъ катушекъ съ подвижными стержнями.

только отъ дѣйствія той катушки, въ которую онъ погруженъ. Оба стержня соединены вмѣстѣ поло-

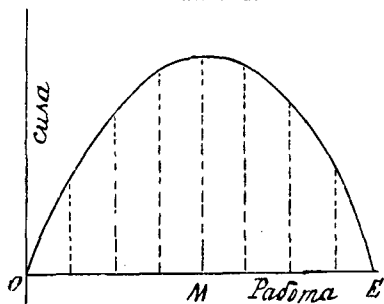
сой изъ латуни или какого нибудь другаго немагнитнаго вещества. Механизмы такого устройства употребляются предпочтительно передъ раньше описанными, для токовъ переменнаго направленія. Дѣйствительно, если употребить цѣльный стержень, входящій въ обѣ катушки, то онъ будетъ дѣйствовать, какъ сердечникъ индукціонной катушки и слѣдовательно въ каждой катушкѣ, подъ вліяніемъ тока, проходящаго въ другой, будетъ появляться индуктированный токъ. Поэтому во всѣхъ случаяхъ, когда употребляютъ токи переменнаго направленія, нельзя пользоваться цѣльными стержнями. Обыкновенно употребляютъ желѣзныя трубки, состоящія изъ нѣсколькихъ частей.

Употребляютъ и другія дифференціальныя механизмы. Напри-

будетъ зависѣть отъ токовъ, проходящихъ по обѣимъ катушкамъ и будетъ мѣняться въ зависимости отъ того, проходитъ ли токъ въ обѣихъ катушкахъ въ одномъ и томъ же направленіи, или нѣтъ. Очевидно, кромѣ того, что когда два конца стержня погружены въ двѣ катушки, то намагничиваніе его будетъ зависѣть отъ обѣихъ обмотокъ и окончательная сила притяженія не будетъ просто разностью между притяженіями обѣихъ обмотокъ, дѣйствующихъ порознь. На фиг. I I I представленъ и другой механизмъ, въ которомъ дѣйствіе каждой катушки меньше зависитъ отъ дѣйствія другой, такъ какъ въ этомъ случаѣ намагничиваніе каждого стержня практически зависитъ только отъ дѣйствія той катушки,

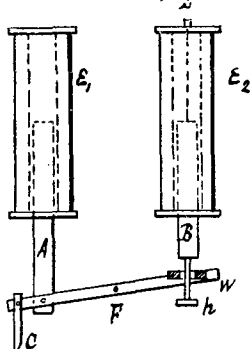
мѣръ въ дуговыхъ лампахъ Пильзенъ желѣзные (кольцеобразные) стержни соединены между собою шнуркомъ, перекинутымъ черезъ

Фиг. 112.



Кривая для силы въ механизмѣ дуговой лампы Пильзенъ.

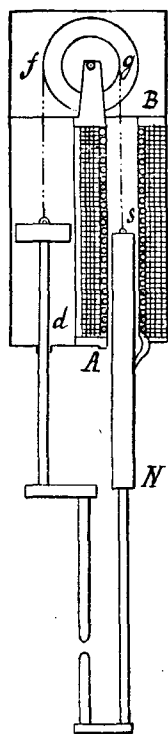
Фиг. 113.



Механизмъ лампы Броки-Пелля.

Фиг. 114.

блокъ, находящійся надъ ними. Въ этихъ лампахъ форма сердечниковъ и длина шнурка, ихъ соединяющаго, подобрана такъ, чтобы кривая (фиг. 112), связывающая силу съ работой, была расположена симметрично относительно точки, гдѣ сила наибольшая. Фиг. 113 изображаетъ четвертое приспособленіе, которымъ пользуются въ лампахъ Броки-Пелля (Brockie-Pell) и другихъ. Оно состоитъ въ томъ, что тутъ сдѣлано два отдѣльныхъ стержня, прикрѣпленныхъ къ рычагу. Стержень А входитъ въ катушку  $E_1$ , снабженную обмоткой изъ толстой проволоки, по которой проходитъ главный токъ. Стержень В входитъ въ катушку  $E_2$ , съ обмоткой изъ тонкой проволоки, которая помѣщена въ отвлѣтленіи. Въ этомъ случаѣ оба магнитныя дѣйствія независимы. Въ пятомъ дифференціальному механизму сдѣланъ лишь одинъ стержень и одна трубкообразная катушка, на которой помѣщены двѣ дифференціальныя обмотки. Въ этомъ случаѣ дѣйствіе на стержень зависитъ просто отъ



Дуговая лампа Менжеса.

разности чиселъ амперъ-оборотовъ въ каждой обмоткѣ. Примѣромъ можетъ служить механизмъ лампы Менжеса (Menges), изображенной на фиг. 114.

### Употребленіе, вмѣсто стержня, второй катушки.

Если совершенно устранить желѣзо и устроить двѣ трубкообразныя спирали, одну шире, а другую—уже такъ, чтобы одна могла входить въ другую, то, при пропусканіи по обѣимъ спиралямъ тока въ одинаковомъ направленіи, узкая спираль втянется въ широкую. Этимъ устройствомъ тока пользовались для дуговыхъ лампъ. Если токи идутъ въ обѣихъ спираляхъ въ противоположныхъ направленіяхъ, что одна будетъ стремиться вытолкнуться изъ другой. Въ каждомъ случаѣ сила взаимодействія, при всякомъ положеніи спиралей, будетъ пропорціональна произведенію чиселъ амперъ оборотовъ въ каждой спиралі.

### Катушка съ обмоткой изъ нѣсколькихъ частей.

Около 1850 года Пажемъ (Page) было сдѣлано важное открытіе, которое позволяетъ устраивать катушку со стержнемъ съ неопредѣленно большимъ протяженіемъ дѣйствія. Трубнообразная спираль вмѣсто того, чтобы быть непрерывной, была устроена изъ нѣсколькихъ отдѣльныхъ частей, сложенныхъ другъ съ другомъ и снабжена приспособленіемъ, позволявшимъ замыкать токъ въ каждой части отдѣльно. Предположимъ, что желѣзный стержень входитъ въ одну часть, токъ въ ней тотчасъ замыкается. Какъ только стержень пройдетъ черезъ нее, токъ замыкается въ слѣдующей части. Такимъ образомъ притяженіе можно поддерживать вдоль трубки неопредѣленной длины. Пажъ устроилъ на этомъ принципѣ электродвигатель, который впоследствии былъ вновь изобрѣтенъ Дю-Монселемъ и наконецъ Марселемъ Дебре для его электрическаго молота (фиг. 196).

### Дѣйствіе магнитнаго поля на маленькій желѣзный шарикъ.

Разсматривая дѣйствіе трубкообразныхъ катушекъ на желѣзные стержни, я говорилъ, что весьма маленькое желѣзное тѣло, помещенное въ однородное магнитное поле, не притягивается ни въ одну сторону. Предѣльный случай будетъ тотъ, когда употреб-

ляется маленькій желѣзный шарикъ. Подобный шарикъ, помѣщенный даже въ самое сильное магнитное поле, не стремится двигаться въ какомъ нибудь направленіи, лишь бы только поле было дѣйствительно однородно. Если же поле неоднородно, то желѣзный шарикъ всегда стремится перейти изъ области, гдѣ поле слабѣе въ область, гдѣ оно сильнѣе. Висмутовый или мѣдный шарикъ наоборотъ стремится перейти изъ болѣе сильной части поля въ болѣе слабую. Это явленіе, извѣстное подъ именемъ «діамагнетизма», нѣкоторое время ошибочно объясняли особенной предполагаемой діамагнитной полярностью, въ отличіе отъ обыкновенной магнитной полярности. Можно просто выразить этотъ фактъ, сказавъ, что маленькій желѣзный шарикъ стремится двигаться *вверхъ по наклону* (slope) магнитнаго поля, съ силою пропорціональной этому наклону, тогда какъ мѣдный или висмутовый шарикъ стремится (въ воздухѣ) двигаться съ слабою силою *внизъ по наклону*. Со всякимъ маленькимъ кусочкомъ желѣза, напримѣръ короткимъ цилиндрикомъ, произойдетъ тоже явленіе, что и съ желѣзнымъ шарикомъ. Этотъ принципъ примѣненъ въ нѣкоторыхъ амперметрахъ и вольтметрахъ Айртона и Перри и измѣрителяхъ тока (current-meters) Вильяма Томсона.

### Промежуточныя формы.

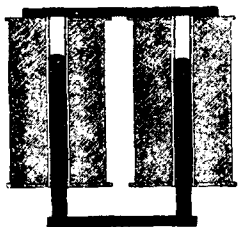
Разсмотрѣнный въ этой главѣ приборъ, состоящій изъ катушки съ двигающимся въ ней стержнемъ, не даетъ ни въ одной точкѣ, на всемъ значительномъ протяженіи своего дѣйствія такой значительной силы, какую далъ бы обыкновенный электромагнитъ съ неподвижнымъ сердечникомъ, дѣйствующій на весьма короткомъ протяженіи (предполагается, что въ обоихъ случаяхъ употреблено тоже количество мѣди и желѣза). Между тѣмъ для нѣкоторыхъ цѣлей желательно имѣть электромагнитъ, который обладалъ бы значительной силою притяженія и, кромѣ того, чтобы на небольшомъ протяженіи его дѣйствія, притяженіе было равномерно подобно тому, какъ въ катушкѣ со стержнемъ. Между многочисленными формами электромагнитовъ, приспособленныхъ для этихъ цѣлей, мы должны отвести первое мѣсто именно тѣмъ, которые занимаютъ средину между катушкой со стержнемъ и электромагнитомъ съ неподвижнымъ сердечникомъ. Въ нѣкоторыхъ изъ электромагнитовъ этого класса, стержень можетъ двигаться



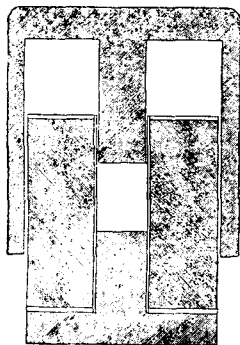
внутри катушки. Въ каналѣ, просверленномъ по оси катушки, помѣщенъ, кромѣ того, другой коротенькій неподвижный сердечникъ, занимающій часть этого канала. Къ категоріи такихъ электромагнитовъ принадлежитъ электромагнитъ Бонелли, изображенный на фиг. 26 (стр. 55). Сила, съ которой подвижный сердечникъ втягивается въ катушку, благодаря нѣкоторому сгущенію линий, происходящему отъ присутствія неподвижнаго сердечника, будетъ больше, чѣмъ еслибы каналъ былъ пустой. Когда же стержень войдетъ въ катушку, то сила, втягивающая его, увеличивается все больше и больше, такъ какъ воздушный слой въ магнитной цѣпи при этомъ уменьшается. Впрочемъ, мы уже говорили объ этомъ въ настоящей главѣ

Другой видъ электромагнитовъ этого рода представляетъ электромагнитъ дуговой лампы Брѣша (Brush) (фиг. 115). Въ двѣ

Фиг. 115.



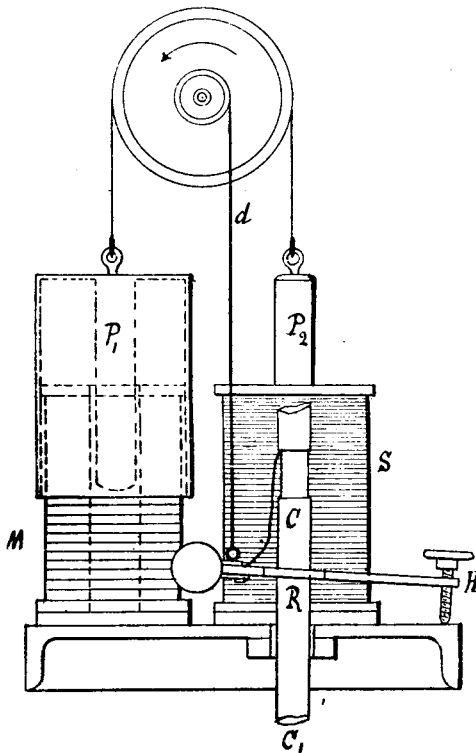
Фиг. 116.

*Электромагнитъ въ лампѣ Брѣша.**Электромагнитъ Стевенса и Гарди.*

трубкообразныя обмотки погружены два стержня, соединенные между собой. Магнитная цѣпь частью пополнена желѣзной пластинкой, которая составляетъ часть коробки, покрывающей электромагнитъ. Здѣсь мы имѣемъ такимъ образомъ преимущество замкнутой цѣпи въ соединеніи съ сравнительно большимъ протяженіемъ дѣйствія обмотки со стержнемъ. Это очень удачная комбинація двухъ родовъ электромагнитовъ. Однако, ни въ одной изъ этихъ формъ электромагнитовъ притяженіе не равномерно на всемъ протяженіи, оно увеличивается, когда магнитная цѣпь становится болѣе полной.

На фиг. 116 представлена особая форма электромагнита, въ которомъ соединяются нѣкоторыя характеристическія черты электромагнитовъ, снабженныхъ внѣшней желѣзной обкладкой, съ чертами подвижнаго сердечника; эта форма обладаетъ ограниченнымъ протяженіемъ дѣйствія, но, благодаря хорошимъ качествамъ магнитной цѣпи, сила притяженія ея очень велика. Такой электромагнитъ былъ изобрѣтенъ въ 1870 г. Стевенсомъ и Гарди и примененъ къ

Фиг. 117.



Механизмъ дуговой лампы Кеннеди.

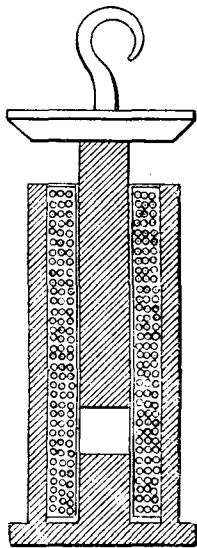
электрическому двигателю для швейныхъ машинъ. Подобную же форму электромагнита употребляютъ для лампъ Вестона (Weston).

Въ лампахъ Ренкина Кеннеди (Rankin Kennedy), механизмъ которыхъ представленъ на фиг. 117, употребляется электромагнитъ подобной же формы. Тутъ дѣйствіе электромагнита М, который помѣщенъ въ главной цѣпи и долженъ, втягивая стержень,

способствовать образованію дуги, отчасти уравнивается дѣйствіемъ катушки  $S$ , помѣщенной въ отвѣтвленіи. Эта послѣдняя катушка дѣйствуетъ на стержень  $P_2$ , соединенный посредствомъ блока и шнурка со стержнемъ  $P_1$ , и погруженный въ первый электромагнитъ. Поэтому съ момента образованія дуги, катушки дѣйствуютъ дифференціально.

Электромагнитъ Смита (Holroyd Smith), изобрѣтенный въ 1877 г., похожъ на электромагнитъ, изображенный на фиг. 116, только въ обратномъ видѣ. Катушка въ немъ снабжена внѣшней желѣзной обкладкой, стержень же, къ которому прикрѣпленъ наверху желѣзный дискъ, движется внутри центрального канала катушки. Этотъ электромагнитъ представленъ на фиг. 118.

Фиг. 118.



Электромагнитъ Смита.

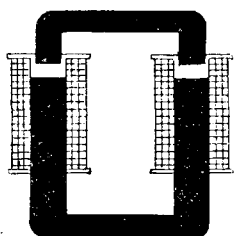
Такой же электромагнитъ употребляется для желѣзнодорожныхъ сигнальныхъ аппаратовъ системы Тиммисъ и Кюри (Timmis and Currie).

Еще одна промежуточная форма изобрѣтена Ролофомъ (Roloff), который устраивалъ свои электромагниты такъ, что ихъ стержни не выдавались (фиг. 119) выше оконечностей катушекъ, а выходили наружу ниже катушекъ. Арматура снабжалась двумя придатками, которые входили въ пустыя части катушекъ. Въ нѣкоторыхъ дуговыхъ лампахъ встрѣчаются именно такіе электромагниты, съ короткими неподвижными стержнями. На фиг. 120 изображена еще одна форма электромагнита, снабженного внѣшней желѣзной обкладкой, которая заслуживаетъ нѣкотораго вниманія, такъ какъ ее употребляли въ 1882 г. Айртонъ и Перри. Катушка окружена снаружи желѣзной обкладкой, а на

верхней и нижней части ея помѣщены кольцообразныя диски тоже изъ желѣза. Съ обѣихъ концовъ внутрь немного входятъ двѣ желѣзныя трубки. Магнитное дѣйствіе мѣди, заключенной въ желѣзной обкладкѣ, концентрировано въ очень маленькомъ пространствѣ внутри обмотки, между концами желѣзныхъ трубокъ, поэтому въ этомъ пространствѣ поле въ высшей степени напряженное и равномерное. Удлиняя или укорачивая внутреннія трубки,

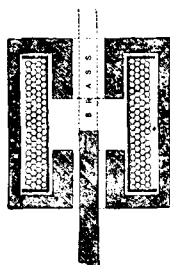
можно по желанію мѣнять протяженіе дѣйствія. Если вставить внутрь желѣзный стержень, то онъ будетъ втягиваться съ весьма

Фиг. 119.



Электроманитъ Ролофа.

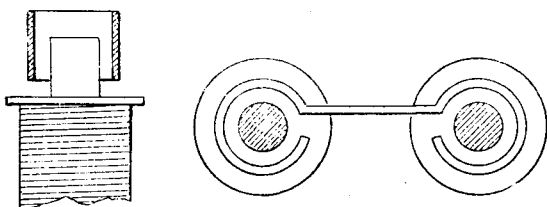
Фиг. 120.



Трубчатый электроманитъ съ желѣзной обкладкой Айртона и Перри.

большой силой, притомъ равномерной на всеъ протяженіи, отъ одного конца этихъ внутреннихъ трубъ до другаго. Читатель можетъ сравнить двѣ послѣднія формы электроманитовъ, а также и изображенную на фиг. 129, съ электроманитомъ, изобрѣтеннымъ Гайзеромъ (Gaiser). Фиг. 121 представляетъ его электроманитъ,

Фиг. 121.



Электроманитъ Гайзера.

нитъ, въ которомъ значительная протяженность дѣйствія достигается, не измѣняя обыкновенную форму электроманитовъ съ цилиндрическими сердечниками. Кагушки сдѣланы настолько короткими, что концы сердечниковъ выступаютъ наружу, и на нихъ находятъ концы арматуры, сдѣланные изъ полосы листового желѣза. Концамъ ея придана форма круглыхъ цилиндровъ.

Описаніе другихъ изобрѣтеній, имѣвшихъ цѣлю увеличить протяженность дѣйствія электроманитовъ, а также уравнять ихъ силу на этомъ протяженіи, относится уже къ слѣдующей главѣ, въ которой описываются различные электроманитные механизмы.

## ГЛАВА IX.

### *Электромагнитные механизмы.*

Электромагниты применяются столь различными способами при устройствѣ механизмовъ для различныхъ цѣлей, что изученіе примѣненія ихъ, можетъ составить отдѣльный, самостоятельный отдѣлъ, ученія о механизмахъ. Конечно, крайне необходимо установить въ этомъ новомъ отдѣлѣ, хоть какую нибудь классификацію. Пятьдесятъ лѣтъ тому назадъ Виллисъ (Willis), въ Кембриджѣ, установилъ нѣчто подобное классификаціи для всѣхъ вообще механизмовъ. Дѣло, начатое имъ, было доведено почти до совершенства Рёло (Reuleaux) въ его обширномъ трактатѣ о кинематикѣ машинъ. Что касается электромагнитныхъ механизмовъ, то до сихъ поръ невозможно было раздѣлить ихъ на какіе нибудь электро-кинематическіе классы. Тѣмъ не менѣе, всякая классификація даже самая несовершенная, будетъ весьма полезна. Поэтому я считаю не лишнимъ, предпослать дальнѣйшему изложенію, нѣчто вродѣ перечисленія по категоріямъ всѣхъ, донинѣ извѣстныхъ, электромагнитныхъ механизмовъ.

### Перечисленіе электромагнитныхъ механизмовъ.

#### **I. Электромагниты:**

##### *A. Сердечникъ и катушка неподвижны; арматура подвижная.*

1. Короткая, компактная магнитная цѣпь для приставанія при соприкосновеніи.
2. Болѣе длинная цѣпь и болѣе сильная катушка для притяженія на разстояніи.
3. Особенныя формы: электромагнитъ съ внѣшней желѣзной обкладкой, электромагнитъ хромой, многополюсный и т. д.

##### *B. Неподвижная катушка и подвижной стержень.*

1. Стержень длиннѣе катушки.
2. Стержень короче катушки.

3. Особья формы стержня: конусообразный и т. п.
4. Катушка, состоящая из нѣсколькихъ частей, дѣйствующихъ послѣдовательно одна послѣ другой.

*С. Промежуточныя формы.*

*Д. Неподвижная катушка и въ ней подвижная.*

## **II. Электромагниты съ противодѣйствующими силами.**

1. Противодѣйствуютъ грузы.
2. Противодѣйствуютъ пружины.
3. Противодѣйствуютъ магниты.

## **III. Уравнители для электромагнитовъ.**

1. Электрическіе уравнители.
2. Осаживающія пружины.
3. Рычаги съ катящейся точкой прикосновенія.
4. Суставчатая подвижныя системы.
5. Уравнители съ полюсными поверхностями особой опредѣленной формы.

**IV. Электромагнитные кулаки.** Механизмы, дѣйствующіе приближеніемъ къ полюсной поверхности особой опредѣленной формы.

**V. Электромагнитныя суставчатая системы.** Механизмы, зависящіе отъ взаимодѣйствія двухъ или нѣсколькихъ отдѣльныхъ электромагнитовъ.

## **VI. Приборы, основанные на электромагнитномъ отталкиваніи.**

1. Взаимное отталкиваніе параллельныхъ сердечниковъ.
2. Удлиненіе трубообразныхъ или суставчатыхъ сердечниковъ.

## **VII. Поляризованные электромагнитные механизмы.**

1. Электромагнитъ съ параллельной поляризованной арматурой.
2. Электромагнитъ съ поперечной поляризованной арматурой.
3. Катушка съ поляризованнымъ подвижнымъ стержнемъ.
4. Поляризованный электромагнитъ съ противодѣйствующей пружиной (электромагнитъ Юза).
5. Неподвижный постоянный магнитъ и подвижная катушка.

### VIII. Электромагнитные вибраторы.

#### A. Неполяризованные.

1. Дѣйствующие прерываніемъ.
2. Дѣйствующие короткимъ замыканьемъ.
3. Съ дифференціальной обмоткой.

#### B. Поляризованные.

1. Простаго дѣйствія.
2. Подвижная часть поляризованная.
3. Неподвижная часть поляризованная.

### IX. Вращательные электромагнитные приборы.

1. Неподвижная катушка и подвижная стрѣлка.
2. Неподвижный магнитъ и подвижная спираль.
3. Спираль подвижная и спираль неподвижная.
4. Электромагнитъ съ арматурой, вращающейся около наклонной оси.
5. Проводникъ, вращающійся вокругъ магнитнаго полюса.
6. Мѣдный дискъ, вращающійся между магнитными полюсами.
7. Полюсь, вращающійся вокругъ проводника, по которому проходитъ токъ.
8. Магнитъ, вращающійся вокругъ своей оси, когда черезъ него проходитъ токъ.
9. Изогнутая трубкообразная спираль и стержень въ формѣ буквы S.
10. Арматура съ боковымъ движеніемъ:
  - a) Арматура Витстона съ кулаками.
  - b) Арматура Фромана, двигающаяся вокругъ центра.

### X. Электромагнитное сцѣпленіе.

1. Сцѣпленіе посредствомъ магнитнаго тренія.
2. Магнитный тормазъ.
3. Магнитные механизмы для сцѣпленія передаточныхъ валовъ

### XI. Приборы для перемѣнныхъ токовъ.

1. Мѣдный проводникъ, отталкиваемый отъ полюса.
2. Защита полюса мѣднымъ экраномъ.

3. Вращеніе (virtual rotation) магнитнаго поля, подъ вліяніемъ токовъ двухъ различныхъ фазъ.
4. Перемѣщеніе (virtual traveling) магнитнаго полюса въ массѣ желѣза подъ вліяніемъ замедляющаго дѣйствія катушки.

## I. Объ электромагнитахъ вообще. Основной принципъ.

Дѣйствіемъ всѣхъ этихъ разнообразныхъ механизмовъ управляетъ одинъ основной принципъ, состоящій въ томъ, что магнитъ всегда стремится укоротить длину своей магнитной цѣпи такъ, чтобы потокъ магнитныхъ линій черезъ намагничивающую обмотку былъ наибольшимъ. Другими словами, магнитная цѣпь стремится стать болѣе компактной. Это явленіе совершенно обратно тому, которое существуетъ въ электрической цѣпи. Электрическая цѣпь стремится увеличиться и заключить внутри своего контура возможно большее пространство, магнитная же, наоборотъ, стремится сжаться и стать наиболѣе компактной. Поэтому арматура притягивается настолько возможно ближе, такъ какъ при этомъ магнитная цѣпь замыкается. По этой же самой причинѣ желѣзный стержень втягивается въ катушку.

Въ приведенномъ выше списокѣ, въ отдѣлѣ I, перечислены вкратцѣ тѣ приборы, которые были рассмотрѣны въ предыдущихъ главахъ настоящей книги. Что же касается приборовъ, перечисленныхъ въ другихъ отдѣлахъ, то намъ придется сдѣлать нѣсколько детальнѣхъ описаній этихъ механизмовъ.

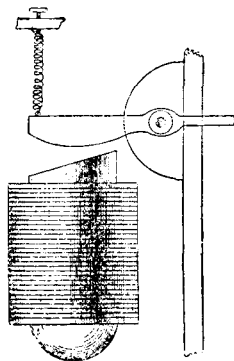
## II. Приборы съ приспособленіями, противодѣйствующими притяженію.

Если помѣстить арматуру подъ полюсами электромагнита, на нѣкоторомъ разстояніи отъ нихъ такъ, чтобы на нее дѣйствовала только сила тяжести, то очевидно, что при нѣкоторой опредѣленной силѣ тока, которая намагнититъ сердечники электромагнита до требуемой степени, сила притяженія преодолѣетъ силу тяжести и арматура подыметъ. Но, какъ только она подыметъ, магнитная цѣпь улучшится, притягательная сила увеличится и арматура притянется къ полюсамъ. Въ этомъ случаѣ болѣе сильный токъ не произведетъ большаго дѣйствія, чѣмъ токъ, едва



достаточный, чтобы приподнять катушку. Но если на катушку действует не сила тяжести, а например пружина, устроенная так, что по мере приближения катушки к полюсам, она начинает тянуть ее обратно с большей силой, то слабый ток произведет только небольшое перемещение, ток же более сильный произведет перемещение более значительное. Таким образом каждой силе тока будет соответствовать некоторое определенное положение катушки. Теперь ясно, что можно устроить такую пружину или систему пружин, которая регулировала бы движение катушки в зависимости от силы тока. Уже в 1838 г. Эдуард Деви предложил, в одной из своих привилегий на телеграфные приборы, употреблять пружину для регулирования движения катушки (фиг. 122).

Фиг. 122.



Способъ Деви регулиро-  
ванія движенія катушки  
пружиной.

Нѣсколько разъ предлагали употреблять для противодѣйствія притяженію катушки электромагнитомъ, стальной постоянной маг-  
нитъ, помещая его по другую сторону катушки на мѣсто пружины. Очевидно, что подобное устройство обладаетъ тѣми же недостатками (и даже въ большей степени), что и первое, въ которомъ притяженію противодѣйствуетъ сила тяжести. Въ этомъ случаѣ, какъ и въ первомъ, сильный токъ не произведетъ большаго дѣйствія, чѣмъ такой, который едва достаточно, чтобы дать начало движенію.

Нѣсколько разъ предлагали употреблять для противодѣйствія притяженію катушки электромагнитомъ, стальной постоянной маг-  
нитъ, помещая его по другую сторону катушки на мѣсто пружины. Очевидно, что подобное устройство обладаетъ тѣми же недостатками (и даже въ большей степени), что и первое, въ которомъ притяженію противодѣйствуетъ сила тяжести. Въ этомъ случаѣ, какъ и въ первомъ, сильный токъ не произведетъ большаго дѣйствія, чѣмъ такой, который едва достаточно, чтобы дать начало движенію.

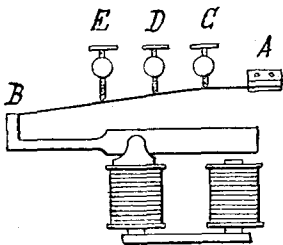
### III. Уравниатели.

Въ разное время было изобрѣтено много различныхъ способовъ для увеличенія протяженія дѣйствія электромагнита и уравниванія силы притяженія въ различныхъ частяхъ пространства, въ которомъ происходитъ движеніе. Существуютъ для этой цѣли способы, какъ механическіе, такъ и электрическіе и, наконецъ, электромеханическіе. Разсмотримъ сначала чисто электрическіе способы. Способъ, предложенный Андре (André), состоитъ въ томъ, чтобы, когда катушка начинаетъ приближаться и доходить до мѣста, гдѣ она начинаетъ притягиваться сильнѣе, автоматически образовывался

контактъ, который отвѣтвлялъ бы часть тока и такимъ образомъ намагничиваніе становилось бы слабѣе. Бюрнеттъ предложилъ другой способъ: нѣсколько электромагнитовъ дѣйствуютъ на одну и ту же катушку такъ, что когда она приближается къ каждому изъ нихъ, онъ автоматически выключается изъ цѣпи. Преимущества этого способа мнѣ кажутся весьма сомнительными.

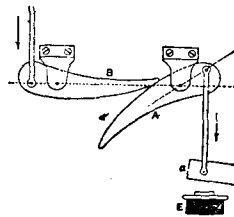
Электромагнитъ притягиваетъ катушку по мѣрѣ приближенія къ его полюсамъ все съ большей и большей силой. Для того, чтобы сдѣлать движеніе катушки болѣе равномернымъ, было предложено нѣсколько чисто механическихъ способовъ. Напримеръ, подвергая катушку въ то время, когда ее притягиваетъ электромагнитъ, дѣйствию другой силы, противоположной силѣ притяженія и притомъ увеличивающейся при приближеніи катушки къ полюсамъ. Другими словами, эта противоположная притяженію сила слаба, когда катушка далека отъ полюсовъ и становится сильной при приближеніи катушки къ соприкосновенію съ электромагнитомъ. Подобнаго рода дѣйствіе можетъ производить обыкновенная пружина. На фиг. 123 представленъ такого

Фиг. 123.



Уравнитель Калло.

Фиг. 124.



Уравнитель Роберта Гудена.

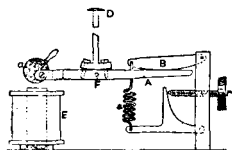
рода приборъ. Въ немъ уравнивающая движеніе часть состоитъ изъ стальной пружины, съ нѣсколькими нажимными винтами, помѣщенными надъ ней въ различныхъ точкахъ. Эти винты дѣлаютъ пружину болѣе сильной по мѣрѣ приближенія катушки къ полюсамъ. Описанный приборъ изобрѣтенъ французскимъ инженеромъ Калло (Callaud).

Другой способъ состоитъ въ употребленіи рычаговъ съ катящимся контактомъ (*rocking lever*), какъ это дѣлалъ знаменитый Робертъ Гудень (Robert Houdin). На фиг. 124 представленъ одинъ

изъ его уравниателей или распредѣлителей (*repartiteurs*). Притяженіе электромагнита дѣйствуетъ на изогнутый рычагъ, который въ свою очередь дѣйствуетъ на другой рычагъ. Точка приложенія силы мѣняется вмѣстѣ съ положеніемъ этихъ рычаговъ. Когда арматура далеко отъ полюса, то при перемѣщеніи перваго рычага перемѣщеніе втораго будетъ сравнительно не велико.

Употребленіе подобнаго *катящагося* (*rocking*) рычага было заимствовано у Гудена Дюбоскомъ при устройствѣ его дуговой лампы. Въ этой лампѣ регулирующий механизмъ, помѣщенный въ нижней ея части, содержитъ такой рычагъ. Криволинейный рычагъ В (фиг. 125) приводитъ въ дѣйствіе прямой рычагъ А.

Фиг. 125.



Механизмъ дуговой лампы  
Дюбоска.

Подобнаго рода механизмъ употребляется и въ лампѣ Серрена, въ которой одна изъ пружинъ, поддерживающая рамку, имѣющую форму параллелограмма, прикрѣплена къ концу катящагося рычага для того, чтобы уравнивать притяженіе электромагнита, регулирующаго длину вольтовой дуги. Ясно, что, придавая одному или обоимъ рычагамъ соответственную кривизну, можно распре-

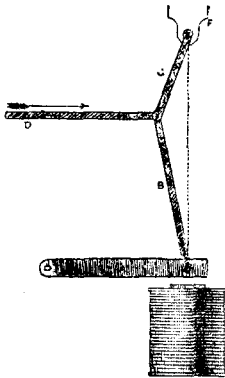
дѣлитель силу притяженія на всемъ пространствѣ движенія, какъ угодно. Пространство, на которомъ происходитъ движеніе, можетъ быть такое же, какъ и то, въ которомъ происходитъ движеніе самой арматуры, или же больше или меньше, смотря по требованію. Кривизна рычаговъ Гудена была получена эмпирически. Дю-Монсель первый показалъ, какъ можно вычислить кривизну рычаговъ для данной цѣли.

Для того, чтобы достигнуть той же цѣли, можно употреблять, съ большимъ или меньшимъ успѣхомъ, колѣнчатая система рычаговъ. На фиг. 126 представлена механическій методъ уравниванія, изобрѣтенный Фроманомъ (*Froment*), которымъ пользовался Ру (*Roux*). Вы знаете, что такое колѣнчатый рычагъ (*Stanhope lever*). Онъ превращаетъ слабую силу, дѣйствующую на значительномъ протяженіи, въ сильную, но дѣйствующую на весьма маломъ протяженіи. Въ данномъ случаѣ его заставляютъ дѣйствовать какъ разъ наоборотъ. Арматура, которая притягивается съ значительной силой и движется на небольшомъ протяженіи, прикрѣплена

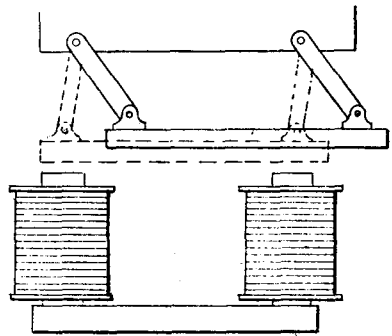
къ нижнему концу колѣнчатого рычага. Плечо, прикрѣпленное къ колѣну рычага, распредѣлитъ силу на совершенно иномъ протяженіи.

Другой способъ Фромана состоитъ въ помѣщеніи аппаратуры такъ, что она получаетъ возможность двигаться параллельно полюсамъ, приближаясь къ нимъ сбоку (фиг. 127). Такимъ обра-

Фиг. 126.



Фиг. 127.



Уравнитель Фромана съ суставчатымъ рычагомъ.

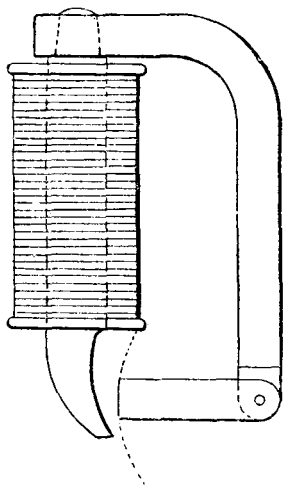
Уравнитель Фромана съ боковымъ движеніемъ аппаратуры.

зомъ сила притяженія къ полюсамъ заставляеть аппаратуру двигаться параллельно имъ. При этомъ протяженіе движенія становится больше и сила на немъ распредѣлена равномернѣе. Такого рода боковое движеніе примѣнено въ лампѣ Серрена. Въ механизмѣ этой лампы аппаратура электромагнита движется не къ полюсамъ его, но мимо нихъ.

Во всѣхъ описанныхъ механизмахъ, при приближеніи аппаратуры къ полюсамъ, магнитная цѣпь улучшается. Разнаго рода механическія передачи заставляють это улучшение происходить медленнѣе и равномернѣе, чѣмъ если бы аппаратура просто приближалась бы къ полюсамъ. Этой же цѣли можно достигнуть различными другими путями. Напримѣръ, можно заставить аппаратуру, приближаясь къ полюсамъ, весьма мало улучшать магнитную цѣпь, придавая полюсной поверхности нѣкоторую особенную форму, или снабжая сердечники полюсными наконечниками особой формы.

Одно изъ такихъ приспособленій изображено на фиг. 128. Арма- тура можетъ вращаться вокругъ одного изъ полюсовъ электро- магнита. Другой полюсъ его снаб- жень изогнутымъ полюснымъ на- конечникомъ. Измѣняя форму послѣдняго, можно, какъ угодно, распре- дѣлить силу притяженія на все пространство движенія арматуры. Подобнаго рода элект- ромагниты употребляются въ лам- пахъ Феникса, устраиваемыхъ Патерсономъ и Куперомъ.

Фиг. 128.



*Употребленіе полюснаго наконечника  
особенной формы.*

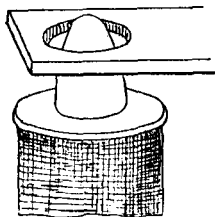
Фроманъ устроилъ еще при- боръ, въ которомъ тоже арматура движется мимо полюсовъ, а не къ нимъ. Именно полюсныя по- верхности устроены такъ, что между ними находится простран- ство, имѣющее форму буквы V. Въ этомъ пространствѣ движется

нѣчто вродѣ желѣзнаго клина, который не притягивается къ полюсамъ, но движется между ними.

Можно сказать, что всѣ эти электромагнитные механизмы, соотвѣтствуютъ тѣмъ обыкновеннымъ механизмамъ, которые осно- ваны на свойствахъ *клина и кулака*.

Другой способъ уравнивать притяженіе употребленъ Витстономъ въ его телеграфѣ (step-by-step telegraph) въ 1839 г. Въ арматурѣ продѣлано отверстіе и конецъ сердечника, имѣющій форму выдающагося конуса, про- ходитъ черезъ это отверстіе и такимъ обра- зомъ производитъ болѣе равномѣрное притя- женіе на большемъ пространствѣ. Этотъ же способъ (фиг. 129) примѣненъ въ послѣднее время для электромагнитовъ, употребляемыхъ въ лампахъ Томсонъ-Хустона и автомати- ческихъ регуляторахъ той же фирмы. Хюртъ (Hjörth) тоже упот- реблялъ въ 1854 г. очень похожую форму электромагнита для

Фиг. 129.



*Употребленіе просверленной  
арматуры и коническаго  
полюснаго наконечника.*

въ лампахъ Томсонъ-Хустона и автомати- ческихъ регуляторахъ той же фирмы. Хюртъ (Hjörth) тоже упот- реблялъ въ 1854 г. очень похожую форму электромагнита для

своего электродвигателя. Его желѣзная арматура имѣла форму коническаго стакана и соотвѣтствовала конической формѣ полюса.

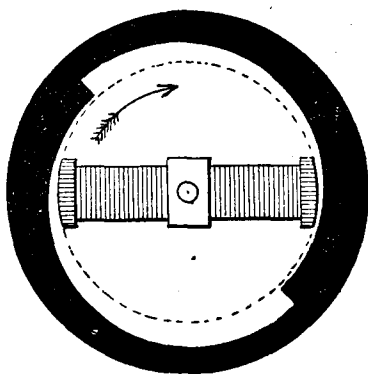
#### IV. Электромагнитные кулаки.

Уже было замѣчено, что механизмы, основанные на боковомъ приближеніи арматуры къ полюснымъ поверхностямъ опредѣленной формы, представляютъ нѣкоторую аналогію съ тѣми механизмами, употребляемыми въ обыкновенной механикѣ, которые основаны на употребленіи *кулаковъ*, представляющихъ изъ себя одну изъ разновидностей наклонной плоскости. Электромагнитный механизмъ, основанный на, такъ сказать, обратномъ, примѣненіи кулаковъ (первоначально изобрѣтенный Витстономъ) часто употребляется для маленькихъ электромагнитныхъ двигателей. На фиг. 130

представлена одна изъ формъ такихъ механизмовъ. Электромагнитъ тутъ можетъ вращаться вокругъ оси, проходящей черезъ его центръ. Онъ окруженъ желѣзнымъ кольцомъ, по которому проходятъ магнитныя линіи, выходящія изъ сѣвернаго полюса и входящія въ южный. Внутренней поверхности этого кольца придана особенная форма. На основаніи свойства магнитной цѣпи, мѣнять свою форму такъ, чтобы приближаться по возможности къ замкнутой, очевидно, что электромагнитъ будетъ вращаться,

пока воздушный слой между его полюсной поверхностью и внутренней поверхностью желѣзнаго кольца, не станетъ возможно болѣе тонкимъ. Если въ этотъ моментъ разомкнуть токъ, то электромагнитъ перейдетъ по инерціи черезъ мертвую точку и, если теперь опять (автоматически) токъ будетъ замкнутъ, то движеніе будетъ продолжаться. Такимъ образомъ, размыкая и замыкая токъ, можно заставить электромагнитъ вращаться непрерывно. Тутъ полнѣйшая

Фиг. 130.



Боковое движеніе электромагнита относительно окружающей массы желѣза.

аналогія съ механизмомъ вѣтряной мельницы, крылья которой дѣйствуютъ, какъ наклонная плоскость и вращаются наискось относительно направленія вѣтра.

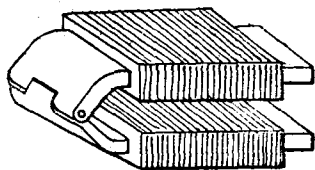
Всякіе электромагнитные механизмы, цѣль которыхъ распределить силу притяженія электромагнита на нѣкоторомъ пространствѣ, будь они основаны на приданіи арматурѣ или полюсной поверхности опредѣленной формы, или на стѣсненіи движенія, или на вращеніи арматуры, какъ это было раньше показано, всегда можно разсматривать какъ магнитный клинь, кулакъ, или наклонную плоскость.

## V. Электромагнитныя суставчатыя системы.

Подобно тому, какъ въ обыкновенныхъ суставчатыхъ системахъ посредствомъ болтовъ, сочленяются нѣсколько рычаговъ, колѣнчатыхъ валовъ и т. п., совершенно такъ же можно, комбинируя два или нѣсколько электромагнитовъ, устроить механизмъ, на который можно смотрѣть, какъ на электромагнитную суставчатую систему. Можно, на примѣръ, соединить болтомъ электромагнитъ съ его арматурой, или заставить взаимное притяженіе двухъ электромагнитовъ черезъ воздушный слой играть роль соединенія, или наконецъ заставить два электромагнита притягивать одну и ту же арматуру.

Простѣйшій случай представленъ на фиг. 131. Два электромагнита соединены шарниромъ. Свободные ихъ концы взаимно притягиваются, или отталкиваются, смотря по тому, въ какомъ направленіи идутъ токи въ ихъ обмоткахъ. Подобнаго рода механизмъ употреблялся Ревьевымъ 1879 г.

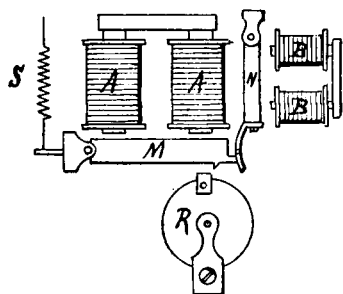
Фиг. 131.



*Электромагниты соединенные шарниромъ.* Другая весьма характеристическая комбинація состоитъ въ употребленіи двухъ электромагнитовъ, помѣщенныхъ подъ прямымъ угломъ другъ относительно друга. Этотъ механизмъ весьма удобенъ, какъ задерживающій механизмъ, который по желанію можетъ остановить какое нибудь движеніе или

нѣтъ. Теперь его употребляютъ для нѣкоторыхъ электромагнитныхъ замыкателей. Точно также онъ имѣетъ приложеніе въ электрической желѣзнодорожной сигнализациі, такъ называемой block system, Тьера, а также Айртона и Перри \*). Здѣсь достаточно будетъ привести одинъ примѣръ, взятый у Дю-Монселя, именно описать приборъ, служащій для записыванія нотъ, взятыхъ на клавиатурѣ органа или фортепіано \*\*). Электромагнитный механизмъ долженъ или задерживать движеніе вращающагося вала, или допускать это вращеніе. Каждое изъ этихъ дѣйствій должно совершаться отъ одного электрическаго импульса. На фиг. 132, R

Фиг. 132.



Задерживающій электромагнитъ.

представляетъ дискъ, прикрѣпленный къ вращающемуся валу, на которомъ сдѣланъ выступъ. За этотъ выступъ зацѣпляетъ зубъ, сдѣланный на арматурѣ M электромагнита АА. Когда арматура опущена, этотъ зубъ мѣшаетъ вращенію вала. Въ моментъ, когда по обмоткѣ электромагнита АА пропускается токъ, онъ притягиваетъ арматуру, она поднимается и другой выступъ, сдѣланный на ея концѣ, попадаетъ въ отверстіе, продѣланное въ арматурѣ N втораго электромагнита ВВ. Такимъ образомъ уже ничто не препятствуетъ вращенію вала. Когда пожелають остановить это вращеніе, придется пропустить токъ черезъ обмотку электромагнита ВВ. Онъ притягиваетъ арматуру N, и арматура M, освободившись, опустится и задержитъ вращеніе вала.

Въ пишущихъ телеграфахъ Купера и Робертсона (E. A. Cowper and Robertson) примѣнены другія комбинаціи двухъ электромагнитовъ. Въ приборѣ Купера каждый электромагнитъ притягиваетъ особую арматуру, но обѣ онѣ сочленены вмѣстѣ. Въ приборѣ Робертсона оба электромагнита дѣйствуютъ на одну и ту же арматуру, которая движется по діагонали, вслѣдствіе того, что силы дѣйствуютъ на нее подъ прямымъ угломъ.

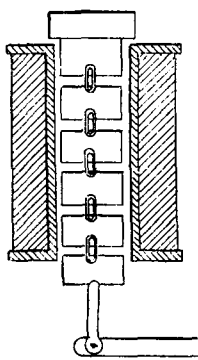
\*) См. отлично иллюстрированную статью въ Lum. Electr. Vol. III стр. 345, 1884.

\*\*) Дю-Монсель Exposé des Applications de l'Electricité. Vol. II p. 292 и Vol. III p. 117, (изд. 1857). Также Lum. Electr. Vol. III стр. 339, 1881 г.



Перренъ (Perrin) устроилъ электромагнитный механизмъ другого рода, цѣль котораго была получить значительное протяженіе движенія. Въ его приборѣ подвижной сердечникъ сдѣланъ изъ нѣсколькихъ короткихъ цилиндрическихъ стержней, соединенныхъ послѣдовательно мѣдными крючками, которые не мѣшаютъ сближенію дисковъ. Слѣдовательно, когда какая либо сила начнетъ подымать верхній дискъ, то и всѣ остальные начнутъ подыматься и удаляться другъ отъ друга, насколько позволяютъ крючки. Для того, чтобы придти въ соприкосновеніе, они должны пройти пространство, равное суммѣ тѣхъ пространствъ, которыя отдѣляли одинъ дискъ отъ другаго. При замыканіи тока въ катушкѣ, всѣ эти диски начнутъ взаимно притягиваться и ихъ сближеніе произведетъ движеніе тѣмъ большее, чѣмъ длиннѣ катушка и чѣмъ больше число дисковъ. Эту остроумную идею можно примѣнять различнымъ образомъ, но вѣроятно, что преимущества такихъ механизмовъ окажутся сомнительными

Фиг. 133.



Подвижной сердечникъ сдѣланный изъ нѣсколькихъ кусковъ.

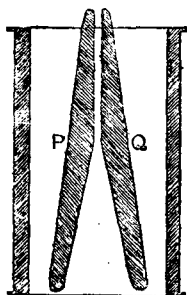
дискъ отъ другаго. При замыканіи тока въ катушкѣ, всѣ эти диски начнутъ взаимно притягиваться и ихъ сближеніе произведетъ движеніе тѣмъ большее, чѣмъ длиннѣ катушка и чѣмъ больше число дисковъ. Эту остроумную идею можно примѣнять различнымъ образомъ, но вѣроятно, что преимущества такихъ механизмовъ окажутся сомнительными

дискъ отъ другаго. При замыканіи тока въ катушкѣ, всѣ эти диски начнутъ взаимно притягиваться и ихъ сближеніе произведетъ движеніе тѣмъ большее, чѣмъ длиннѣ катушка и чѣмъ больше число дисковъ. Эту остроумную идею можно примѣнять различнымъ образомъ, но вѣроятно, что преимущества такихъ механизмовъ окажутся сомнительными

## VI. Механизмы основанные на отталкиваніи.

Какъ мы уже видѣли, приборомъ, изображеннымъ на фиг. 131,

Фиг. 134.



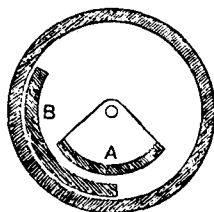
Отталкиваніе между двумя параллельными сердечниками.

можно пользоваться какъ для отталкиванія такъ и для притяженія, но существуютъ механизмы, способные только дѣйствовать отталкиваніемъ. Напримѣръ въ приборахъ Доброхотова-Майкова и Кабата (Maikoff et De Kabath), два не совсѣмъ параллельные стержня, могущіе вращаться вокругъ осей, помещенныхъ въ нижнихъ ихъ частяхъ, проходятъ сквозь трубкообразную катушку (фиг. 134). Когда они оба намагнитятся, то вмѣсто того, чтобы притягиваться, они отталкиваются, стремясь стать вдоль по направленію магнитныхъ линий. Стержни, будучи на нѣкоторомъ разстояніи одно отъ другаго внизу, стремятся удалиться на то же разстояніе и наверху.

Стержни, будучи на нѣкоторомъ разстояніи одно отъ другаго внизу, стремятся удалиться на то же разстояніе и наверху.

Въ 1850 г. Броунъ и Вилліамсъ взяли привилегію на приборъ своего изобрѣтенія, который, какъ показываетъ фиг. 135, состоитъ изъ электромагнита, отталкивающего одну изъ своихъ частей. Обмотка сдѣлана на трубкѣ и внутри ея помѣщается кусокъ желѣза В, согнутый въ видѣ сегмента цилиндра. Другой кусокъ желѣза А, которому тоже придана соотвѣтствующая форма, можетъ вращаться вокругъ оси катушки. Когда эти оба куска становятся намагниченными, то они стремятся удалиться одинъ отъ другаго, такъ какъ полюсы ихъ расположены одинаково. За послѣднее время устроено много вольтметровъ и амперметровъ, основанныхъ на такомъ отталкиваніи между параллельными тѣлами.

Фиг. 135.

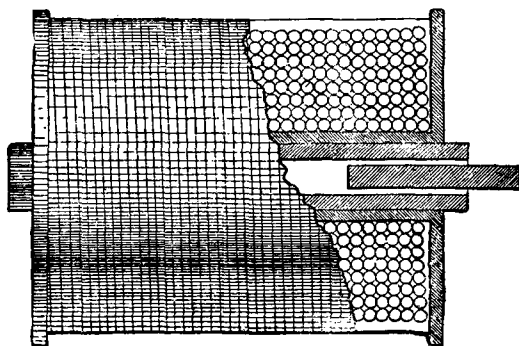


*Электромагнитный механизмъ дѣйствующій отъ отталкиванія.*

Приборъ, представленный на фиг. 136, представляетъ еще приборъ электромагнитнаго отталкиванія. Это электромагнитъ, состоящій изъ небольшой катушки (фиг. 136), сердечникъ которой ничто иное какъ желѣзная трубка въ 2 дюйма

длиною. Въ устройствѣ этомъ нѣтъ ничего необыкновеннаго, подобный электромагнитъ будетъ приставать къ кускамъ желѣза и въ этомъ отношеніи будетъ самымъ простымъ электромагнитомъ. Что же случится, если я возьму кусочекъ круглаго желѣза длиною

Фиг. 136.



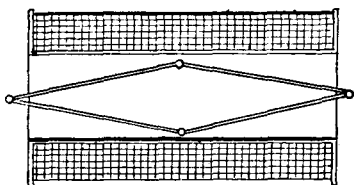
*Электромагнитное ружье.*

около дюйма, вложу его въ оконечность трубки и замкну токъ? Въ этомъ приборѣ магнитная цѣпь состоитъ изъ короткой части желѣза, а все остальное воздухъ. Магнитная цѣпь будетъ стремиться пополниться, не укорачивая длины желѣза, а наоборотъ удлиняя ее. Поэтому кусокъ желѣза долженъ выталкиваться, чтобы представить большую поверхность утечки. Это именно и происходитъ.

Какъ вы видите, когда я замыкаю токъ, маленькій кусокъ желѣза выскакиваетъ и падаетъ внизъ. Вы видите, что этотъ кусочекъ желѣза вылетаетъ съ порядочной силой. Такимъ образомъ получается нѣчто въ родѣ электромагнитнаго ружья. Это явленіе было открыто дважды. Раньше я нашелъ его описаніе, сдѣланное Дю-Монселемъ на страницахъ *Lumière Electrique*, подъ именемъ «*pistolet électromagnétique*» затѣмъ совершенно независимо открылъ его и Бидвелль. Онъ сообщилъ о немъ въ *Physical Society* въ 1885 году, но, я предполагаю, что составитель отчета забылъ о немъ, такъ какъ объ этомъ нѣтъ въ отчетахъ Общества \*).

Шельфордъ Бидвелль устроилъ еще другую модель, иллюстрирующую тотъ же принципъ (фиг. 137). Двѣ тонкія желѣзныя полосы соединены на концахъ, но

Фиг. 137.



Магнитное удлиненіе двойнаго желѣзнаго сердечника.

пропусканіи тока по катушкѣ, ихъ концы будутъ стремиться разойтись, такъ какъ при этомъ положеніи они облегчаютъ магнитнымъ линіямъ возвратный путь черезъ воздухъ.

## VII. Поляризованные электромагнитные механизмы.

Мы должны теперь обратить наше вниманіе на одинъ классъ электромагнитныхъ механизмовъ, который рѣзко отличается отъ всѣхъ прочихъ. Это тотъ классъ, въ которомъ, кромѣ обыкновенныхъ электромагнитовъ, употребляются и постоянные магниты. Механизмы такого устройства обыкновенно называются *поляризованными механизмами*. Цѣль, съ которою вводятся въ механизмы постоянные магниты, въ различныхъ случаяхъ бываетъ совершенно различна. Я не увѣренъ, чтобы когда нибудь было ясно выражено различіе между тремя цѣлями, неимѣющими ничего между собой общаго, для которыхъ постоянныя магниты комбинируются

\* ) Это открытіе было сдѣлано Доброхотовымъ-Майковымъ раньше 1881 г.

съ электромагнитами. Первая цѣль—это получить унидирекціональность (unidirectionality) движенія; вторая — увеличить быстроту дѣйствія и чувствительность къ слабымъ токамъ; третья — увеличить механическое дѣйствіе тока.

*Унидирекціональность движенія.* Въ обыкновенныхъ электромагнитахъ направленіе тока въ обмоткѣ не имѣетъ никакаго значенія. Арматура притягивается безъ различія какъ сѣвернымъ, такъ и южнымъ полюсомъ. Если переменить направленіе тока, арматура всетаки будетъ притягиваться. Существуетъ старый интересный опытъ Стюржена и Генри, показывающій, что если къ электромагниту привѣсить значительный грузъ и затѣмъ быстро переменить направленіе тока, то грузъ не падаетъ. Ему не будетъ времени упасть, пока магнитъ мѣняетъ полярность. Въ какомъ бы направленіи магнетизмъ не проходилъ черезъ мягкое желѣзо, арматура всегда будетъ притягиваться. Но, если арматура сама будетъ постояннымъ стальнымъ магнитомъ, то она будетъ притягиваться при одномъ расположеніи полюсовъ и отталкиваться при обратномъ. Иными словами, употребляя *поляризованную арматуру*, можно достичь зависимости направленія движенія отъ направленія тока въ обмоткѣ.

Обратившись къ фиг. 16, мы увидимъ, что въ механизмѣ, состоящемъ изъ неподвижнаго постояннаго магнита и подвижнаго проводника, по которому проходитъ токъ, направленіе движенія будетъ зависѣть отъ направленія тока въ проводникѣ. Если переменить направленіе тока, то переменится и направленіе движенія. Слѣдовательно тутъ является рѣзкое отличіе отъ дѣйствія обыкновеннаго электромагнита изъ мягкаго желѣза, такъ какъ въ этомъ послѣднемъ на арматуру дѣйствуетъ сила всегда въ одномъ и томъ же направленіи, независимо отъ направленія тока въ обмоткахъ. Чтобы различать эти два случая, механизмы, въ которые входятъ постоянные магниты, называютъ обыкновенно *поляризованными* механизмами, тѣ же, въ которыхъ употребляются только обыкновенные электромагниты — *неполяризованными*. При употребленіи постоянныхъ магнитовъ, механизмъ простаго дѣйствія, обращается въ механизмъ двойнаго дѣйствія. Преимущества этого рода механизмовъ можетъ сразу оцѣнить каждый инженеръ.

Первое приложеніе этого рода механизмовъ къ телеграфнымъ цѣлямъ — это дуплексъ телеграфъ. Вы можете послать двѣ телеграммы въ одно и то же время, въ одномъ и томъ же направле-

ни, двумя различнымъ сериямъ приемныхъ инструментовъ. Первая серия состоитъ изъ приборовъ съ обыкновенными электромагнитами, у которыхъ катушки изъ мягкаго желѣза снабжены пружинами. Эти приборы дѣйствуютъ независимо отъ направленія тока и дѣйствіе ихъ зависитъ только отъ его силы и продолжительности. Другая серия приборовъ снабжена поляризованными катушками, на которые дѣйствуетъ не только сила тока, но и его направленіе. Поэтому по одному и тому же направленію, въ одно и то же время, можно посылать два совершенно различныхъ ряда телеграммъ.

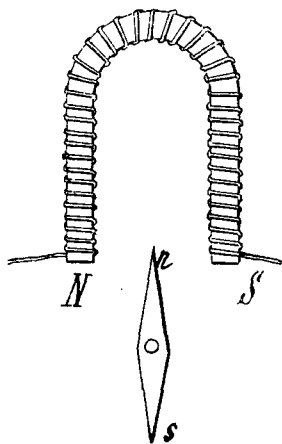
Другой способъ устройства поляризованныхъ механизмовъ, состоитъ въ томъ, что сердечники электромагнитовъ соединяютъ со стальными магнитами, которые даютъ имъ нѣкоторое начальное намагничиваніе. Такіе электромагниты съ начальнымъ магнетизмомъ въ сердечникахъ употреблялись въ 1848 г. Бреттомъ (Brett) и въ 1850 Хюртомъ (Hjörth). Въ 1870 Вильямъ Томсонъ желалъ взять привиллегію на это изобрѣтеніе, но Patent Office отказалъ ему въ этомъ. Въ 1871 Варлей взялъ патентъ на электромагнитъ, въ которомъ сердечникъ состоялъ изъ стальныхъ проволокъ съ концами, соединенными вмѣстѣ.

Прежде предполагали, что если на поляризованную катушку дѣйствуетъ электромагнитъ, то она будетъ или притягиваться или

отталкиваться, смотря потому, по какому направленію идетъ токъ въ обмоткѣ электромагнита. Очевидно, что это и будетъ такъ, если катушку помѣстить параллельно линіи, соединяющей полюсы. Но можно помѣстить поляризованную катушку и перпендикулярно къ этой линіи, между полюсами.

Стюардъ тоже изобрѣлъ поляризованный механизмъ для электромагнитнаго телеграфа. Изобрѣтенный имъ приборъ изображенъ на фиг. 138. Онъ состоитъ изъ стальной магнитной стрѣлки, одинъ полюсъ которой помѣщенъ

Фиг. 138.



Поляризованный механизмъ электромагнитнаго телеграфа Стюарда.

между полюсами подковообразнаго электромагнита изъ мягкаго желѣза. Если токъ проходитъ по обмоткѣ электромагнита отъ N къ S, то лѣвый полюсъ будетъ сѣвернымъ, а правый — южнымъ и слѣдовательно сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки отклонится вправо. Если-же переменить направление тока, то очевидно, что стрѣлка отклонится въ другую сторону. Удивительно, что это изобрѣтеніе, которое Стюрженъ подарилъ міру въ 1836 г., не взявъ даже привилегіи, никогда не было примѣнено на практикѣ, даже въ то время, когда телеграфы находились въ рукахъ немногихъ, заинтересованныхъ въ этомъ дѣлѣ, лицъ.

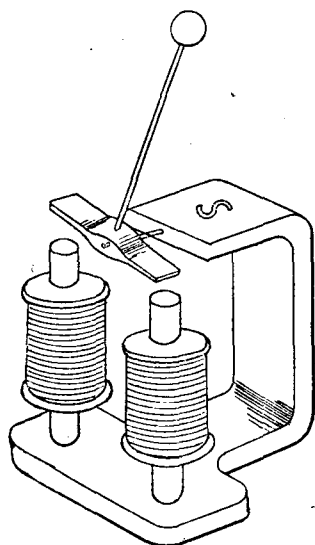
Въ 1845 г. Витстонъ взялъ привилегію на пользованіе магнитной стрѣлкой, которая притягивалась въ одну или другую сторону между полюсами электромагнита. Стюрженъ описалъ точно такое же изобрѣтеніе въ 1840 г. въ *Annals of Electricity*. Глеснеръ (Gloesner) утверждалъ, что онъ въ 1842 г. придумалъ замѣнять обыкновенную арматуру постояннымъ магнитомъ. Употребляя поляризованные приборы недостаточно замыкать и размыкать токъ, но надо имѣть возможность мѣнять направление тока. Посылая токъ въ одномъ направленіи, мы заставляемъ подвижную часть двигаться въ одну сторону, переменявъ направленіе тока — въ другую.

Дю-Монсель нашель, что, когда электромагнитъ изъ мягкаго желѣза дѣйствуетъ на постоянный магнитъ, помѣщенный параллельно линіи, соединяющей полюсы электромагнита и служащей такимъ образомъ арматурой, то сила, съ которой постоянный магнитъ притягивается при одномъ направленіи тока, не равна силѣ, съ которой онъ отталкивается при другомъ. Отталкивающая сила для равныхъ разстояній, всегда *меньше*, чѣмъ притягательная. Это, конечно, зависитъ отъ различныхъ величинъ магнитнаго потока въ первомъ и второмъ случаѣ.

Поляризованные механизмы употребляются также для того класса электрическихъ звонковъ, которые приводятся въ дѣйствіе токами переменнаго направленія. Въ одномъ изъ такихъ звонковъ (изображенномъ на фиг. 139), оба сердечника изъ мягкаго желѣза, составляющіе электромагнитъ, дѣлаются поляризованными, такъ какъ они привинчены къ изогнутому постоянному стальному магниту. Если верхній конецъ этого постояннаго магнита будетъ южнымъ полюсомъ, то концы сердечниковъ изъ мягкаго желѣза

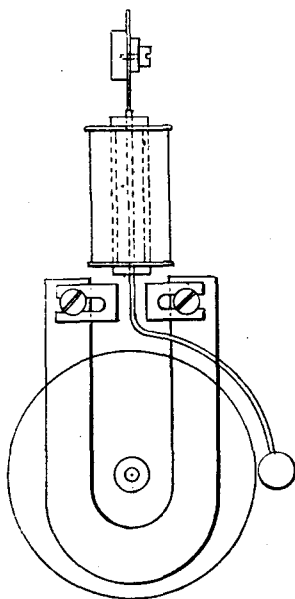
станутъ сѣверными полюсами. Они оба будутъ притягивать колеблющуюся арматуру изъ мягкаго желѣза, которая будетъ безразлично оставаться во всякомъ положеніи. Но если начать пропускать черезъ обмотки токъ такъ, чтобы онъ проходилъ въ нихъ по противоположнымъ направлѣніямъ, то онъ будетъ усиливать потокъ магнитныхъ линій въ одномъ сердечникѣ и ослаблять въ другомъ. Слѣдовательно, при перемѣнѣ направлѣнія тока, перемѣнится и положеніе качающейся арматуры. Для этихъ звонковъ не употребляютъ батгарею. Въмѣсто нея употребляютъ небольшую динамо-машину, дающую токъ перемѣннаго направлѣнія, которую приводятъ въ движеніе при помощи рукоятки. Токъ перемѣннаго направлѣнія заставляетъ арматуру колебаться попеременно влѣво и вправо, при этомъ маленькій молоточекъ ударяетъ попеременно въ одинъ изъ звонковъ, между которыми онъ помѣщается.

Фиг. 139.



Поляризованный механизм электрическаго звонка.

Фиг. 140.



Поляризованный электрической звонковъ Абданка.

Другой поляризованный механизмъ для электрическихъ звонковъ, изобрѣтенный Абданкомъ, изображенъ на фиг. 140. Для

первоначальнаго намагничиванія тутъ служить постоянный стальной подковообразный электромагнитъ. Токъ переменнаго направленія доставляетъ переменное намагничиваніе короткому желѣзному сердечнику, помѣщенному внутри катушки, между полюсами подковообразнаго магнита.

Употребленіе подвижнаго стержня, сдѣланнаго изъ стального постояннаго магнита, двигающагося въ трубкообразной катушкѣ, представляетъ еще одно изъ видоизмѣненій поляризованныхъ механизмовъ. Въ зависимости отъ направленія тока въ катушкѣ, сердечникъ, или втягивается, или выталкивается. Поляризованный механизмъ, подобный механизму релэ Сименса, хотя въ большихъ размѣрахъ, употребляется въ электрическихъ часахъ Гиппа (Hipp).

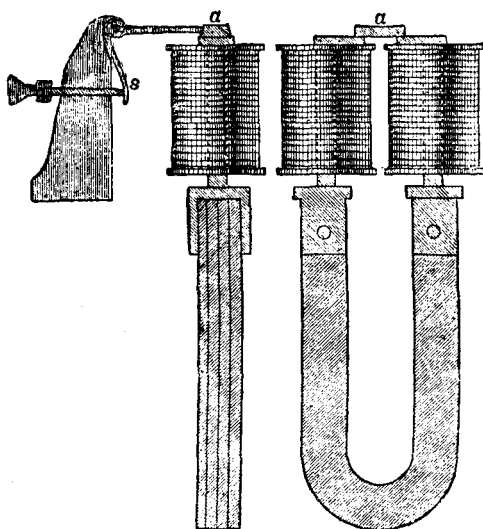
*Быстрота дѣйствія и чувствительность.* Поляризованныя релэ начали употреблять уже нѣсколько лѣтъ и часто употребляютъ и теперь. Модель образцоваго релэ Post-Office снабжена стальнымъ магнитомъ, который непрерывно намагничиваетъ маленькій язычекъ или арматуру, движущуюся между полюсами электромагнита, принимающаго сигналы. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ язычекъ движется между двумя задержками. Тогда протяженіе движенія дѣлается очень малымъ, чтобы приборъ соотвѣтствовалъ весьма слабымъ токамъ. Съ перваго взгляда вовсе не ясно, почему употребленіе постояннаго магнита, дѣлаетъ приборъ чувствительнѣе. Какимъ образомъ постоянный магнитъ увеличиваетъ быстроту работы? Изобрѣтатель скажетъ вамъ, не зная ничего больше, что присутствіе постояннаго магнита увеличиваетъ быстроту работы.

Вы могли бы предполагать, что постоянный магнетизмъ есть нѣчто, что должно быть уничтожено въ стержняхъ вашего электромагнита, иначе арматура, разъ притянутая къ полюсамъ, такъ и останется приставшей. Дѣйствительно остаточный магнетизмъ будетъ вредить работѣ, если только вы не устроите такъ, чтобы онъ былъ вамъ полезенъ. Долго предполагали, что постоянный магнетизмъ можетъ быть всѣмъ, чѣмъ угодно, но не источникомъ полезнаго дѣйствія. До тѣхъ поръ, пока Юзъ въ 1855 г. не показалъ, насколько удобно имѣть постоянный магнетизмъ въ сердечникахъ электромагнитовъ, предполагали, что онъ настолько вреденъ, что его нужно уничтожать всевозможными средствами. Электромагнитъ Юза, о которомъ мы уже упоминали раньше изображенъ на фиг. 141.



Подковообразный составной магнитъ снабженъ на полюсныхъ наконечникахъ двумя обмотками. Надъ ними находится маленькая

Фиг. 141.



Электромагнитъ Юза.

арматура, прикрѣпленная къ рычагу, который самъ соединенъ съ пружиной. Дѣйствіе этого прибора слѣдующее: пружина устроена такъ, что она стремится оторвать арматуру, но постоянный магнитъ обладаетъ силой, точь въ точь достаточной для того, чтобы удержать ее. Подвинчивая задній винтикъ въ пружинѣ, мы можемъ натянуть ее до той степени, чтобы обѣ противоположныя силы находились въ полномъ равновѣсіи. Тогда арматура будетъ удерживаться магнитомъ, а пружина едва едва не будетъ въ состояніи оторвать ее. Если теперь, когда двѣ эти силы такъ хорошо уравновѣшены, вы пропустите по обмоткамъ токъ, то магнетизмъ ослабѣетъ ровно на столько, чтобы пружина могла пересилить и арматура поднимется. Этотъ приборъ дѣйствуетъ, отпуская арматуру всякій разъ, когда равновѣсіе нарушено электрическимъ токомъ. Онъ очень чувствителенъ къ самымъ слабымъ токамъ. Конечно арматуру нужно приводить вновь въ первоначальное положеніе механическимъ путемъ и въ пишущемъ телеграфѣ Юза она и возвращается этимъ путемъ въ первоначальное положеніе

между каждым двумя последующими сигналами. Это механическое приспособление составляет совершенно отдельную часть электромагнитного механизма.

Подобного рода механизмы, при помощи которых самые слабые токи могут производить значительное механическое действие, можно назвать электромагнитными *спусковыми собачками* (*triggers*).

*Увеличение механическаго действия тока.* Третья цель, для которой употребляются постоянные магниты, т. е. усиление механическаго действия тока, тѣсно связана съ предыдущей, т. е. усиленіемъ чувствительности. Въ телефонныхъ приемникахъ постоянные магниты употребляются именно для этой цели.

Они увеличиваютъ механическое действие тока и тѣмъ самымъ дѣлаютъ приемники болѣе чувствительными. Долго это было для меня очень не ясно. Я дѣлалъ опыты, чтобы узнать насколько это явление зависитъ отъ измѣненія проницаемости желѣза при различныхъ степеняхъ намагничиванія, такъ какъ я видѣлъ, что это измѣненіе имѣетъ нѣкоторое вліяніе, но я былъ убѣжденъ, что дѣло не въ одномъ этомъ. Профессоръ Форбесъ далъ мнѣ ключъ къ истинному объясненію этого явления: оно заключается въ томъ законѣ приставанія, съ которымъ мы уже познакомились. По этому закону сила, дѣйствующая между арматурой и магнитомъ, пропорціональна квадрату числа дѣйствующихъ магнитныхъ линій. Если черезъ извѣстную площадь дѣйствуютъ  $N$  линій, то сила будетъ пропорціональна квадрату ихъ числа. Если черезъ арматуру постоянно проходятъ  $N$  линій, то притяженіе пропорціонально  $N^2$ . Положимъ теперь, что магнетизмъ нѣсколько измѣнился, напримѣръ увеличился, и это увеличеніе назовемъ  $dN$ . Такимъ образомъ число линій будетъ уже  $N + dN$ . Притяженіе будетъ пропорціонально уже квадрату этого числа. Очевидно, что движеніе будетъ пропорціонально разности между прежнимъ притяженіемъ и новымъ. Такимъ образомъ мы должны взять квадратъ  $(N + dN)$  и квадратъ  $N$  и найти разность между ними.

Увеличенное притяженіе пропорціонально  $N^2 + 2NdN + dN^2$

Начальное притяженіе пропорціонально  $N^2$

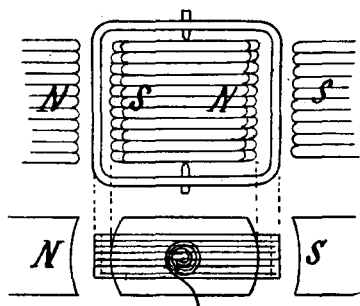
Вычитая, получимъ разность . . . . .  $2NdN + dN^2$

Мы можемъ пренебречь послѣднимъ членомъ, какъ весьма малымъ сравнительно съ первымъ. Такимъ образомъ мы оконча-

тельно имѣемъ, что измѣненіе притяженія пропорціонально  $2NdN$ . Измѣненіе въ притяженіи зависитъ не только отъ измѣненія въ магнетизмѣ, но и отъ начального намагничиванія. Чѣмъ больше начальное намагничиваніе, тѣмъ сильнѣе измѣненіе въ притяженіи при маломъ измѣненіи числа магнитныхъ линий. Это и есть причина, почему электромагниты Юза обладаютъ большей чувствительностью и почему употребленіе постоянныхъ магнитовъ въ телефонныхъ пріемникахъ увеличиваетъ ихъ механическое дѣйствіе.

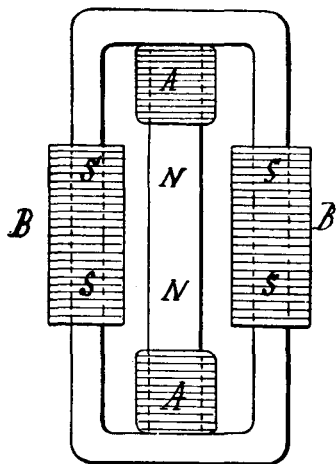
*Подвижная катушка въ постоянномъ магнитномъ полѣ.* Самый лучшій примѣръ, показывающій, какъ употребленіе постоянного магнита усиливаетъ дѣйствіе слабого электрическаго тока, представляютъ механизмы, къ описанію которыхъ я перехожу. Если въ магнитное поле помѣстить катушку, по которой проходитъ токъ, то на нее будетъ дѣйствовать сила, пропорціональная напряженію магнитнаго поля. Слѣдовательно, производя, при помощи весьма сильныхъ магнитовъ, магнитное поле сильнаго напряженія, можно будетъ замѣтить дѣйствіе самыхъ слабыхъ токовъ. Въ 1835 г. Стурженъ устроилъ на этомъ принципѣ термогальвано-

Фиг. 142.



Механизмъ Бэна съ подвижной катушкой.

Фиг. 143.



Механизмъ Дубравы съ двумя скользящими катушками.

метръ, подвѣсивъ проводникъ, заключавшій въ себѣ термоэлектрическій спай въ магнитномъ полѣ сильнаго стального магнита.

Въ 1841 Бэнъ (Вайн) употреблялъ приборы, основанные на этомъ принципѣ для своихъ телеграфовъ (фиг. 142). На немъ же основанъ и извѣстный *сифонный отмытчикъ* (*Siphon recorder*) Вильяма Томсона. Первымъ образцомъ гальванометровъ, главная часть которыхъ состоитъ въ подвижной катушкѣ, помѣщенной между полюсами постоянного магнита, былъ гальванометръ Робертсона (см. *Encyclopaedia Britannica* ed. VIII, 1855), современный же типъ представляетъ гальванометръ Д'Арсонваля, устроенный имъ по идеѣ Максвелля. Сименсъ на основаніи этого же принципа, устроилъ свое релѣ. На немъ же основанъ и радиомикрометръ Вернона Бойса (*Vernon Boys*).

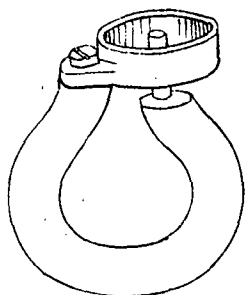
Другаго рода механизмы, обладающіе тоже подвижными катушками, были устроены Дубравой (*Doubrava*) для дуговыхъ лампъ. На особаго рода желѣзной рамѣ (фиг. 143) помѣщены двѣ неподвижныя катушки АА, обмотки которыхъ соединены такъ, что они стремятся произвести посерединѣ средней полосы два сѣверныя полюса NN и по два южныхъ на серединахъ боковыхъ полосъ. Поэтому между средней и боковыми полюсами получится два сильныхъ магнитныхъ поля. Двѣ другія катушки ВВ могутъ скользить вверхъ и внизъ по боковымъ полюсамъ рамы. Когда по этимъ катушкамъ проходитъ токъ, то появляются силы, дѣйствующія подъ прямымъ угломъ къ направленію тока и подъ прямымъ угломъ къ направленію магнитныхъ линій. Слѣдовательно эти силы будутъ заставлять подвижныя катушки или скользить внизъ или вверхъ, въ зависимости отъ направленія тока въ ихъ обмоткахъ.

Между различными поляризованными приборами намъ нужно обратить особенное вниманіе на обыкновенный телефонный приемный аппаратъ. Въ той формѣ, которую ему далъ Грагамъ Белль, этотъ аппаратъ состоитъ изъ электромагнита Юза (т. е. изъ постоянного стального магнита, къ концамъ котораго прикрѣплены наконечники изъ мягкаго желѣза, окруженные обмоткой), и вибрирующей арматуры, имѣющей видъ тонкаго желѣзнаго диска. Въ приборѣ Белля постоянный магнитъ былъ подковообразный и оба полюса его находились противъ желѣзной пластинки. Болѣе распространенная форма этого прибора, съ однимъ полюсомъ, помѣщеннымъ противъ центра диска, изобрѣтена позднѣе и, хотя она болѣе удобна, но зато менѣе дѣйствительна. Изъ современныхъ приборовъ этого рода два достойны того, чтобы о нихъ

здѣсь упомянуть. Въ приборѣ Д'Арсонваля постоянный магнитъ изогнутъ такъ, что на одинъ изъ полюсовъ можно надѣть кольцевой наконечникъ, который окружаетъ другой полюсъ, находящійся въ центрѣ (фиг. 144).

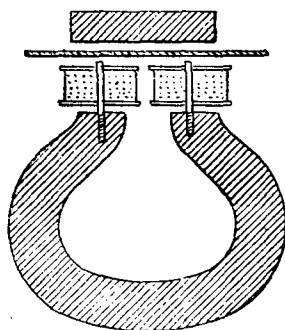
Въ приборѣ Адера желѣзная масса помѣщена противъ полюсовъ, на *противуположной* сторонѣ выбрирующей пластинки (фиг. 145). Благодаря вліянію этой массы дискъ притягивается магни-

Фиг. 144.



Телеграфный приемник Д'Арсонваля.

Фиг. 145.



Телеграфный приемник Адера.

томъ сильнѣе. Ея присутствіе улучшаетъ магнитную цѣпь и, вѣроятно, концентрируетъ магнитныя линіи въ магнитномъ полѣ, лежащемъ противъ концовъ полюсовъ.

### VIII. Электромагнитные вибраторы.

Этотъ классъ механизмовъ настолько важенъ, что ему посвящена особая глава (X).

### IX. Электромагнитные механизмы для вращенія.

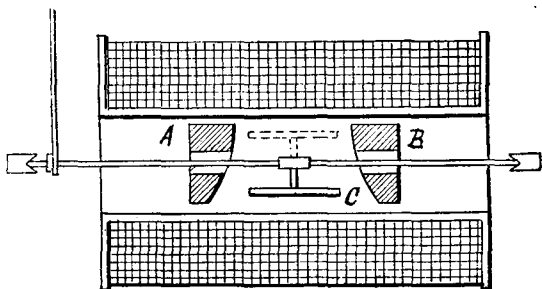
Существуетъ много механизмовъ для произведенія вращенія или движенія при помощи электромагнитовъ. Въ нѣкоторыхъ изъ нихъ вращающаяся часть только поворачивается на большій или меньшій уголъ, въ другихъ происходитъ ея непрерывное вращеніе. Простѣйшимъ примѣромъ механизмовъ первой категоріи можетъ служить магнитная стрѣлка отклоняющаяся отъ дѣйствія тока, проходящаго надъ нею или подъ нею. Это явленіе было

открыто Эрштетомъ въ 1819 году. Простые старинные электродвигатели, какъ двигатель Ричи и другихъ, о которыхъ подробнѣе будетъ говорить въ главѣ XII, могутъ служить примѣрами механизмовъ второй категоріи.

Между множествомъ формъ механизмовъ, предназначенныхъ только для поворачиванія движущейся части на нѣкоторый уголъ, но не для постояннаго ея вращенія, почти нѣтъ никакого сходства, но всѣ они основаны на одномъ и томъ же принципѣ: во всѣхъ этого рода механизмахъ подвижная часть стремится принять такое положеніе, при которомъ магнитная цѣль наиболѣе приближается къ замкнутой, и слѣдовательно при которомъ магнетизмъ наибольшій. Нѣкоторые изъ этихъ механизмовъ были раньше описаны, напримѣръ приборъ Витстона (фиг. 130), Бэна (фиг. 142).

Въ одномъ изъ такихъ приборовъ (амперметрѣ), устроенномъ Эвершедомъ (Evershed), небольшой кусочекъ желѣза *C*, вращающійся вокругъ оси, движется, оставаясь параллельнымъ самъ себѣ между кривыми поверхностями кусковъ желѣза *A* и *B* (фиг. 146).

Фиг. 146.

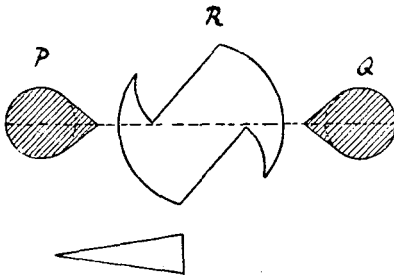


Амперметръ Эвершеда.

Всѣ эти части помѣщены въ катушку, снабженную обмоткой изъ мѣдной проволоки. Та же самая идея примѣнена нѣсколько инымъ образомъ въ приборѣ, изображенномъ на фиг. 147. Центральному кусочку желѣза *R* придана особенная форма (онъ снабженъ двумя клинообразными язычками) и этотъ кусочекъ помѣщенъ между полюсами электромагнита *P* и *Q*. Вращающійся кусочекъ желѣза стремится повернуться такъ, чтобы помѣститься на линіи, соединяющей полюсы, возможно большую толщину желѣза.

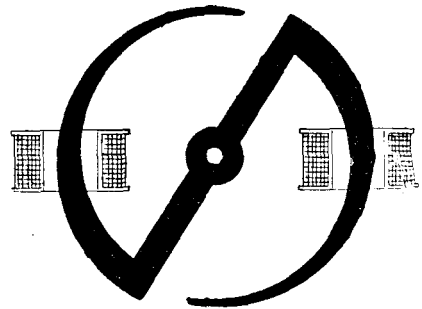
Одинъ изъ новѣйшихъ приборовъ этого рода изображенъ на фиг. 148. Обѣ намагничивающія катушки снабжены отверстіями

Фиг. 147.



Желѣзная арматура особой формы, помещенная между полюсами электромагнита.

Фиг. 148.



Изогнутый подвижной сердечникъ въ трубообразныхъ катушкахъ.

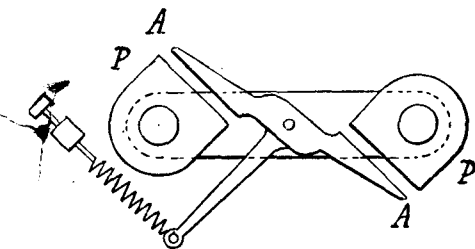
вдоль по оси. Желѣзные сердечники имѣютъ форму конусовъ и соединены вмѣстѣ такъ, что они образуютъ какъ бы часть колеснаго обода. При прохожденіи тока по обмоткамъ катушекъ, они стремятся погружаться все глубже и глубже въ свои катушки. Конечно цѣль подобнаго механизма—примѣнить особенныя свойства конусообразныхъ сердечниковъ, которыя были уже описаны раньше.

Кромѣ только что описанныхъ механизмовъ, существуетъ еще много другихъ, въ которыхъ подвижная часть вращается вокругъ оси. Нѣкоторые изъ нихъ были устроены для телеграфныхъ цѣлей. Примѣромъ можетъ служить приборъ, (фиг. 149) устроенный Сименсомъ сорокъ лѣтъ тому назадъ, въ которомъ арматура АА вращается между полюсными наконечниками РР, прикрепленными къ концамъ подковообразнаго электромагнита.

Благодаря особенной формѣ арматуры и полюсныхъ наконечниковъ, воздушный слой между ними весьма тонокъ, поэтому достаточно небольшого тока, чтобы намагнитить всю магнитную цѣпь. Поэтому приборъ этотъ отличается большой чувствительностью. На фиг. 150 изображенъ приборъ Ватергуза (Waterhouse) изъ Нью-Йорка, въ которомъ вращается одинъ изъ цилиндрическихъ сердечниковъ электромагнита, снабженный выступомъ А. Другой сердечникъ (В) тоже снабженъ выступомъ бѣльшихъ размѣровъ

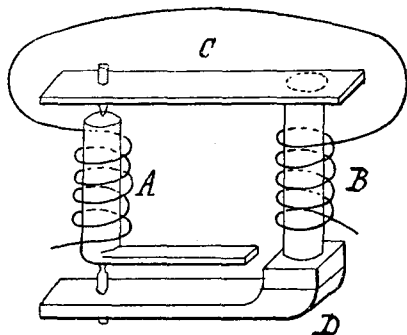
D из латуни или какого нибудь другого немагнитного металла. Въ этотъ выступъ упирается нижній конецъ оси, вокругъ кото-

Фиг. 149.



Приборъ Сименса съ вращающейся арматурой.

Фиг. 150.



Приборъ Ватеруса съ вращающейся арматурой.

рой вращается первый стержень. Если А повернуть въ сторону, то намагничивающій токъ будетъ стремиться поставить его выступъ опять параллельно подставкѣ D.

Всѣ разсмотрѣнные до сихъ поръ механизмы были неполяризованные, но существуютъ и такіе, въ которыхъ одна изъ частей, подвижная или неподвижная, намагничена сама по себѣ. Примѣромъ такихъ поляризованныхъ механизмовъ съ вращающейся частью могутъ служить многочисленные виды телеграфныхъ релѣ. Напримѣръ въ релѣ Варлея (Varley) два маленькихъ стальныхъ подковообразныхъ магнита могутъ поворачиваться на небольшой уголъ, такъ, чтобы одна или другая пара ихъ полюсовъ помѣщалась противъ полюса прямого электромагнита, помѣщенного посерединѣ.

Для того, чтобы вполне воспользоваться увеличеніемъ чувствительности, которую производитъ употребленіе постоянного магнита, этотъ послѣдній долженъ быть значительныхъ размѣровъ и значительной силы (см. отдѣлъ VII (в), настоящей главы). Поэтому непрактично дѣлать самый магнитъ подвижною частью въ механизмѣ, такъ какъ онъ не будетъ въ состояніи передавать быстро слѣдующіе одинъ за другимъ сигналы. Въ современныхъ релѣ подвижная часть дѣлается легкой и она поляризуется (т. е. нама-



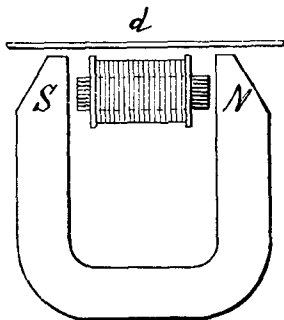
гничивается известнымъ образомъ) при помощи вспомогательнаго постояннаго магнита, который самъ неподвиженъ.

Нѣсколько примѣровъ другихъ вращающихся электромагнитныхъ механизмовъ будетъ приведено въ главѣ XII, касающейся электрическихъ двигателей.

## Х. Развѣтвленія магнитной цѣпи.

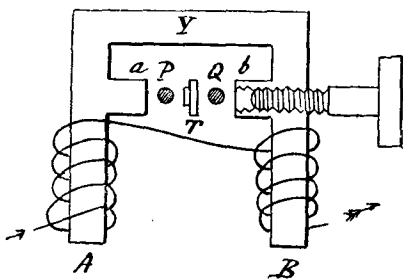
Между всѣми электромагнитными механизмами совершенно отдѣльную группу представляютъ механизмы, основанные на употребленіи развѣтвленій магнитной цѣпи или магнитныхъ шунтовъ. Другими словами—на употребленіи такихъ кусковъ желѣза, которые представляютъ для магнитныхъ линій два различныхъ пути. Примѣромъ можетъ служить прибавочный желѣзный якорь, которымъ иногда снабжаются маленькія магнито-электрическія машинки, употребляемыя въ медицинѣ, для уменьшенія ихъ силы. Когда этотъ якорь помѣщенъ на полюсахъ стального магнита, то для магнитныхъ линій образуется путь, обладающій большою проницаемостью и слѣдовательно число ихъ, проходящее черезъ желѣзный сердечникъ вращающейся арматуры, уменьшается. На фиг. 151 представленъ телефонный приемникъ съ магнитнымъ

Фиг. 151.



Телефонный приемникъ съ магнитнымъ шунтомъ.

Фиг. 152.



Реле Д'Арлинкюра.

шунтомъ. На этомъ рисункѣ *d* изображаетъ обыкновенную тонкую желѣзную діафрагму, а SN постоянный стальной магнитъ. Между полюсами послѣдняго помѣщенъ короткій стержень изъ мягкаго

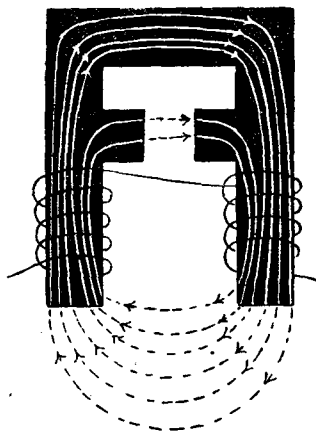
железа, на который надѣта катушка. Часть магнитныхъ линий будетъ проходить черезъ железный дискъ, часть—черезъ стержень. Если въ обмоткѣ стержня токъ идетъ по такому направленію, что въ немъ магнитный потокъ увеличивается, то часть потока, проходящая черезъ дискъ, уменьшится. Если же токъ въ катушкѣ проходить въ обратномъ направленіи, то онъ будетъ выталкивать часть магнитныхъ линий изъ стержня, и потокъ ихъ въ дискъ усилится. Такого рода приемникъ былъ независимо другъ отъ друга изобрѣтенъ Карпантье и авторомъ этой книги.

Важную роль магнитный шунтъ играетъ тоже въ релѣ, известномъ подъ именемъ релѣ Д'Арлинкура (D'Arliencourt), которое въ главныхъ чертахъ представлено на фиг. 152. Обмотка сдѣлана на двухъ сердечникахъ, не соединенныхъ между собой полосой, на ихъ нижнихъ концахъ А и В.

Эти сердечники снабжены двумя выступами *a* и *b*, между которыми находится поляризованный язычекъ Т,двигающійся между двумя задержками Р и Q, сдѣланными изъ немагнитнаго матеріала. Железный винтъ, проходящій сквозь выступъ *b*, позволяетъ регулировать дѣйствіе прибора. Выше выступовъ *a* и *b* сердечники соединены полосой Y, которая такимъ образомъ играетъ роль магнитнаго шунта. Когда по обмоткѣ проходитъ токъ, въ направленіи, указанномъ стрѣлками, то въ магнитной цѣпи появляются магнитныя линии, идущія вверхъ по вѣтви А и внизъ по вѣтви В.

Часть этихъ линий проходитъ черезъ выступы *a* и *b*, часть—черезъ соединительную полосу Y. Распределение магнитныхъ линий показано на фиг. 153. Если поляризованный язычекъ намагничивается прикосновеніемъ къ южному полюсу постоянного магнита, то онъ отклоняется въ сторону задержки Р, когда токъ проходитъ въ направленіи, указанномъ стрѣлками, такъ какъ тогда выступъ *a* будетъ сѣвернымъ полюсомъ, а выступъ *b*—южнымъ.

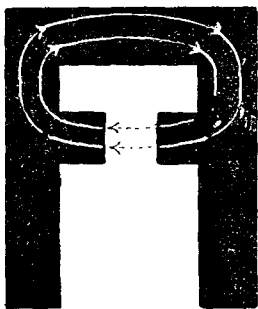
Фиг. 153.



Магнитная цѣпь въ релѣ Д'Арлинкура.

Язычекъ можно снабдить пружиной, которая возвращала бы его на мѣсто, на середину пространства между выступами *a* и *b*, когда токъ въ обмоткѣ будетъ прерванъ. На это возвращеніе идетъ нѣкоторое время. Д'Арлинкуръ нашелъ, что язычекъ этого релэ работаетъ скорѣе, когда существуетъ соединительная полоса *Y*, чѣмъ когда ея нѣтъ. Причины, которыя приводили телеграфисты для объясненія этого явленія, не совсѣмъ удовлетворительны. Настоящая же причина слѣдующая: чѣмъ больше цѣпь электромагнита приближается къ замкнутой, тѣмъ медленнѣе она

Фиг. 154.



Магнитная цѣпь въ релэ Д'Арлинкура послѣ того, какъ токъ въ обмоткѣ разомкнутъ.

въ нижней части исчезнуть, то наступитъ моментъ, когда, какъ показываетъ фиг. 154, направленіе потока между *a* и *b* измѣнится. Въ этотъ моментъ язычекъ *T* будетъ отброшенъ отъ задержки *P* къ задержкѣ *Q*.

## XI. Электромагнитное сцѣпленіе.

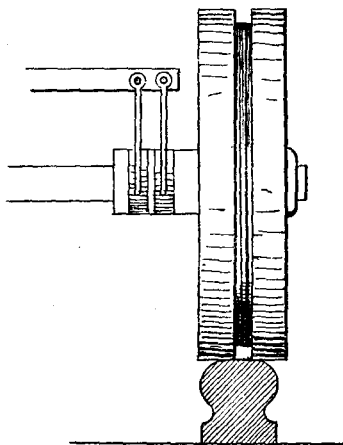
Сорокъ лѣтъ тому назадъ было предложено употреблять электромагниты для того, чтобы производить сцѣпленіе между колесомъ паровоза и рельсомъ, по которому оно катится. Опыты, сдѣланные въ то время Никлесомъ на Лионской желѣзной дорогѣ, не увѣнчались успѣхомъ, благодаря тѣмъ весьма несовершеннымъ методамъ, которые онъ употреблялъ для намагничиванія колесъ. Мало по малу были найдены болѣе подходящія формы электромагнитовъ. Таковы: круглый электромагнитъ Вебера (фиг. 28) и электромагнитъ, предложенный Никлесомъ, который состоялъ (фиг. 155) изъ колеса, на окружности котораго сдѣланъ желобокъ и въ желобкѣ помѣщена обмотка. Такимъ образомъ

одна половина окружности становится сѣвернымъ полюсомъ, другая — южнымъ. Магнитная цѣпь замыкается именно въ томъ мѣстѣ, гдѣ колесо касается рельса.

Электромагнитное сцѣпление употребляется также и для передачи движенія, какъ это показано на фиг. 156. Здѣсь движеніе передается исключительно при помощи магнитнаго сцѣпленія безъ всякихъ зубчатыхъ колесъ. Ободья у обоихъ колесъ сдѣланы изъ желѣза и слѣдовательно они сильно пристають другъ къ другу, когда по окружающей ихъ мѣдной обмоткѣ проходитъ токъ.

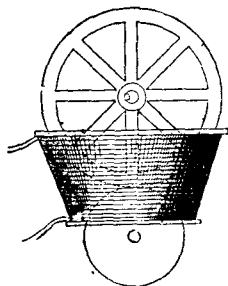
Другое важное примѣненіе, которое можетъ имѣть электромагнитъ, состоитъ въ томъ, что его можно употреблять для очистки или отдѣленія желѣзныхъ кусочковъ отъ немагнитныхъ матеріаловъ. Первый электромагнитный сепараторъ или сортировщикъ изобрѣтенъ Артуромъ Валлемъ (Wall) \*), на который онъ получилъ привилегію въ 1847 г. За нимъ послѣдовала «выбирающая» (trieuse) или «электрическая сортировальная машина», изобрѣтенная Шено (M. S. A. V. Cheno), въ которой электромагниты были прикрѣплены къ вращающемуся диску, на который сыпали желѣзную руду. Приставшія части отбрасывались на нѣкоторое разстояніе отъ немагнитныхъ матеріаловъ. Съ тѣхъ поръ было устроено много различныхъ магнитныхъ сепараторовъ. Эти приборы употребляются въ фарфоровомъ

Фиг. 155.



Электромагнитное сцѣпленіе колеса съ рельсомъ.

Фиг. 156.

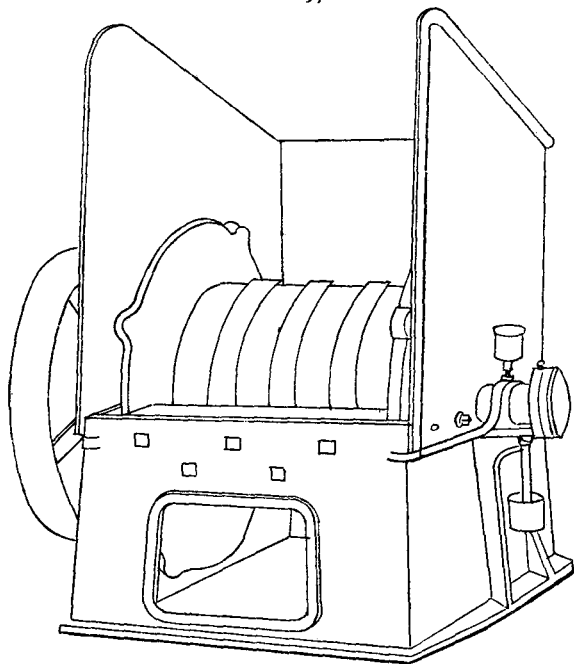


Сцѣпленіе Никлеса при помощи магнитнаго тренія.

\*) Нужно замѣтить, что въ 1792 г. была дарована привилегія Вильяму Фуллартону (Fullarton) на способъ очистки желѣзной руды при помощи магнитнаго притяженія. Понятно, что онъ употреблялъ постоянные магниты.

производствѣ для выдѣленія желѣзныхъ опилокъ изъ бѣлой фарфоровой глины. Для той же цѣли они употребляются при производствѣ свинцовыхъ бѣлилъ. Въ инженерномъ дѣлѣ сепараторы употребляются для отдѣленія желѣзныхъ опилокъ отъ мѣдныхъ или латунныхъ. Фабриканты искусственнаго гуано, которое получается перетираниемъ всякаго рода отбросовъ, особенно сухаго коровьяго навоза, употребляютъ магнитные сепараторы, чтобы отдѣлить всѣ желѣзные гвозди, гайки и вообще всѣ куски желѣза изъ перетираемыхъ матеріаловъ, иначе эти куски могли бы попортить трущія поверхности. На фиг. 157 изображенъ сепараторъ, уст-

Фиг. 157.

*Магнитный сепараторъ.*

роенный для этой послѣдней цѣли электротехнической фирмой Брѣша. Этотъ сепараторъ состоитъ изъ вращающагося желѣзнаго барабана, на поверхности котораго сдѣланы желобки. Въ этихъ желобкахъ помѣщается намагничивающая обмотка. Въ общемъ приборъ напоминаетъ электромагнитъ Вебера (фиг. 28). Барабанъ

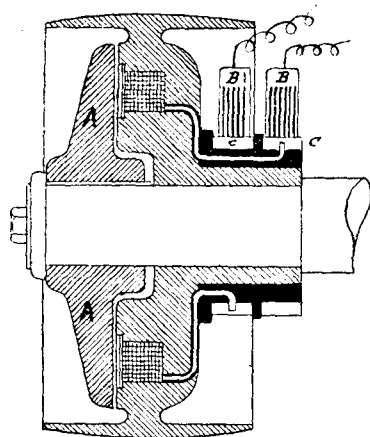
приводится во вращеніе при помощи паровой машины. На него сыпать высушенные отбросы. Куски желѣза переносятся барабаномъ на другую сторону и удаляются механически. Конечно токъ вводится въ обмотки при помощи скользящихъ контактовъ. Въ нѣкоторыхъ сепараторахъ токъ размыкается или отвѣтвляется на нѣкоторое время при каждомъ оборотѣ барабана. Въ это время приставшія къ нему части отпадаютъ. Кромѣ описанныхъ существуетъ еще много магнитныхъ сепараторовъ, устроенныхъ для отдѣленія кусковъ желѣза отъ немагнитныхъ матеріаловъ, или для отдѣленія желѣзной руды.

Между многими механизмами, основанными на магнитномъ сцѣпленіи, входитъ теперь въ большое употребленіе электромагнитный механизмъ-муфта для сцѣпленія валовъ (clutch), который замѣняетъ обыкновенныя сцѣпленія. Уже давно Ашаръ (Achard) предлагалъ употреблять для этой цѣли электромагниты, но тѣ электромагниты особеннаго устройства, которые онъ изобрѣлъ, не были особенно удачны.

Современная и совершенно практичная форма такого электромагнитнаго механизма-муфты представлена на фиг. 158. Представленный приборъ устраивается электротехнической фирмой Брѣша, но идеѣ Винна и Раурорта (Wynne and Raworth).

Электромагнитъ, который тутъ примѣненъ, принадлежитъ къ типу электромагнитовъ съ внѣшней желѣзной обкладкой. Этотъ электромагнитъ ничто иное, какъ обыкновенный холостой шкивъ, только болѣе солидный, въ передней сторонѣ котораго сдѣланъ глубокій и широкій желобъ, куда помѣщается обмотка изъ изолированной мѣдной проволоки. Противъ этой стороны шкива помѣщается желѣзный дискъ А, прикрѣпленный къ валу. Электрическій токъ входитъ въ обмотку и выходитъ изъ нее черезъ

Фиг. 158.



Электромагнитный механизмъ для сцѣпленія валовъ Винна и Раурорта.

электрическій токъ входитъ въ обмотку и выходитъ изъ нее черезъ

двѣ металлическія щетки В В, нарисованныя въ правой части чертежа, которыя надавливаютъ на два металлическія кольца. Одно изъ этихъ колець соединено съ концомъ обмотки, другое—съ ея началомъ. Когда требуется привести этотъ механизмъ въ дѣйствіе, то достаточно замкнуть токъ. Сейчасъ же электромагнитный шкивъ пристанетъ къ желѣзному диску и вмѣстѣ съ тѣмъ шкивъ начнетъ вращаться вмѣстѣ съ валомъ. Силу сцѣпленія легко довести до 100 фунтовъ на квадратный дюймъ поверхности соприкосновенія. Такъ какъ коммутаторъ, которымъ замыкается и размыкается токъ, можно помѣстить гдѣ угодно, то ясно, что такого рода сцѣпленія имѣютъ большія преимущества передъ обыкновенными, особенно, когда валъ помѣщенъ такъ, что до него трудно достигъ.

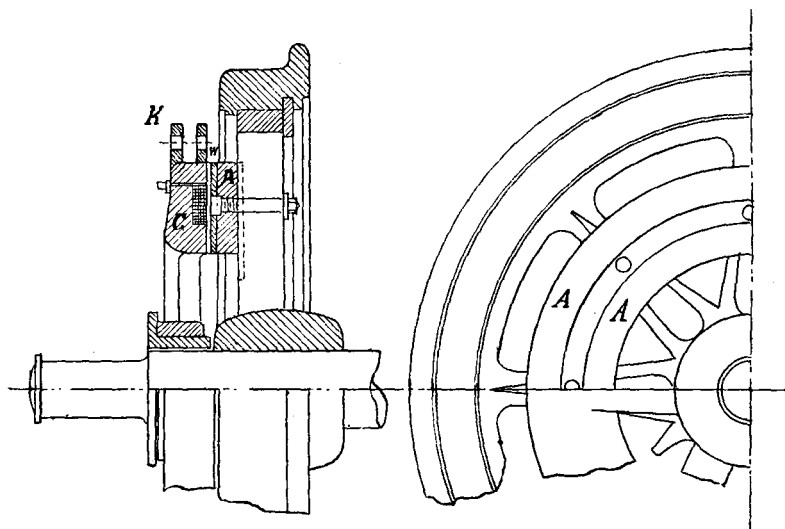
Подобное же примѣненіе электромагнитовъ представляетъ изобрѣтенное Виллансомъ (Willans) электромагнитное сцѣпленіе, которое можетъ замѣнить обыкновенное упругое сцѣпленіе, употребляемое часто для передачи движенія отъ паровой машины къ динамомашинѣ, помѣщенной на томъ же фундаментѣ. Электромагнитъ тутъ тоже принадлежитъ къ типу электромагнитовъ, снабженныхъ внѣшней желѣзной обкладкой и имѣетъ два ряда симметрично расположенныхъ выступовъ, внутри и снаружи, которые, хотя не касаются, но сильно притягиваютъ другъ друга и передаютъ значительную тангенціальную силу.

*Электромагнитные тормоза для желѣзныхъ дорогъ.* Такіе тормоза были изобрѣтены впервые Амбергеромъ (Amberger) въ 1850 г. и затѣмъ разрабатывались въ разное время Ансаромъ и другими.

Современная форма электромагнитнаго тормоза представлена на фиг. 159. Это тормозъ, изобрѣтенный проф. Форбесомъ и Тиммисомъ. Электромагнитъ съ внѣшней желѣзной обкладкой весьма похожъ на изображенный на фиг. 23 и описанный раньше. Сердечникъ С имѣетъ форму кольца, сдѣланъ изъ мягкаго желѣза и прикрѣпленъ при помощи болтовъ, проходящихъ въ отверстіе К, къ коробкѣ съ смазывающимъ масломъ, помѣщенной на оси. Въ немъ сдѣланъ глубокой желобъ, въ которомъ помѣщается обмотка. Арматурой служитъ тоже желѣзное кольцо, прикрѣпленное болтами къ колесу вагона. Такъ какъ соприкасающіяся поверхности при дѣйствіи тормоза быстро изнашиваются, то между арматурой и электромагнитами помѣщена пара полюсныхъ нацо-

печниковъ W, которые можно легко замѣнять новыми. Если въ поѣздѣ каждое колесо каждаго вагона снабжено такимъ тормазомъ,

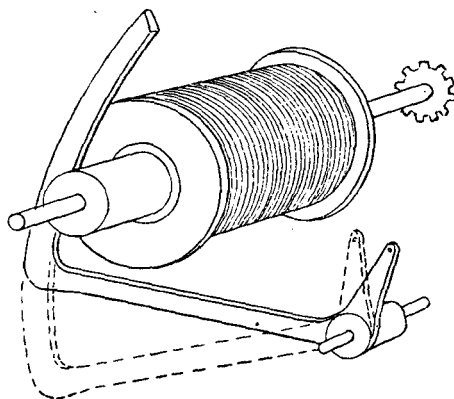
Фиг. 159.



Электромагнитный тормазъ Форбеса и Тиммиса.

зомъ, то для того чтобы привести ихъ всѣхъ въ дѣйствіе, достаточно только замкнуть токъ. Дѣйствіе, которое производитъ такой тормазъ, какъ найдено, пропорціонально силѣ тока въ обмоткѣ.

Фиг. 160.



Механизмъ Коломбе.



Намъ остается только описать еще два механизма—основанные на магнитномъ сцепленіи. Въ первомъ изъ нихъ (фиг. 160), изобрѣтенномъ Коломбе (Colombet), вращающійся желѣзный валъ поднимаетъ изогнутый желѣзный рычагъ, когда по обмоткѣ, окружающей валъ, пропускается токъ. Валъ пристаеетъ къ рычагу и все время, пока по обмоткѣ проходитъ токъ, между ними поддерживается кагающійся контактъ.

Перейдемъ къ послѣднему механизму, въ которомъ тоже пользуются магнитнымъ сцепленіемъ. Это электромагнитное сочлененіе въ лампѣ Гюльшера. Въ ней электромагнитъ, висящій на цапфахъ, пристаеетъ самъ къ круглому желѣзному стержню, поддерживающему верхній уголь и заставляеетъ его подниматься.

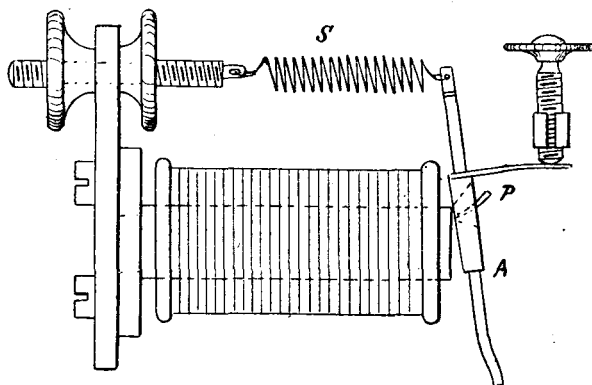
## ХІІ. Механизмы для токовъ переменнаго направленія.

Эти механизмы будутъ подробно описаны въ главѣ ХІ.

### Механизмы, употребляемые въ электрическихъ звонкахъ и индикаторахъ.

Раньше чѣмъ кончить настоящую главу, слѣдуетъ упомянуть о различныхъ механизмахъ, которые употребляются для электрическихъ звонковъ и индикаторовъ или возвѣстителей (annunciator) для этихъ звонковъ. Многіе изъ нихъ могутъ служить отличными примѣрами того свойства магнитной цѣпи, по которому она всегда

Фиг. 161.



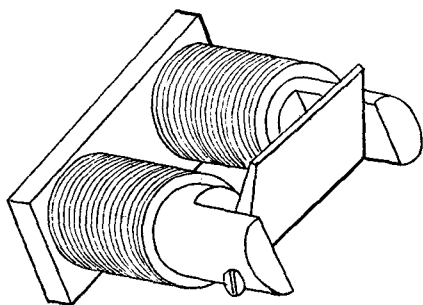
Механизмъ электрическаго звонка Вагнера.

стремится принять форму, наиболее приближающуюся къ замкнутой, причѣмъ потокъ магнитныхъ линий увеличивается.

Хорошій примѣръ представляетъ электрическій звонокъ въ физическомъ кабинетѣ въ Finsbury Technical College, устроенный Вагнеромъ изъ Висбадена (фиг. 161). Въ этомъ звонкѣ электромагнитъ, имѣющій форму подковы, помѣщенъ горизонтально. Къ каждой изъ полюсныхъ поверхностей приделаны латунный крючекъ Р, на которомъ виситъ арматура А (для этой цѣли въ ней сдѣланы отверстия). Эта арматура касается одного изъ краевъ сердечниковъ и такимъ образомъ замыкаетъ магнитную цѣпь, но пружина S не допускаетъ полного прикосновенія по всей поверхности и между арматурой и полюсами образуется треугольный воздушный слой. При пропускании тока, арматура приближается къ полюсной поверхности и такимъ образомъ приходитъ въ колебаніе. Большая чувствительность этого прибора можетъ зависеть оттого, что первоначальное положеніе арматуры способствуетъ намагничиванію сердечниковъ.

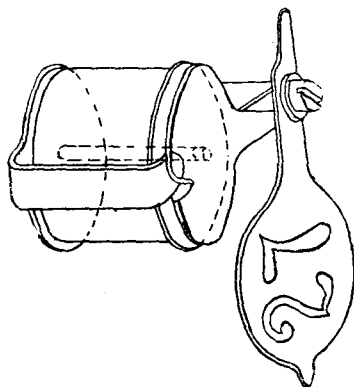
Фиг. 162 изображаетъ другой механизмъ. Плоская желѣзная

Фиг. 162.



Механизмъ индикатора съ поднимающимся дискомъ.

Фиг. 163.



Индикаторъ семафора Торпе.

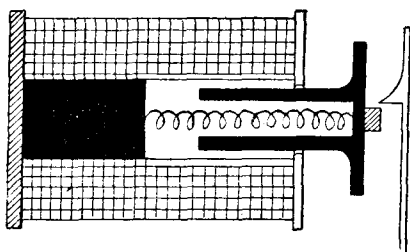
арматура можетъ качаться между полюсами подковообразнаго электромагнита, въ которомъ полюсныя наконечники сръзаны особеннымъ образомъ. Когда по обмоткѣ электромагнита токъ не проходитъ, то арматура принимаетъ наклонное положеніе и при этомъ выставляется сигнальный дискъ, приделанный къ ней (на

фигурѣ онъ не показанъ). Когда же черезъ обмотку пропущенъ токъ, арматура поднимается и дискъ прячется.

Индикаторъ въ семафорѣ Торпе (Thorpe) состоитъ изъ одного центрального стержня (фиг. 163), окруженнаго обмоткой. Небольшая полоса желѣза идетъ отъ задней части и почти поополняетъ магнитную цѣпь, оставляя небольшой воздушный слой. Этотъ воздушный слой отдѣляетъ отъ сердечника притягиваемую арматуру, роль которой въ данномъ случаѣ играетъ плоскій желѣзный дискъ. Этотъ дискъ притягиваясь, освобождаетъ другой мѣдный дискъ, который тотчасъ же опускается. Эта форма сигналаго аппарата весьма чувствительна и удобна.

Индикаторъ Мозлея (Moseley) состоитъ изъ катушки (фиг. 164), въ которомъ помѣщенъ неподвижный короткій сердечникъ

Фиг. 164.



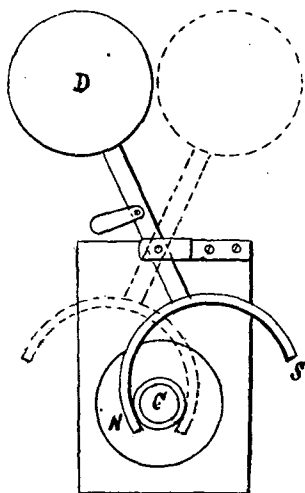
Индикаторъ Мозлея.

и другой подвижной-трубкообразной, выталкиваемой внутренней пружиной. Втягиваясь, онъ втягиваетъ и задержку и позволяетъ сигнальной части опускаться.

Въ общеизвѣстной формѣ поляризованнаго индикатора (фиг. 165), изогнутый стальной магнитъ N S качается вокругъ полюса С, короткаго прямого электромагнита, который лежитъ горизонтально и выступаетъ изъ-за доски. Качающійся магнитъ поддерживаетъ красный сигнальный дискъ D, помѣщенный на вертикальной стойкѣ. Когда токъ въ обмоткѣ электромагнита идетъ въ одномъ направленіи, то кривой магнитъ отклоняется въ одну сторону. При переменѣ направленія тока, мѣняется и направленіе, въ которомъ отклоняется магнитъ. Такимъ образомъ этотъ механизмъ позволяетъ ставить дискъ въ первоначальное положеніе электрическимъ путемъ, не заставляя сторожа бѣгать къ сема-

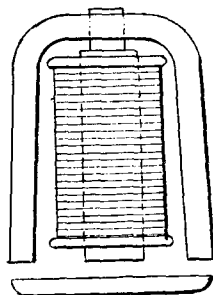
фору. Въ этой то возможности приводить дискъ въ первоначальное положеніе электрическимъ путемъ и заключается преимущество поляризованныхъ механизмовъ.

Фиг. 165.



Поляризованный индикаторъ.

Фиг. 166.



Трехполюсный электромагнитъ въ индикаторъ Джента.

Въ индикаторъ Джента (Gent) употребляется трехполюсный электромагнитъ, который снабженъ только одной катушкой на центральномъ сердечникѣ (фиг. 165). Арматура, поднимаясь, позволяетъ опускаться рычагу (trip-lever) и такимъ образомъ отмѣчать полученіе сигнала.

Существуетъ еще много другихъ индикаторовъ. Въ нѣкоторыхъ изъ нихъ при помощи электромагнитовъ освобождаютъ рычаги (trip-liver), въ другихъ приводятся въ колебаніе маятники и т. п. Но я думаю, что приведенныхъ примѣровъ достаточно.

## ГЛАВА X.

### *Электромагнитные вибраторы и маятники.*

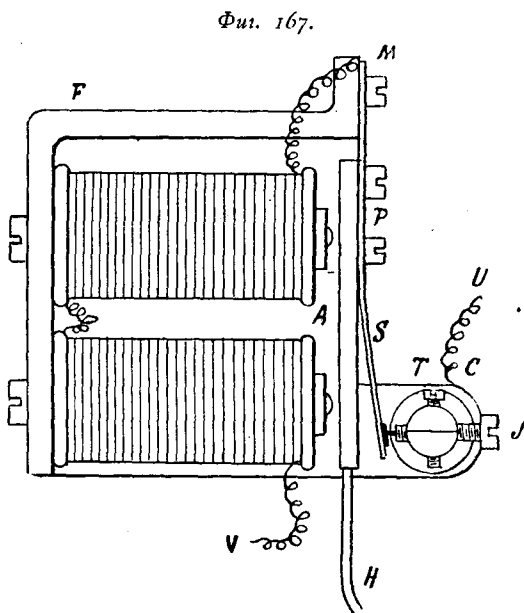
Существует множество механизмовъ, въ которыхъ колебательное движеніе поддерживается электромагнитнымъ путемъ. Арма-тура поочередно, то приближается къ полюсамъ электромагнита то удаляется отъ нихъ, вслѣдствіе того, что токъ въ обмоткѣ электромагнита то замыкается, то замыкается самодѣйствующимъ прерывателемъ. Подобныя колеблющіяся части можно найти въ каждомъ обыкновенномъ электрическомъ звонкѣ, въ прерывателяхъ индукціонныхъ катушекъ, въ камертонахъ, колебаніе которыхъ поддерживается электрическимъ путемъ, въ передатчикахъ гармоническихъ телеграфовъ и другихъ приборахъ. Ихъ также употребляютъ для нѣкоторыхъ, теперь уже устарѣлыхъ, формъ электродвигателей и для приведенія въ колебаніе маятниковъ нѣкоторыхъ электрическихъ часовъ.

Формы электромагнитныхъ колебателей подвергались цѣлому ряду измѣненій. Первый колебательный приборъ былъ устроенъ въ 1824 г. Вульвичскимъ химикомъ Джемсомъ Марчемъ (James Marsh). Онъ состоялъ изъ проволоки, подвѣшенной при помощи упругаго металлическаго соединенія между полюсами сильнаго подковообразнаго магнита. Нижняя часть проволоки погружалась въ чашку со ртутью. Когда по проволокѣ начиналъ проходить токъ достаточной силы, то она начинала отклоняться въ бокъ въ магнитномъ полѣ и при этомъ движеніи прерывала токъ. Сейчас же, послѣ того, какъ токъ переставалъ проходить по проволокѣ, она возвращалась въ первоначальное положеніе, токъ опять замыкался, проволока снова отклонялась и такъ далѣе. За этимъ примитивнымъ приборомъ послѣдовало изобрѣтеніе прыгающей (dancing) спирали д-ра Роже (Roget), которая одно время употреблялась, какъ прерыватель для индукціонныхъ катушекъ. Затѣмъ послѣдовали изобрѣтенія различныхъ приборовъ для звонковъ. Между ними колеблющійся рычажный приборъ Даль-Негро (Dal-Negro) и проф. Генри, молоточекъ Вагнера, извѣстный также

подъ именемъ молоточка Неефа (Neeff), колеблющійся прерыватель Фромана, извѣстный также подъ именемъ Фроманова «шептунъ» (buzzer).

Наконецъ, былъ изобрѣтенъ тотъ электрическій звонокъ, который мы употребляемъ и теперь. Это изобрѣтеніе было сдѣлано въ 1850 г. Джономъ Мирандомъ (John Mirand). Въ то же самое время были изобрѣтены другія системы звонковъ Сименсомъ и Гальске и Липпенсомъ.

На фиг. 167 представленъ механизмъ обыкновеннаго электри-



*Механизмъ обыкновеннаго электрическаго звонка съ колеблющейся арматурой.*

ческаго звонка. Въ этомъ приборѣ, какъ только электрическая цѣпь будетъ замкнута, электромагнитъ притягиваетъ свою арматуру А и выводитъ ее изъ обыкновеннаго положенія. Пружинка S, помѣщенная съ другаго бока арматуры, поддерживаетъ контактъ, но когда арматура притянется къ электромагниту, то пружинка перестаетъ прикасаться къ контактному штифтику и токъ прервется, причѣмъ образуется искра. Съ этого момента, намагничиваніе стержней электромагнита начинаетъ уменьшаться и сила, съ которою они притягиваютъ арматуру, тоже. Но эта послѣдняя

все-таки, обладая нѣкоторой скоростью, продолжаетъ двигаться впередъ, пока, наконецъ, пружина, которая ее поддерживае-тъ, не согнется настолько, что остановить дальнѣйшее движеніе арматуры и не вернуть ее назадъ. Снова арматура пріобрѣтаетъ нѣкоторую скорость, контактная пружина касается штифта и контактъ снова восстанавливается. Но арматура не остановится тотчасъ же—ея инерція заставитъ ее еще продолжать движеніе. Для электромагнита тоже нужно нѣкоторое время, чтобы получить наибольшую притягательную силу. Пока онъ будетъ намагничиваться, арматура придетъ въ начальное положеніе и затѣмъ опять начнетъ двигаться къ электромагниту. Очевидно, что въ описанномъ циклѣ большую роль играетъ механическая инерція подвижной части, хотя не меньшее значеніе имѣетъ и электромагнитная инерція цѣпи. Еслибы токъ устанавливался и уничтожался сразу въ моменты замыканія и размыканія тока, т. е. еслибы медлительность (*latency*) прибора равнялось бы нулю, то арматура притягивалась бы ничуть не сильнѣе во время своего движенія впередъ, чѣмъ во время движенія назадъ.

Не нужно забывать, что въ электрическихъ звонкахъ, точно также какъ и во всѣхъ электромагнитныхъ двигателяхъ, въ которыхъ есть колеблющіяся или вращающіяся части, движеніе ихъ всегда сопровождается индуктированіемъ въ цѣпи противоположной электродвижущей силы. Читатель, который незнакомъ съ этимъ явленіемъ, долженъ обратиться къ какому нибудь сочиненію, касающемуся динамо-машинъ, и къ теоріи электродвигателей. Во все время, пока арматура движется, приближаясь къ полюсамъ электромагнита, магнитная цѣпь все улучшается и слѣдовательно магнитный потокъ въ желѣзной ея части увеличивается. Благодаря этому, появляется обратная электродвижущая сила, которая уменьшаетъ токъ. Если движеніе настолько быстро и противоположная электродвижущая сила настолько велика, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ токъ совершенно уничтожается и въ этотъ самый моментъ уничтожается контактъ, то при этомъ уничтоженіи не появится искры. Далѣе, когда арматура возвращается обратно, то появляется электродвижущая сила, которая помогаетъ току намагничивать сердечникъ электромагнита такъ, что, вѣроятно, намагничивающій токъ достигаетъ наибольшей величины въ тотъ моментъ, когда арматура удалится на самое большое разстояніе;

или немного позже. Для электрических звонковъ съ колеблющейся арматурой это обстоятельство не имѣетъ большого значенія, но оно имѣетъ громадное значеніе въ такихъ гармоническихъ вибраторахъ, какъ камертоны, въ случаяхъ когда ихъ колебанія поддерживаются электрическимъ путемъ.

Ни одинъ изъ вибрирующихъ приборовъ не будетъ имѣть правильнаго гармоническаго движенія, если импульсы, имъ получаемые, не будутъ производиться во-время. Въ идеальномъ случаѣ простаго гармоническаго движенія, силы, стремящіяся вернуть колеблющееся тѣло въ первоначальное положеніе, пропорціональны, въ каждый моментъ времени, его перемѣщенію. Благодаря тренію, такое движеніе черезъ нѣкоторое время прекратится, если его не поддерживать какимъ нибудь образомъ. Очевидно, что дѣйствующая сила тренія тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость движенія и слѣдовательно она наибольшая, когда вибрирующая система проходитъ черезъ ту часть своего пути, которая соотвѣтствуетъ нулевому перемѣщенію. Если въ этотъ моментъ вибрирующая система получить небольшой импульсъ, то такимъ образомъ можетъ быть компенсировано уменьшеніе амплитуды колебанія, зависящее отъ тренія. Если же вибрирующее тѣло получить импульсъ въ какой нибудь другой части своего пути, то вліяніе этого импульса будетъ иное, именно онъ повліяетъ на скорость колебательнаго движенія, увеличивъ ее.

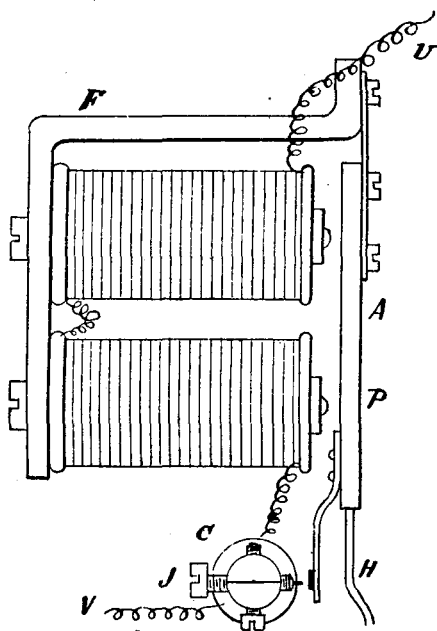
Въ часахъ и другихъ механизмахъ, гдѣ есть маятники, эти послѣдніе не будутъ колебаться изохронно подъ вліяніемъ отдѣльных импульсовъ, если они получаютъ эти импульсы въ какой нибудь другой моментъ, а не въ тотъ, въ который они проходятъ черезъ нуль или среднее положеніе. Мы рассмотримъ еще этотъ вопросъ, говоря о камертонахъ.

Для того, чтобы избѣжать появленія искры въ звонкѣ, при размыканіи тока, устраиваютъ механизмы, въ которыхъ токъ въ намагничивающихъ катушкахъ, при приближеніи арматуры, не замыкается, а вмѣсто этого происходитъ короткое замыканіе. Въ этомъ случаѣ контактный столбикъ помѣщается по другую сторону арматуры, такъ, чтобы контактъ происходилъ при приближеніи арматуры къ полюсамъ электромагнита. Нѣкоторые конструкторы не устраиваютъ контактнаго столбика, а вмѣсто этого заставляютъ играть его роль одинъ изъ полюсовъ электромагнита.



Какъ только короткое замыканіе произведено, электромагнитъ размагнитится и арматура, дойдя до конца своего пути, въ направленіи, приближающемся къ полюсамъ, пойдетъ назадъ. Въ моментъ, когда контактъ нарушится, не появится никакой искры, такъ какъ въ этотъ моментъ не будетъ происходить уменьшенія намагничиванія стержней. Поэтому въ звонкахъ съ механизмомъ, основанномъ на употребленіи короткаго замыканія (фиг. 168), не прихо-

Фиг. 168.



*Звонокъ съ механизмомъ, основанномъ на употребленіи короткаго замыканія.*

дится дѣлать неплавящихся платиновыхъ контактовъ, такъ какъ при размыканіи не получается искры. Кромѣ того, ихъ можно соединять по нѣскольку штукъ послѣдовательно, чего нельзя дѣлать съ обыкновенными звонками.

Еще лучшее устройство электромагнитовъ для звонковъ основано на употребленіи дифференціальной обмотки (см. главу XIV).

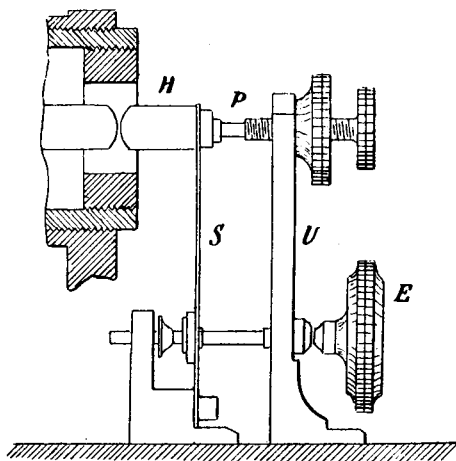
### Колеблющіеся прерыватели для индукціонныхъ катушекъ.

Въ прерывателяхъ, употребляемыхъ для индукціонныхъ катушекъ, колеблющаяся часть устраивается также, какъ и въ при-

борахъ только что описанныхъ. Разница только въ томъ, что въ прерывателяхъ устраиваютъ приспособленіе, позволяющее мѣнять натяженіе пружины и тѣмъ, по желанію, мѣнять быстроту колебанія.

Прерыватель такого рода, представленный на фиг. 169, со-

Фиг. 169.



Колеблущійся прерыватель для индукціонныхъ катушекъ.

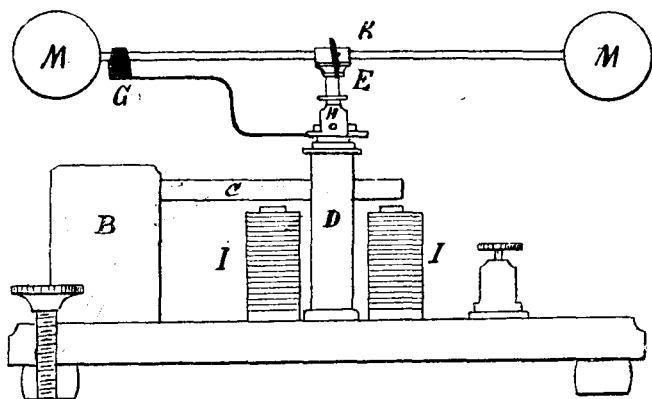
стоитъ изъ пружины *S*, къ которой прикрѣпленъ короткій желѣзный цилиндръ *H*, называемый *молоточкомъ*. На задней части молоточка находится кусочекъ платины *P*, касающійся другаго кусочка платины, прикрѣпленнаго къ винту, проходящему черезъ отверстіе въ верхней части вертикальной колонки *U*. Другой винтъ, снабженный эбонитовой головкой *E*, проходитъ черезъ кольцо изъ слоновой кости вставленное въ нижней части вертикальной колонки *U* и служитъ для увеличенія и уменьшенія натяженія пружины. Когда пружина слабо прижимаетъ другъ къ другу платиновые контакты, то токъ прерывается сейчасъ же, какъ только сердечникъ катушки едва намагнитится. Но, если пружина сильно прижметъ платиновые контакты другъ къ другу, т. е. когда она натянута сильнѣе, то нужно уже большую силу, чтобы нарушить контактъ и прервать токъ. Поэтому токъ не прервется до тѣхъ поръ, пока сердечникъ не намагнитится до

значительной степени, и поэтому индуцированный токъ будетъ сильнѣе.

Существуетъ множество видовъ прерывателей для индукционныхъ катушекъ. Между ними достойны особаго вниманія весьма медленно дѣйствующій прерыватель Фуко (Foucault) и очень быстро дѣйствующій прерыватель Споттисвуда (Spottiswoode).

Въ прерыватель Споттисвуда (фиг. 170), колеблющаяся пру-

Фиг. 170.



*Быстродѣйствующій прерыватель Споттисвуда.*

жина С сдѣлана изъ куска крѣпкой круглой стали, прикрѣпленной къ массивному латунному столбику В. Колебание пружины поддерживается особымъ электромагнитомъ I I. Амплитуда колебаній весьма невелика: она достигаетъ только 0,03 сант. Число же колебаній приблизительно равно 2500 въ секунду. Надъ электромагнитами помѣщена перекладина поддерживаемая двумя столбиками D, черезъ которую проходитъ контактный винтъ E. Конецъ его заостренъ и покрытъ платиной. Винтъ снабженъ длинной рукояткой К для того, чтобы можно было устанавливать его весьма точно. Рычагъ G удерживаетъ винтъ въ положеніи, ему данномъ.

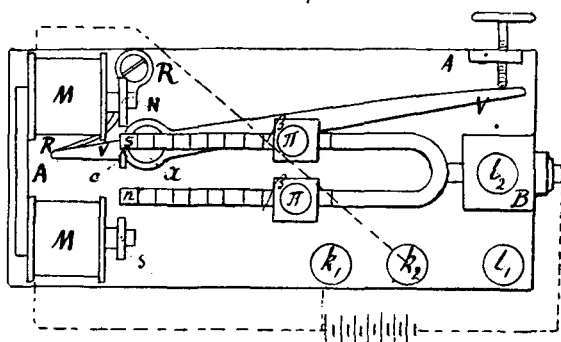
Марсель Дебре (Marcel Deprez) описалъ \*) свой типъ вибрирующаго прерывателя для индукционныхъ катушекъ, который, по его мнѣнію, обладаетъ особыми преимуществами.

\*) Lum. Electr. III p. 325.

## Электромагнитные камертоны.

Кажется Лиссажу (Lissajous) первый употребил электромагнитъ для того, чтобы поддерживать колебанія камертона. Для прерыванія тока онъ пользовался кускомъ проволоки, погружавшейся въ чашечку со ртутью. Реньо (Regnault), Гельмгольцъ \*) тоже употребляли такіе камертоны. Въ 1872 г. Меркадіе (Mercadier) замѣнилъ ртутные контакты гибкимъ остриемъ. Онъ назвалъ свой приборъ *electrodiapason*. На фиг. 171 представлена такая форма

Фиг. 171.



Приборъ Лакура.

электромагнита, съ тѣми только измѣненіями, которыя въ ней сдѣлалъ Лакуръ (Lacour). Ножки камертона помѣщены между полюсными наконечниками N и S электромагнита, на который надѣты двѣ катушки ММ. Камертонъ, будучи сдѣланъ изъ стали, становится постояннымъ магнитомъ и на концахъ его вѣтвей появляются полюсы  $\pi$  и  $\pi'$ . Вдоль по вѣтвямъ, на которыхъ нанесены дѣленія, могутъ скользить массы  $\pi\pi'$ . Передвигая ихъ взадъ и впередъ, можно заставить камертонъ издавать звукъ какой угодно высоты. Токъ входитъ въ камертонъ черезъ массивный кусокъ металла В, въ которомъ укрѣпленъ послѣдній и выходитъ черезъ контактную пружинку с. Иногда вмѣсто вѣшняго подковообразнаго электромагнита, употребляютъ одинъ прямой, который помѣщаютъ между вѣтвями камертона.

\*) См. его «Die Lehre von den Tonempfindungen».

Во всѣхъ такихъ приборахъ необходимо обращать вниманіе на фазу движенія камертона въ тотъ моментъ, въ который онъ получаетъ, поддерживающій колебаніе I, импульсъ. Лордъ Релэй (Lord Rayleigh)\*), авторитетъ котораго въ вопросахъ, касающихся акустики нельзя не признавать, разобралъ съ большой ясностью этотъ вопросъ, изслѣдуя простѣйшую форму электромагнитнаго камертона, въ которомъ катушка была помѣщена между вѣтвями, а прерываніе совершалось при помощи рейтера, имѣвшаго форму буквы U и помѣщеннаго на нижней вѣтви камертона. Концы этого рейтера погружались въ чашечки со ртутью. Слѣдующая выписка взята изъ книги Релэя о «Звукѣ».

«Modus operandi этихъ инструментовъ часто понимается не совсемъ вѣрно. Если бы сила, дѣйствующая на камертонъ зависѣла только отъ положенія этого послѣдняго, т. е. отъ того, замкнута ли цѣпь или разомкнута, то работа, произведенная при прохожденіи вѣтвей камертона черезъ какое нибудь положеніе, возвращалась бы при обратномъ прохожденіи вѣтвей черезъ это положеніе. Такимъ образомъ не оставалось бы ничего, чтобы могло компенсировать вліяніе силы тренія. Всякое объясненіе, въ которомъ не принимается во вниманіе запаздываніе тока, будетъ неудачно. Причинъ, производящихъ это запаздываніе, двѣ: неодинаковые контакты и самоиндукція. Когда концы рейтера только что прикоснутся къ ртути, то контактъ будетъ весьма несовершенный, вѣроятно, благодаря приставшему къ рейтеру воздуху. Съ другой стороны, когда рейтеръ начнетъ выходить изъ ртути, то контактъ продолжится вслѣдствіе прилипанія ртути въ чашечкѣ къ амальгамированной поверхности проволоки. Въ обоихъ случаяхъ токъ запаздываетъ относительно положенія камертона. Но даже, еслибы сопротивленіе цѣпи зависѣло только отъ положенія вѣтвей камертона, то все же токъ запаздывалъ бы подъ вліяніемъ самоиндукціи». «Но отъ какой бы причины ни зависѣло запаздываніе тока, оно имѣетъ то вліяніе, что электромагнитъ получаетъ болѣе энергіи въ то время, когда рейтеръ вынимается изъ ртути, чѣмъ теряетъ, когда рейтеръ въ нее погружается. Такимъ образомъ уравновѣшивается сила тренія».

«Желаемое запаздываніе, при отсутствіи другихъ способовъ,

\*) Rayleigh «Theory of sound» (1887) Vol. 1 p. 59.

можно получить, прикрѣпляя рейтера не къ самой вѣтви камертона, а къ концу какой нибудь легкой прямой пружинки, которая въ свою очередь прикрѣпляется къ вѣтви камертона. Пружинка приходитъ въ колебаніе одновременно съ камертономъ».

«Измѣненіе высоты тона въ камертонѣ, колебаніе котораго поддерживается электромагнитомъ, весьма невелико, тѣмъ не менѣе съ перваго взгляда существованіе этого измѣненія кажется весьма неожиданнымъ. Объясненіемъ этого явленія (въ случаѣ небольшого запаздыванія тока) можетъ служить то обстоятельство, что въ продолженіи той части движенія камертона, когда его вѣтви наиболѣе удалены другъ отъ друга, электромагнитъ дѣйствуетъ въ одномъ направленіи съ силой, происходящей отъ упругости стали и такимъ образомъ само собой измѣняется и тонъ, даваемый камертономъ. Каково бы ни было отношеніе между фазами, силу электромагнита можно раздѣлить на двѣ части, соотвѣтственно пропорціональныя скорости и перемѣщенію (или ускоренію). Первая часть исключительно поддерживаетъ колебаніе, вторая вліяетъ на измѣненіе высоты тона, производимаго камертономъ».

Существуетъ нѣсколько способовъ устроить такое соотношеніе между импульсами и перемѣщеніемъ вѣтвей камертона, которое бы давало полный изохронизмъ колебаній. Авторъ этой книги \*) предлагалъ пользоваться для этой цѣли двумя камертонами, настроенными въ унисонъ, причемъ каждый регулировалъ бы цѣпь электромагнита другаго. Другіе способы предложены проф. Джонсомъ (J. Viriamu Jones) и Грегори (Gregory).

### Электрическіе маятники.

Маятники, приводимые въ движеніе электрическимъ путемъ, должны удовлетворять тѣмъ же условіямъ, что и камертоны, именно, для того, чтобы колебанія были изохронны, необходимо, чтобы маятникъ получалъ импульсъ ровно въ тотъ моментъ, когда онъ проходитъ черезъ точку, соотвѣтствующую нулевому перемѣщенію. Много конструкторовъ пробовали устраивать часы, которые приводились бы въ движеніе не силой тяжести и не силой пружины, а электричествомъ. Маятникъ долженъ получать періодически

\*) Phil. Mag. Aug. 1886 p. 216.

импульсы отъ электрической батгареи и самъ уже при помощи зубчатого колеса и зацѣпокъ приводитъ въ движеніе стрѣлки часовъ.

Въ нѣкоторыхъ изъ электрическихъ часовъ, напримѣръ устроенныхъ Витстономъ и Бэномъ, чечевица маятника періодически притягивается электромагнитомъ. Въ другихъ, напр., часахъ Роберта Гудена, Фромана, Де-Туша (Détouché) и другихъ изобрѣтателей, электромагнитъ притягиваетъ какую нибудь другую часть и уже отъ нея движеніе механически передается маятнику. Въ одной изъ новыхъ формъ, изобрѣтенныхъ Гиппомъ (Hipp), маятникъ, снабженный ниже чечевицы желѣзной арматурой, производитъ свободно десять или двѣнадцать колебаній, пока амплитуда ихъ не уменьшается, вслѣдствіе тренія, до нѣкотораго предѣла. Когда дуга, описываемая концомъ маятника, уменьшится до этого предѣла, происходитъ контактъ и электромагнитъ даетъ маятнику толчекъ, который увеличиваетъ амплитуду его колебанія. Особого рода механизмъ, производящій контактъ изобрѣтенъ Фуко и состоитъ изъ небольшого язычка, который прикрѣпленъ къ нижнему концу маятника. Когда дуга, описываемая концомъ маятника достаточно велика, то язычекъ проходитъ нѣсколько выше лежащей подъ нимъ пружины, но когда дуга уменьшится онъ задѣваетъ за нее, надавливая и производитъ контактъ. Дальнѣйшія подробности читатель можетъ найти въ книгахъ, касающихся устройства электрическихъ часовъ \*).

### Гармоническіе телеграфные передатчики.

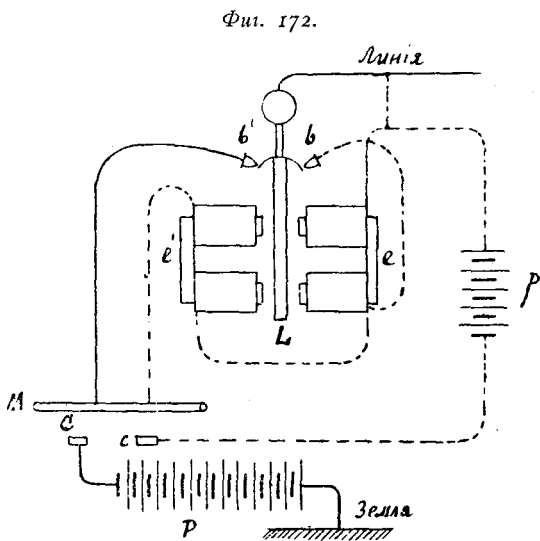
Въ гармоническихъ телеграфахъ Варлея (Varley), Лакура (Lacour), Грея (Elischa Gray), Лангдонъ-Дэви (Langdon-Davis) и другихъ, вибрирующіе приборы употребляются для полученія прерывистаго тока или тока переменнаго направленія. Мы опишемъ только два изъ такихъ приборовъ.

*Передатчикъ Грея.* Въ этомъ приборѣ стальная пластинка или

---

\*) Наибольше современные изъ нихъ: Favarger: L'électricité et ses applications à la Chronométrie; Merling: Die Elektrischen Uhren; Fiedler: Die Zeitlegraphen; Du Moncel: Exposé des Applications de l'électricité VI. II; Kaiser: Der Electromagnetische Telegraph.

полоска помещена между двумя отдѣльными электромагнитами и поочередно протягивается ими. На фиг. 172 показано расположеніе



Вибраторъ Грэл.

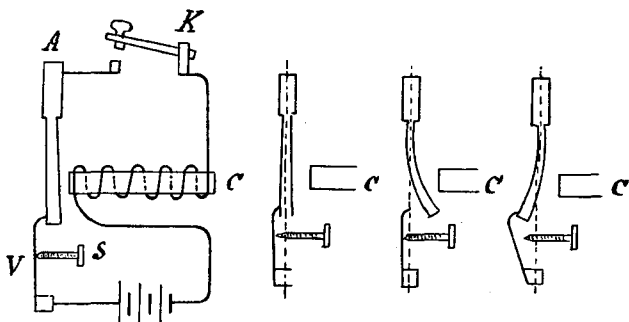
приборовъ. Цѣпь, заключающая въ себѣ главную линію обозначена сплошной чертой, а мѣстная цѣпь пунктирной. У самаго начала вибрирующей пластинки *L*, къ ней придѣланы двѣ пружинки, которыя могутъ прикасаться къ задержкамъ *b* и *b'*. Электромагнитъ *e* изображенный на фигурѣ съ правой стороны, снабженъ большимъ числомъ оборотовъ тонкой проволоки (сопротивленіе его обмотки около 30 омовъ), другой электромагнитъ *e'* имѣетъ обмотку состоящую изъ нѣсколькихъ оборотовъ толстой проволоки (ея сопротивленіе три или четыре ома). Если одинъ и тотъ же токъ проходитъ черезъ обмотки обоихъ электромагнитовъ, то электромагнитъ, въ обмоткѣ котораго большее число оборотовъ, будетъ обладать большей притягательной силой. Токъ въ обмоткахъ появится, какъ только, нажатіемъ на ключъ *M*, будетъ замкнута въ *e* цѣпь, содержащая мѣстную баттарею. Но, какъ только полоска притянется на правую сторону, она придетъ въ соприкосновеніе съ задержкой *b*, произойдетъ короткое замыканіе и электромагнитъ *e* будетъ



выключенъ изъ цѣпи. Его притягательная сила такимъ образомъ уничтожается, но въ то же время болѣе сильный токъ начинаетъ проходить по обмоткѣ электромагнита  $e'$ , который и притягиваетъ полосу  $L$  въ лѣвую сторону. Такимъ образомъ эта полоса приходитъ въ быстрое колебательное движеніе и посылаетъ въ главную линію быстрый прерывистый токъ отъ батареи  $P$  черезъ задержку  $b'$ .

*Приборъ Ландонъ-Дэвисъ (Langdon-Davies's Rate Governor).* Лангдонъ-Дэвисъ изобрѣлъ систему гармоническаго телеграфа, которая находится въ связи съ его другимъ изобрѣтеніемъ, извѣстнымъ подъ именемъ *фонофора*. Пользуясь быстрыми колебательными токами, которыя производятъ точки и черточки, онъ получилъ возможность передавать по одной и той же проволоцѣ въ одно и то же время два, три и даже больше отдѣльныхъ телеграфныхъ сигналовъ. Но для того, чтобы это можно было выполнить хорошо, необходимо, чтобы колебаніе вибрирующихъ частей, какъ передатчика, такъ и преемника, были въ высшей степени правильны. Обыкновенные камертонные прерыватели, подобные тѣмъ, которые были только что описаны, не достаточно хороши для этой цѣли. Нечистый звукъ, ими производимый, уже показываетъ, что скорость колебаній у нихъ мѣняется и, что они не независимы отъ электромагнитныхъ силъ дѣйствующихъ на нихъ. Это проис-

Фиг. 173.

*Приборъ Ландонъ-Дэви.*

ходить оттого, что камертоны получаютъ импульсы не строго въ тотъ моментъ, когда слѣдуетъ. Для того, чтобы исправить этотъ

недостатокъ Лангдонъ-Дэвисъ сдѣлалъ около сотни экспериментальныхъ изслѣдованій, употребляя для прерывателей камертоны, стальные пластинки. Выработанный имъ окончательно приборъ называется *rate-governor*. Онъ изображенъ на фиг. 173. Колеблющаяся пластинка А касается слабой пружинки V, съ которой поддерживаетъ контактъ въ теченіи ровно половины пути. Движеніе пружины V ограничивается винтомъ S, который мѣшаетъ ей слѣдовать далѣе за пластинкой. С—изображаетъ намагничивающійся сердечникъ, который притягиваетъ пластинку, когда ключъ К замкнутъ. Съ правой стороны на фигурѣ представлены въ нѣсколько увеличенномъ видѣ три главныя положенія колеблющейся пластинки.

---

## ГЛАВА XI.

### *Электромагниты для токовъ переменнаго направленія.*

Сердечникъ всякаго электромагнита, который назначенъ для токовъ переменнаго направленія, не долженъ быть ни въ какомъ случаѣ сплошнымъ. Иначе въ массѣ желѣза разовьются сильныя паразитныя токи. Точно также нужно раздѣлять на части и отдѣлять одну часть отъ другой изолирующимъ веществомъ всѣ металлическія катушки и рамы, на которыхъ иногда дѣлается обмотка, такъ какъ иначе и въ нихъ разовьются паразитныя токи.

Раздѣлить металлъ на отдѣльныя части можно различнымъ образомъ, но всегда необходимо раздѣлять на слои перпендикулярныя къ направленію паразитныхъ токовъ. Такъ какъ эти послѣдніе токи циркулируютъ параллельно оборотамъ обмотки, окружающей сердечникъ, другими словами перпендикулярно къ длинѣ сердечника, то ясно, что сердечникъ надо раздѣлить на слои по его длинѣ.

Для прямыхъ электромагнитовъ обыкновенно берется желѣзная отожженная проволока, отъ одного до двухъ миллиметровъ въ діаметрѣ, и изъ нея составляютъ пучки нужной толщины. Каждая проволока должна быть отдѣльно покрыта лакомъ и всѣ они свя-

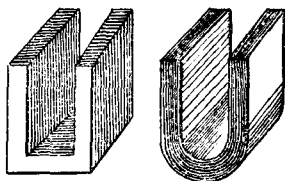
зываются въ пучекъ шнуркомъ или тесьмой, которую тоже покрываютъ лакомъ. Для связыванія пучковъ металлическія проволоки не употребляются.

Для электромагнитовъ большихъ размѣровъ и для подковообразныхъ предпочитаютъ употреблять тонкое листовое желѣзо.

На фиг. 174 показано два способа, какими можно сложить куски

листоваго желѣза, чтобы устроить сердечникъ. На лѣвомъ рисункѣ изображенъ сердечникъ, составленный изъ листовъ, вырѣзанныхъ въ формѣ буквы U, но такъ, чтобы всѣ углы были прямыя. На

Фиг. 174.



*Пластинчатые желѣзные сердечники.*

правомъ чертежѣ представленъ сердечникъ, состоящій изъ листовъ, согнутыхъ въ дугу на какой-нибудь формѣ, причемъ одинъ листъ положенъ сверхъ другаго. Для того, чтобы между сосѣдними листами желѣза не было металлическаго контакта, между каждымъ двумя слоями желѣза прокладывается слой лакированной бумаги и даже слюды, хотя эта послѣдняя конечно слишкомъ дорога для всеобщаго употребленія. Надо обращать особенное вниманіе на то, чтобы на краяхъ желѣзныхъ пластинокъ не было никакихъ зазубринъ и т. п., иначе онѣ могутъ произвести контактъ между сосѣдними слоями. Чтобы соединять всѣ листы желѣза и изолирующаго матеріала вмѣстѣ, нужно употреблять болты. Но болты должны быть тоже изолированы отъ всей массы желѣза. Для этого ихъ вставляютъ въ трубки изъ эбонита или вулканизированной фибры, а также подъ головки и гайки ихъ подкладываютъ кружки изъ тѣхъ же изолирующихъ веществъ. Въ тѣхъ случаяхъ, когда слой желѣза изолируется отъ сосѣдняго слоя бумагой, покрытой шеллаковымъ лакомъ, то, чтобы лучше скрѣпить все вмѣстѣ, покрываютъ весь сердечникъ шеллаковымъ лакомъ, нагреваютъ его въ воздушной банѣ до той температуры, пока шеллакъ размягчится и затѣмъ подвергаютъ давленію до тѣхъ поръ, пока все не остынетъ.

Подвижные стержни для катушекъ, по которымъ проходятъ токи переменнаго направленія, нельзя тоже устраивать изъ цѣльнаго куска желѣза, а нужно устраивать изъ отдѣльныхъ изолированныхъ пластинъ или проволокъ.

### Свойства электромагнитовъ для переменныхъ токовъ.

За послѣдніе года стали обращать большое вниманіе на свойства электромагнитовъ, питаемыхъ переменными токами. Дѣйствительно свойства такихъ электромагнитовъ значительно отличаются отъ свойствъ электромагнитовъ, питаемыхъ прямыми токами постоянного направленія. Обыкновенный электромагнитъ, по обмоткѣ котораго проходитъ постоянный токъ, не притягиваетъ никакихъ немагнитныхъ металловъ, такихъ какъ мѣдь, латунь и др. Онъ не только не притягиваетъ ихъ, но наоборотъ отталкиваетъ, хотя и съ очень слабой силой такъ, что нужно особаго рода чувствительные приборы, чтобы сдѣлать это отталкиваніе видимымъ. Такъ

называемое діаманитное отталкиваніе металловъ, происходящее отъ того, что ихъ проникаемость меньше проникаемости окружающей среды (напр. воздуха) столь незначительно, что имъ можно вполнѣ пренебрегать. Но, какъ будетъ показано, есть случаи, когда электромагнитъ, по обмоткѣ котораго проходитъ токъ перемѣннаго направленія, отталкиваетъ мѣдную массу съ весьма значительной силой, происходящей отъ взаимодействія электромагнита и токовъ, развиваемыхъ въ близъ лежащей металлической массѣ.

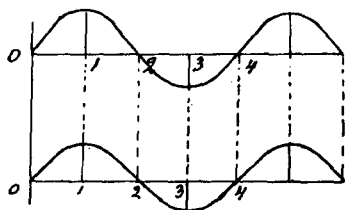
Важное значеніе въ этого рода явленіяхъ имѣютъ фазы электрическаго тока. Два параллельныхъ тока притягиваютъ другъ друга (или вѣрнѣе два параллельные проводника, по которымъ проходятъ токи, притягиваютъ другъ друга), если оба тока идутъ въ одномъ и томъ же направленіи, и отталкиваютъ другъ друга, если токи идутъ въ противоположныхъ направленіяхъ. Въ случаѣ токовъ перемѣннаго направленія, т. е. токовъ, которые идутъ по проволоцѣ то въ одномъ направленіи, то въ другомъ, причѣмъ направленіе мѣняется въ высшей степени часто, очевидно, что такіе токи, проходя по двумъ параллельнымъ проволокамъ, не будутъ притягивать другъ друга, если перемѣны въ ихъ направленіяхъ не будутъ идти вмѣстѣ. Если эти перемѣны будутъ совпадать, т. е. оба одновременно будутъ направлены то въ одну, то въ другую сторону, то произойдетъ притяженіе. Если они совершенно не будутъ совпадать, т. е. одинъ будетъ направленъ въ одну сторону, а другой въ то же время — въ другую, то произойдетъ отталкиваніе. Если, наконецъ между ихъ фазами будетъ

существовать нѣкоторое промежуточное соотношеніе, то должно произойти какое нибудь болѣе сложное явленіе. Мы сейчасъ и рассмотримъ этотъ случай.

Обыкновенно токи перемѣннаго направленія изучаютъ при помощи кривыхъ, подобныхъ изображенной на фиг. 175, гдѣ время отложено по горизонтальной оси, а сила тока по вертикальной.

Предположимъ, что намъ надо изобразить токъ, имѣющій 100 перемѣнъ направленія въ секунду, наибольшая сила

Фиг. 175.



Два волны съ одинаковыми фазами.

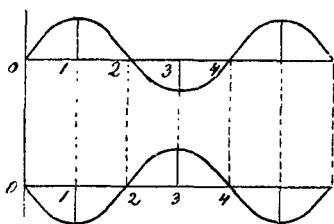
котораго равна 10 амперамъ. Верхняя кривая показываетъ изменение силы тока, которая въ моментъ времени  $t=0$ , равняется тоже нулю, затѣмъ она возрастаетъ и достигаетъ максимума въ моментъ, помѣченный 1 (одна четырехсотая секунды). Въ моментъ 2 (т. е. черезъ 2 четырехсотыхъ секунды) сила тока опять уменьшится до нуля и направленіе тока переѣнится. Черезъ 3 четырехсотыхъ секунды она достигнетъ своего отрицательнаго максимума, а черезъ 4 четырехсотыхъ секунды опять уменьшится до нуля и токъ переѣнитъ направленіе. Такимъ образомъ въ одну сотую секунды сила тока пройдетъ черезъ полный циклъ измененийъ. Средняя сила тока \*) за это время была 7,07 ампера. Рассмотримъ теперь нижнюю кривую на той же фигурѣ. Она представляетъ совершенно такой же токъ, какъ и верхняя кривая и притомъ въ одинаковыхъ фазахъ, т. е. токъ, который увеличивается, уменьшается и мѣняетъ направленія одновременно съ первымъ. Въ продолженіи первой четырехсотой секунды, т. е. въ первую четверть періода, оба тока идутъ въ одномъ направленіи и достигаютъ своего максимума. Въ этотъ промежутокъ времени они будутъ взаимно притягиваться съ силой, которая тоже будетъ увеличиваться до максимума. Въ слѣдующую четверть періода, т. е. до истеченія второй четырехсотой секунды, оба тока еще сохраняютъ положительное направленіе, но сила ихъ будетъ уменьшаться. Въ этотъ промежутокъ времени они будутъ опять притягиваться, но сила притяженія будетъ уменьшаться до нуля. Въ слѣдующую четверть періода, между второй и третьей четырехсотой секунды, направленія обѣихъ токовъ изменятся, но это изменение произойдетъ одновременно и притяженіе будетъ опять существовать и дойдетъ до своего максимума въ моментъ, соответствующій третьей четырехсотой секундѣ. Въ послѣднюю четверть періода, т. е. въ промежутокъ между третьей и четвертой четырехсотой секунды, оба тока будутъ одновременно уменьшаться до нуля, сила притяженія уменьшается тоже и обращается въ нуль въ концѣ полнаго періода. Если число переѣнъ направленія

\*) Для токовъ переѣннаго направленія берется не средняя арифметическая, но корень квадратный изъ средней арифметической квадратовъ. Напримеръ проволока *напрется* отъ тока, сила котораго мѣняется періодически между +10 и -10 амперами такъ, какъ она *нагрѣлась* бы отъ постояннаго тока въ 7,07 амперовъ.

тока въ секунду очень не велико, напримѣръ три или четыре раза, то можно видѣть, какъ двѣ параллельныя проволоки, колеблются, то приближаясь, то удаляясь по 6 или 8 разъ въ секунду, смотря по числу перемѣнъ направленія. Но когда число перемѣнъ велико, напримѣръ 100 перемѣнъ въ секунду (а такіе токи примѣняются для электрическаго освѣщенія), то максимумы притяженія наступаютъ такъ быстро другъ за другомъ — 200 разъ въ секунду — что проволоки не успѣваютъ колебаться, а просто сближаются другъ съ другомъ.

Разсмотримъ теперь фиг. 176. Кривыя, на ней изображенныя,

Фиг. 176.



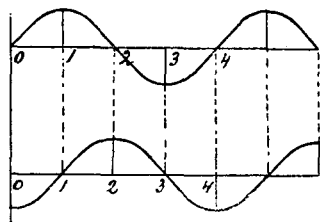
Два тока перемѣннаго направленія въ противоположныхъ фазахъ.

представляютъ два тока въ противоположныхъ фазахъ. Пользуясь тѣми же соображеніями, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, мы убѣдимся, что въ каждой четверти періода теперь будетъ происходить отталкиваніе одной проволоки отъ другой, такъ какъ токи идутъ въ противоположныхъ направленіяхъ и направленія ихъ, мѣнясь въ одинъ и тотъ же моментъ, всегда остаются противоположными.

Въ этомъ случаѣ въ теченіе каждаго полного періода, будутъ два максимума отталкиванія.

Наконецъ рассмотримъ случай, представленный на фиг. 177,

Фиг. 177.



Два тока перемѣннаго направленія съ разностью фазъ въ четверть періода.

въ которомъ разность фазъ токовъ равна четверти періода. Сила одного тока достигаетъ максимума именно въ тотъ моментъ, когда сила другого равняется нулю и наоборотъ. Иногда говорятъ, что такіе токи находятся въ «квадратурѣ». Въ первую четверть періода, отъ 0 до 1, направленіе перваго тока положительно и сила его увеличивается до максимума. Другой токъ въ то же самое время идетъ въ обратномъ или отрицательномъ направленіи и сила его

идетъ въ обратномъ или отрицательномъ направленіи и сила его

уменьшается отъ максимума до нуля. Въ продолженіи этой четверти періода между проводниками будетъ существовать отталкиваніе и это отталкиваніе равнялось нулю, когда сила перваго тока была равна нулю, и будетъ равняться нулю, когда сила втораго тока уменьшится до нуля. Такимъ образомъ максимумъ отталкиванія наступитъ въ нѣкоторый промежуточный моментъ, т. е. приблизительно въ серединѣ первой четверти періода. Во второй четверти будетъ притяженіе, такъ какъ между моментами 1 и 2 оба тока имѣютъ положительное направленіе и максимумъ притяженія наступитъ тоже въ серединѣ этой четверти періода. Въ продолженіи третьей четверти періода, отъ момента 2 до момента 3, такъ какъ первый токъ еще не перемѣнилъ своего направленія, а второй уже перемѣнилъ, то тутъ будетъ отталкиваніе, какъ это было въ первой четверти періода. Наконецъ въ четвертой четверти, въ промежутокъ между моментами 3 и 4, опять будетъ происходить притяженіе, какъ во второй четверти. Такимъ образомъ въ полномъ циклѣ будетъ происходить по очереди отталкиваніе, притяженіе, затѣмъ опять отталкиваніе и притяженіе. Если разность фазъ строго равна четверти періода, то время притяженія и отталкиванія будутъ строго равны. Точно такъ же будутъ равны и силы притяженія и отталкиванія. Въ результатѣ проволоки не будутъ вовсе ни притягиваться, ни отталкиваться.

Что же случится, если разность фазъ будетъ другая, а не четверть періода? Въ этомъ случаѣ продолжительности двухъ притягиваній и двухъ отталкиваній въ каждомъ періодѣ не будутъ равны между собой. Если разность фазъ *меньше* одной четверти періода, то въ результатѣ сила притяженія будетъ значительнѣе и продолжительность притяженія больше, чѣмъ сила и продолжительность отталкиванія. *Поэтому окончательно произойдетъ притяженіе проволоки.* Если разность фазъ *больше* четверти періода, то отталкиваніе преодолѣтъ и *проводники будутъ отталкиваться.*

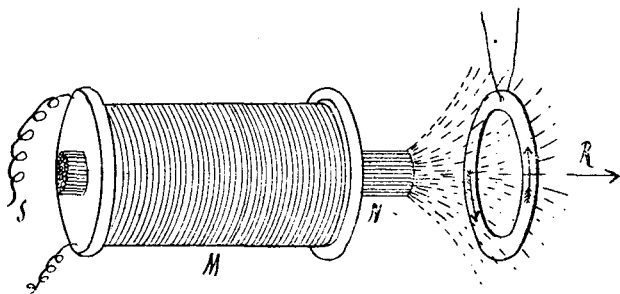
Сказанное можетъ служить ключемъ къ пониманію всѣхъ дѣйствій электромагнитовъ, питаемыхъ токами перемѣннаго направленія.

Разсмотримъ раньше всего дѣйствіе электромагнита, питаемаго токомъ перемѣннаго направленія, на мѣдное кольцо, подвѣшенное противъ его полюса, въ которомъ отъ дѣйствія электромагнита



развиваются паразитные токи (фиг. 178). Положимъ, что по обмоткѣ электромагнита токъ идетъ такъ, что входитъ въ него на

Фиг. 178.



*Дѣйствіе электромагнита, питаемаго токами переменнаго направленія, на мѣдное кольцо.*

верху и выходитъ внизу. Положимъ, кромѣ того, что сила его увеличивается. Этотъ токъ стремится сдѣлать ближайшій къ кольцу конецъ сердечника сѣвернымъ полюсомъ, сила котораго тоже будетъ увеличиваться и конечно будетъ увеличиваться и число магнитныхъ линій, выходящихъ изъ него въ пространство. Это увеличеніе магнитнаго потока въ мѣдномъ кольцѣ стремится произвести въ кольцѣ противоположную электродвижущую силу, направленіе которой показано стрѣлками. Конечно эта электродвижущая сила произведетъ въ мѣдномъ кольцѣ токъ того же направленія. Какъ извѣстно величина такой индуцированной электродвижущей силы, пропорціональна скорости измѣненія магнетизма, а *измѣненіе* магнетизма идетъ скорѣе всего не тогда, когда онъ близокъ къ максимуму, положительному или отрицательному, но когда онъ близокъ къ нулю и мѣняетъ свой знакъ. Изъ этого слѣдуетъ, что, когда намагничиваніе стержня проходитъ черезъ циклъ переменъ, въ то же время индуцированная въ кольцѣ электродвижущая сила тоже проходитъ черезъ циклъ переменъ, который отстаетъ отъ цикла электромагнита на *четверть періода* или другими словами находится съ нимъ въ *квадратурѣ*. Если, далѣе мы предположимъ, что циклы намагничиванія сердечника совпадаютъ съ циклами питающаго тока, (что не вѣрно), и положимъ, что токи въ кольцѣ совпадаютъ въ фазахъ съ электродвижущими силами, возбуждаемыми дѣйствіемъ элек-

тромагнита, то тогда токи, индуктированные въ кольцо, будутъ отстоять на четверть періода отъ токовъ, питающихъ электромагнитъ (см. фиг. 177) и въ этомъ случаѣ кольцо не будетъ ни притягиваться, ни отталкиваться. Но на самомъ дѣлѣ мѣдное кольцо обладаетъ нѣкоторою *постоянною времени* (см. гл. VII). Токъ требуетъ нѣ котораго времени, чтобы появиться или исчезнуть и всѣ токи будутъ отставать отъ электродвижущихъ силъ, ихъ производящихъ. Поэтому токи въ кольцо будутъ различны не на четверть періода отъ переменнн магнетизма въ сердечникѣ, но разность фазъ будетъ больше четверти періода, и поэтому въ концѣ концовъ кольцо будетъ *отталкиваться*.

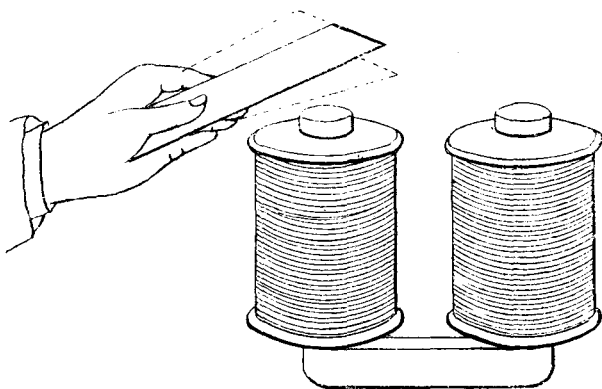
### Опыты Элигю Томсона.

Рядъ поразительныхъ опытовъ съ электромагнитами, питаемыми токами переменнаго направленія, былъ сдѣланъ проф. Элигю Томсономъ (Массачусетсъ) \*). Вниманіе Томсона на этотъ родъ явленій обратилъ опытъ съ электромагнитомъ, питаемымъ постояннымъ токомъ. Мы приведемъ подлинныя слова Элигю Томсона: «Въ 1884 году, готовясь къ международной электрической выставкѣ въ Филадельфіи, мы имѣли случай построить большой электромагнитъ, сердечники котораго имѣли около 6 дюйм. въ діаметрѣ и около 20 дюйм. длины. Они состояли изъ пучковъ желѣзныхъ прутьевъ, каждый въ  $\frac{5}{16}$  д. въ діаметрѣ. Электромагнитъ возбуждался токомъ постоянного направленія, получавшимся отъ динамо-машины, и производилъ обыкновенныя магнитныя дѣйствія съ значительной силой. Было найдено, что если бросить дискъ изъ листовой мѣди, толщиною около  $\frac{1}{16}$  дюйма и въ 10 д. въ діаметрѣ, плоской стороною на какой нибудь полюсъ, то дискъ падаетъ медленно и плавно. Это происходитъ оттого, что паденіе диска замедляется вліяніемъ токовъ, развивающихся въ мѣди, вслѣдствіе его движенія въ сильномъ магнитномъ полѣ. Направленіе этихъ токовъ противоположно направленію тока въ обмоткѣ сердечника электромагнита. Было совершенно невозможно

См. «Novel Phenomena of Alternating Currents» by Elihu Thomson in «Electrical World» May 1887 p. 258. Также «Electrician» May 16, 1890 p. 35 и рядъ статей Флеминга.

ударить рѣзко дискомъ по полюсу, даже держа дискъ за одинъ конецъ въ рукѣ и съ силой приближая его къ электромагниту. При попыткѣ быстро удалить дискъ отъ полюса, появлялось подобное же сопротивленіе, но только въ обратномъ направленіи, показывающее, что въ мѣдномъ дискѣ развивались токи одного направленія съ токомъ въ обмоткѣ сердечника. Отъ взаимодѣйствія токовъ, конечно дискъ будетъ стремиться притянуться къ полюсу. Этотъ же опытъ былъ произведенъ и другимъ образомъ. Полоску изъ листовой мѣди (фиг. 179) держали какъ разъ надъ

Фиг. 179.



*Вліяніе замыканія и размыканія тока въ обмоткѣ электромагнита на мѣдную полоску.*

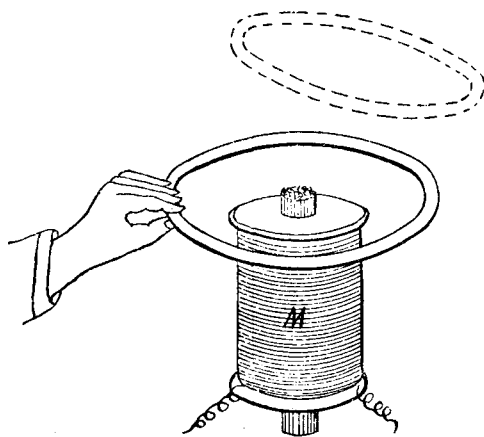
полюсомъ и въ тоже время замыкали токъ въ обмоткѣ электромагнита, выключая электромагнитъ изъ цѣпи. Тотчасъ же замѣчалось притяженіе полосы и наклоненіе ея внизъ. Затѣмъ, электромагнитъ опять включался въ цѣпь и тогда замѣчалось отталкиваніе и стремленіе полосы уклониться вверхъ. Дѣйствія, только что описанные, были именно таковы, какихъ можно было ожидать въ этихъ случаяхъ, такъ какъ въ то время, когда наблюдалось притяженіе, индуктированные токи въ мѣдной полоскѣ имѣли то же направленіе, что и въ обмоткѣ электромагнита. Когда же наблюдалось отталкиваніе, эти токи имѣли направленіе противоположное. Предположимъ теперь, что токъ въ обмоткахъ электромагнита не только замыкается и размыкается, но и мѣняется направленіе. На основаніи сказаннаго, мы можемъ заключить, что мѣд-

ный дискъ будетъ попеременно притягиваться и отталкиваться. Дискъ, конечно, можно замѣнить кольцомъ изъ мѣди или другаго хорошаго проводника, голой или изолированной проволокой, или нѣсколькими дисками, кольцами и спиралями, результатъ будетъ всегда одинъ и тотъ же».

До сихъ поръ тутъ нѣтъ указаній на то, что подъ вліяніемъ токовъ переменнаго направленія, отталкиваніе будетъ въ общемъ сильнѣе, чѣмъ притяженіе, такъ какъ предыдущіе опыты не показываютъ никакого запаздыванія индуктированныхъ токовъ. Это запаздываніе стало виднымъ только тогда, когда примѣнили токи переменнаго направленія. Мы опишемъ здѣсь нѣкоторые изъ поразительныхъ опытовъ Элигю Томсона.

Если держать (фиг. 180) въ рукѣ надъ полюсомъ сильнаго

Фиг. 180.

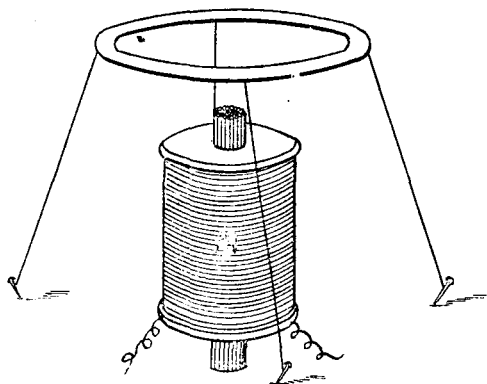


Отталкиваніе мѣднаго кольца.

электромагнита, питаемаго токомъ переменнаго направленія, массивное мѣдное кольцо то индуктируемая въ кольцо токи имѣютъ двойное дѣйствіе. Во первыхъ они такъ нагрѣваютъ кольцо, что уже по прошествіи *только пяти секундъ* оно становится невыносимо горячимъ. Во вторыхъ, они производятъ такое сильное отталкиваніе, что надо употребить значительное усиліе, чтобы приблизить кольцо къ полюсу. Если же выпустить кольцо изъ рукъ, то оно летитъ вверхъ, какъ бы отброшенное невидимой пружиной.

Если привязать такое кольцо шнурками къ гвоздикамъ, вбитымъ въ столъ, то кольцо будетъ висѣть въ воздухѣ надъ полюсомъ электромагнита, какъ показываетъ фиг. 181. Конечно эти

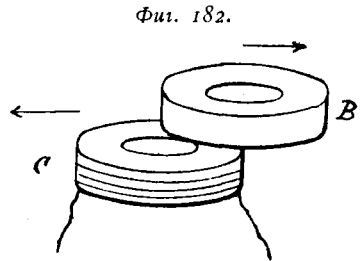
Фиг. 181.



*Мѣдное кольцо, висящее въ воздухѣ надъ полюсомъ электромагнита, питаемаго токомъ перемѣннаго направленія.*

явленія совершенно исчезаютъ, если кольцо разрѣзано гдѣнибудь поперекъ, такъ какъ такой разрѣзъ мѣшаетъ прохожденію индуктированнаго тока. Если подвѣсить мѣдный дискъ къ коромыслу вѣсовъ, надъ полюсомъ электромагнита и тщательно уравновѣсить его въ то время, когда токъ по обмоткѣ не проходитъ, и если затѣмъ пропустить по ней токъ перемѣннаго направленія, то дискъ подыметъ, будучи отталкиваемъ дѣйствіемъ индуктированныхъ въ немъ токовъ. Но, если въ этомъ дискѣ сдѣлать разрѣзъ вдоль по радіусамъ, отъ центра до окружности, то онъ отталкиваться не будетъ. Такимъ образомъ можно получить самыя разнообразныя движенія. Если помѣстить на верхнюю часть электромагнита, подобнаго изображенному на фиг. 180 кусокъ мѣдной трубки, то она отталкивается съ весьма постоянной силой. Тутъ можно замѣтить сходство съ равномернымъ втягиваніемъ желѣзнаго стержня катушкой, по которой проходитъ постоянный токъ, только тутъ относительное положеніе движущейся и неподвижной части обратное и направленіе движенія тоже. Дѣйствіе тока перемѣннаго направленія можно измѣнить, придавая коническую форму или самому электромагниту или, надѣваемой на него, мѣдной шапкѣ.

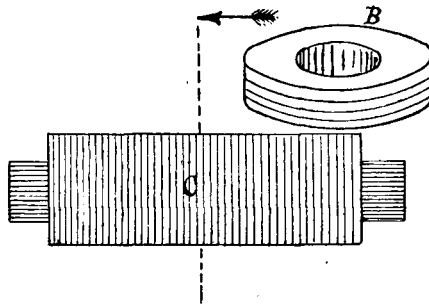
Если помѣстить массивное мѣдное кольцо на спираль изъ изолированной мѣдной проволоки, по которой проходитъ токъ переменнаго направленія, то кольцо будетъ отталкиваться, причемъ отталкиваніе будетъ сильнѣе, если внутри спирали изъ мѣдной проволоки помѣстить пластинчатый желѣзный сердечникъ. Если (фиг. 182) центръ кольца не совпадаетъ съ осью спирали, то оно оттолкнется и въ бокъ, какъ показываютъ стрѣлки и вверх по оси. Фиг. 183 показываетъ подобное же явленіе, наблюдаемое когда массивное мѣдное кольцо или дискъ, или еще лучше нѣсколько



Боковое отталкиваніе мѣднаго кольца.

массивное мѣдное кольцо или дискъ, или еще лучше нѣсколько

Фиг. 183.

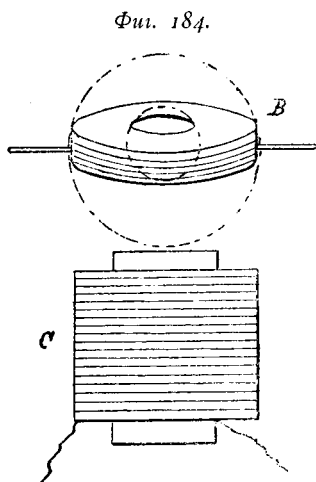


Перемѣщеніе мѣднаго кольца къ нейтральной части электромагнита.

тоненькихъ колець, вырѣзанныхъ изъ листовой мѣди и связанныхъ вмѣстѣ, помѣщаются надъ полюсомъ лежащаго на боку полосоваго электромагнита, (фиг. 183), питаемаго токомъ переменнаго направленія. Индуктированные токи въ кольцахъ стремятся перемѣстить его изъ болѣе напряженнаго магнитнаго поля въ ту его часть, гдѣ оно слабѣе, именно къ серединѣ электромагнита, въ нейтральную его часть.

Точно также, если мѣдное кольцо или стопка изъ мѣдныхъ кружковъ можетъ вращаться вокругъ горизонтальной оси надъ полюсомъ электромагнита, по обмоткѣ котораго проходитъ токъ

переменнаго направленія (фиг. 184), то кольцо наклоняется и изъ горизонтальнаго положенія переходитъ въ вертикальное. Другими



*Отклоненіе вращающагося кольца, производимое электромагнитомъ, питаемымъ токомъ переменнаго направленія.*

словами, оно стремится принять такое положеніе, чтобы индуктированные токи были по возможности слабѣе. Это еще иллюстрація давно уже высказаннаго нами принципа, что электромагнитная система стремится измѣнить свою форму такъ, чтобы число магнитныхъ линій *увеличилось*. Во всѣхъ случаяхъ здѣсь индуктированные токи стремятся размагнитить — препятствовать измѣненію магнитнаго поля, которое ихъ произвело. Поэтому электромагнитная система стремится измѣнить свою форму такъ, чтобы уменьшать индукцію токовъ.

Профессоръ Элигю Томсонъ высказалъ четыре принципа, кото-

рые управляютъ явленіями, когда два или нѣсколько замкнутыхъ проводниковъ дѣйствуютъ другъ на друга въ магнитномъ полѣ, произведенномъ токомъ переменнаго направленія или, когда въ это поле помѣщены желѣзныя массы.

«I. Если магнитное поле, произведенное токомъ переменнаго направленія, производитъ одинаковую индукцію въ двухъ или нѣсколькихъ замкнутыхъ проводникахъ, то они притягиваютъ другъ друга и стремятся стать параллельными».

«II. Желѣзныя и стальныя массы, будучи помѣщены въ магнитное поле, производимое токомъ переменнаго направленія, измѣняютъ его магнетизмъ, т. е. производятъ боковое перемѣщеніе магнитныхъ линій. Поэтому такія массы могутъ заставить двигаться по направленію магнитныхъ линій замкнутые проводники, находящіеся въ томъ магнитномъ полѣ».

«III. Замкнутые проводники, помѣщенные въ поле, производимое токомъ переменнаго направленія или въ поле, мѣняющее свою напряженность, измѣняютъ его магнетизмъ, т. е. производятъ бо-

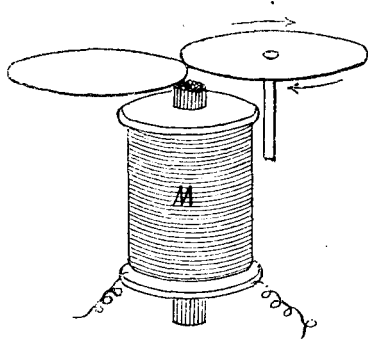
ковое перемѣщеніе магнитныхъ линій. Поэтому эти замкнутые проводники могутъ заставить другіе замкнутые проводники, находящіеся въ томъ же магнитномъ полѣ, двигаться по направленію магнитныхъ линій».

«IV. Желѣзныя и стальныя массы, будучи помѣщены въ магнитное поле, производимое токомъ перемѣннаго направленія, могутъ дѣйствовать на другія такія же массы или на замкнутые электрическіе проводники, находящіеся въ томъ же полѣ. Результатомъ взаимодѣйствія будетъ относительное перемѣщеніе такихъ массъ или проводниковъ. Явленіе это зависитъ отъ постоянного согласованія мѣняющагося и удерживаемаго магнетизма».

Одно изъ слѣдствій такого взаимодѣйствія есть существованіе такъ называемыхъ магнитныхъ экрановъ. Если помѣстить кусокъ листовой мѣди въ магнитное поле, между полюсомъ электромагнита, питаемаго токомъ перемѣннаго направленія, и мѣднымъ кольцомъ (расположенными какъ показано на фиг. 178) такъ, чтобы часть магнитныхъ линій пересѣкалась мѣднымъ листомъ, то индуктированные токи появятся какъ въ мѣдномъ листѣ, такъ и въ кольцѣ и эти токи будутъ болѣе или менѣе параллельны другъ другу. Пластика и кольцо, будутъ противодѣйствовать другъ другу, причемъ одна будетъ стремиться уничтожать въ другомъ токи. Поэтому кольцо и пластинка будутъ взаимно притягиваться. Слѣдствіемъ этого будетъ, что присутствіе мѣдной пластинки уничтожаетъ индуктированные токи въ кольцѣ, служа какъ бы экраномъ для защиты кольца отъ дѣйствія электромагнита.

При помощи такой защиты, можно устроить вращательное движеніе, какъ это показываетъ фиг. 185. Мѣдный дискъ, который можетъ вращаться вокругъ оси, проходящей черезъ его центръ, помѣщенъ надъ полюсомъ электромагнита, питаемаго токомъ перемѣннаго направленія. Другой мѣдный дискъ или мѣдная полоска

Фиг. 185.

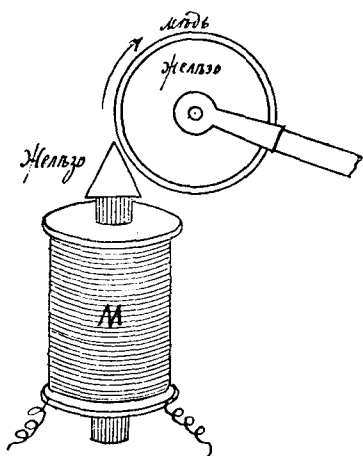


*Вращеніе, получающееся при закрываніи половины поверхности полюса экраномъ.*



помѣщается между полюсомъ и первымъ дискомъ такъ, чтобы приблизительно закрывать половину поверхности полюса. Тотчасъ же верхній дискъ начинаетъ вращаться, причемъ вращеніе совершается по направленію отъ незащищенной части къ защищенной. Это явленіе совершенно ясно объясняется стремленіемъ системы принять такое положеніе, при которомъ индукція становится наименьшей. Та часть вращающагося диска, въ которой развиваются токи все время притягивается къ полюсу и стремится скрыться за ту часть мѣдной полоски, въ которой тоже развились индуктированные токи. Элигю Томсонъ сдѣлалъ еще много интересныхъ опытовъ въ этомъ родѣ. Напримѣръ онъ помѣщалъ пустотѣлый мѣдный шаръ въ сосудѣ съ водой такъ, чтобы шаръ былъ погруженъ на половину въ воду. Шаръ приходилъ въ быстрое вращеніе, когда защищенную часть помѣщали надъ полюсомъ электромагнита, питаемаго токомъ переменнаго направленія. На фиг. 186

Фиг. 186.



*Вращеніе, происходящее отъ несиметріи индукціи токовъ.*

представленъ другой весьма интересный приборъ, въ которомъ причиной вращенія служитъ несимметричность магнитнаго поля относительно проводника. Въ этомъ случаѣ проводникомъ служитъ мѣдное кольцо, надѣтое на колесо, составленное изъ пластинокъ желѣза. На полюсъ надѣтъ заостренный наконечникъ. Вращеніе происходитъ совершенно также, какъ еслибы изъ заостреннаго наконечника дулъ вѣтеръ. Можно еще иначе заставить электромагнитъ, питаемый токомъ переменнаго направленія, производить вращеніе мѣднаго проводника. Именно, если окружить часть сердечника электромагнита, обыкновенно какой нибудь выступъ сдѣланный на сердечникѣ, замкнутымъ мѣднымъ проводникомъ или кольцомъ, то въ этомъ проводникѣ индуктируются токи и онъ, такимъ образомъ, замедляетъ измѣненія магнитной полярности въ выдающейся части сердечника. Рядъ такихъ колець, помѣщен-

ныхъ вокругъ выдающагося выступа, произведетъ слѣдующее замѣчательное явленіе: подъ вліяніемъ этихъ колець полюсь будетъ перемѣщаться отъ основанія до вершины выдающейся части. Дальнѣйшія свѣдѣнія относительно этого явленія читатель можетъ найти въ главѣ о двигателяхъ.

## Кажущееся сопротивленіе цѣпи съ электромагнитами. Законъ Максвелля.

Въ главѣ VII, говоря объ электромагнитахъ, назначенныхъ для быстраго дѣйствія, мы замѣтили, что электромагнитъ задерживаетъ измѣненія электрическаго тока, его магнетизмъ дѣйствуетъ на токъ, проходящій по обмоткѣ, подобно инерціи. Это замедленіе, которое иногда считаютъ происходящимъ отъ дѣйствія самоиндукціи, появляющейся отъ дѣйствія оборотовъ обмотки другъ на друга, проявляется гораздо сильнѣе въ случаѣ, когда употребляются токи перемѣннаго направленія. Электродвижущая сила перемѣннаго направленія, которая появляется въ цѣпи отъ дѣйствія динамомашины, стремится сдѣлать число перемѣнъ тока въ цѣпи наибольшимъ. Если цѣпь состоитъ изъ обыкновенной тонкой, прямой, мѣдной проволоки безъ всякихъ спиралей, просто перегнутой назадъ въ видѣ петли, — то сила тока въ этой цѣпи будетъ только зависѣть отъ числа вольтъ электродвижущей силы перемѣннаго направленія и числа омовъ сопротивленія, которымъ цѣпь обладаетъ. Но если въ цѣпи есть спирали или электромагниты, или что нибудь, имѣющее электромагнитную инерцію, то сила тока измѣнится, именно она будетъ меньше, чѣмъ въ первомъ случаѣ. Дѣйствіе на токъ перемѣннаго направленія этой электромагнитной инерціи, которую для краткости мы назовемъ *индуктивностью* (*inductance*), проявляется двоякимъ образомъ: она уменьшаетъ его амплитуду или силу и производитъ запаздываніе его въ фазѣ. Эта индуктивность, какъ найдено, зависитъ отъ числа перемѣнъ направленія тока въ секунду и отъ самоиндукціи цѣпи. Величина самоиндукціи во всей цѣпи, или въ какой нибудь ея части, выражается обыкновенно въ единицахъ самоиндукціи называемыхъ *квадрантъ* \*) или *генри*.

\*) *Квадрантъ* сокращенное *квадъ*, практическая единица, получившая это названіе потому что она равняется  $10^9$  абсолютнымъ единицамъ, а  $10^9$  сант. рав-

Коефициенты самоиндукціи электромагнитовъ можно измѣрять и опредѣлять. Напримѣръ на стр. 224 было сказано, что коефициентъ самоиндукціи образцоваго релэ британскихъ телеграфовъ (модель «С» of the British Postal Telegraphs relay) равенъ 26,4 квадранта. Для обозначенія коефициента самоиндукціи, обыкновенно употребляютъ букву  $L$ , подразумѣвая  $L$  квадрантовъ. Чтобы найти индуктивность электромагнита, коефициентъ самоиндукціи котораго въ квадрантахъ извѣстенъ, помѣщеннаго въ цѣпь, въ которой электродвижущая сила переменнаго направленія имѣетъ  $n$  периодовъ въ секунду, надо только перемножить  $n$  и  $L$  и произведеніе умножить на  $2\pi$ . т. е.

$$\text{Индуктивность} = 2\pi n L$$

Положимъ, что мы знаемъ индуктивность цѣпи и ея сопротивление ( $R$ ) въ омахъ, намъ остается только вычислить кажущееся сопротивление, которое эти двѣ причины стремятся произвести. Недостаточно просто сложить ихъ. Чтобы вычислить кажущееся сопротивление \*), производимое совокупнымъ дѣйствіемъ индуктивности и сопротивленія, мы должны извлечь квадратный корень изъ суммы квадратовъ этихъ величинъ. Итакъ,

$$\text{Кажущееся сопротивление} = \sqrt{R^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}$$

Вычисливъ такимъ образомъ кажущееся сопротивление цѣпи, мы можемъ вычислять и силы токовъ. Но тутъ мы должны помнить, что законъ Ома, справедливый для постоянныхъ токовъ, въ данномъ случаѣ годиться не будетъ и, что его надо для нашей цѣли измѣнить. Этотъ законъ въ измѣненномъ видѣ носитъ названіе *закона Максвелля*, такъ какъ онъ въ первый разъ былъ данъ Максвеллемъ въ 1867 г. Вотъ выраженіе этого закона:

$$\text{Наибольшая сила тока} = \frac{\text{наибольшая электродвижущая сила.}}{\text{кажущееся сопротивление.}}$$

няется длинѣ земнаго квадранта. Пр. Айртонъ и Перри предложили для этой единицы названіе *секомъ* и построили приборъ названный *секометръ*, для опредѣленія коефициента самоиндукціи (см. прилож. А.)

\*) Кажущееся сопротивление называется по англійски также *impedance*.

или

$$\text{Средняя *) сила тока} = \frac{\text{средняя электродвижущая сила.}}{\text{кажущееся сопротивленіе.}}$$

Замѣтимъ, что ни одна изъ этихъ формулъ не полна, такъ какъ ни въ одной изъ нихъ не принимается во вниманіе *замедляющее* дѣйствіе видимаго сопротивленія, заставляющее максимумы силы тока отставать отъ максимумовъ электродвижущей силы, производящей его. Если мы сравнимъ полный періодъ или циклъ измѣненій тока съ движеніемъ точки по окружности, то мы должны будемъ выразить запаздываніе въ фазѣ угловой величиной. Для обозначенія угла запаздыванія обыкновенно употребляется греческая буква  $\varphi$ . Величина  $\varphi$  всегда такова, что  $\cos \varphi$  всегда равенъ отношенію индуктивности къ видимому сопротивленію. Поэтому законъ Максвелля можно еще выразить такъ:

$$\text{Средняя сила тока} = \frac{\text{средняя электродвижущая сила}}{\text{сопротивленіе}} \times \text{косинусъ угла отставанія.}$$

Въ этомъ видѣ формула ясно показываетъ, что средняя сила тока будетъ *всегда* меньше, чѣмъ сила тока при той же электродвижущей силѣ и томъ же сопротивленіи, если бы токъ былъ постоянный. Я говорю всегда, т. е. всегда, когда цѣпь обладаетъ индуктивностью, производящею отставаніе. Если индуктивность очень велика сравнительно съ сопротивленіемъ, то кажущееся сопротивленіе будетъ практически зависѣть только отъ индуктивности и отставаніе будетъ таково, что  $\cos \varphi$  будетъ весьма близокъ къ нулю. Другими словами, сила тока не будетъ вовсе зависѣть отъ сопротивленія цѣпи, а только отъ ея индуктивности. При этомъ уголъ отставанія будетъ близокъ къ  $90^\circ$  или четверти періода.

Электромагнитъ, сердечникъ котораго состоитъ изъ отдѣльныхъ желѣзныхъ пластинъ или проволокъ обладаетъ большой самоиндукціей и слѣдовательно и громадной индуктивностью при

---

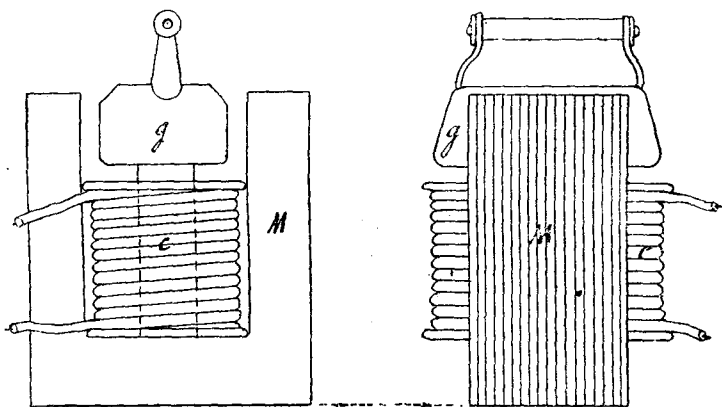
\*) Подъ словомъ *средняя*, какъ было объяснено раньше, слѣдуетъ понимать не арифметическую или геометрическую среднюю, но корень квадратный изъ средняго арифметическаго квадратовъ. Для предыдущихъ формулъ предпологаютъ, что токъ синусоидальный.

токахъ съ большимъ числомъ перемѣнъ въ секунду. Такого рода электромагниты употребляются теперь часто, какъ *ослабляющіе* (*choking*) катушки, въ цѣляхъ для электрическаго освѣщенія, чтобы уменьшать силу тока. Употреблять такія катушки выгоднѣе, чѣмъ реостаты съ большими сопротивленіями, такъ какъ при употребленіи катушекъ не теряется даромъ энергія.

### Электромагниты для нагрѣванія.

Быстрыя перемѣны намагничиванія, происходящія въ магнитномъ полѣ электромагнита, питаемого токомъ перемѣннаго направленія, возбуждаютъ во всякой сплошной металлической массѣ находящейся въ магнитномъ полѣ, паразитные токи. Поэтому всѣ металлическія катушки, рамы, наконечники для катушекъ, нужно

Фиг. 187.



Электромагнитъ Ранкина Кеннеди, служащій для нагрѣванія.

дѣлать непремѣнно пластинчатыми, иначе они будутъ накаливаться. Если помѣстись обыкновенный утюгъ на конецъ пластинчатого сердечника, по обмоткѣ котораго проходитъ токъ перемѣннаго направленія, то утюгъ быстро нагрѣется, отъ дѣйствія развившихся въ немъ токовъ. Основываясь на этомъ принципѣ Ранкинъ Кеннеди (Rankin Kennedy) предложилъ устраивать особые электромагниты для нагрѣванія, въ которыхъ онъ весьма остроумно примѣнилъ принципъ трансформации токовъ сильного напря-

женія, но слабой силы, въ токи весьма сильныя, но слабого напряженія. Его электромагнитъ, назначенный для нагрѣванія утюговъ, мѣдныхъ кострюль, чайниковъ и т. п., имѣетъ три полюса и состоитъ изъ вырѣзанныхъ особымъ образомъ листовъ желѣза, скрѣпленныхъ вмѣстѣ при помощи болтовъ. Намагничивающая катушка надѣта на среднюю вѣтвь, которая короче и шире внѣшнихъ. На верхушку этой же вѣтви помѣщается и утюгъ. Положимъ, что въ намагничивающей катушкѣ 200 оборотовъ и что по ней проходитъ токъ перемѣннаго направленія въ 20 амперовъ, итого 4000 амперъ-оборотовъ. Такъ какъ утюгъ можетъ служить вторичной обмоткой, дѣлающей всего одинъ оборотъ, то на основаніи принципа трансформаци, въ немъ разовьется токъ въ 4000 амперовъ, который конечно нагрѣетъ его весьма быстро.

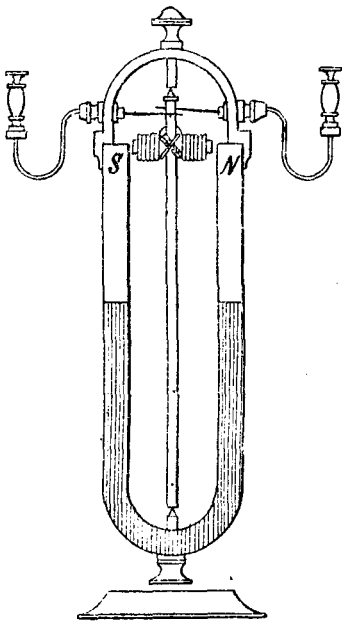
## ГЛАВА XII.

### Электрoмагнитные двигатели.

Начиная приблизительно съ 1830 г. лицамъ, занимавшимся электричествомъ, стало ясно, что, расходуя энергію электрическаго тока, доставляемаго баттарейми, можно получить вращающую силу. Приборъ Фарадѣя для вращенія магнита вокругъ мѣднаго проводника, а также зубчатое колесо Барлова и вращающійся дискъ Стюржена были изобрѣтены даже раньше этого времени. Между изобрѣтателями электромагнитныхъ двигателей были Генри, Даль-Негро и Ричи. Двигатели Генри и Даль-

Негро были типа съ вибрирующими частями, которыя колебались взадъ и впередъ. Двигатель Ричи былъ типа двигателей съ вращающейся подвижной частью. Онъ былъ истиннымъ прародителемъ современныхъ машинъ съ неподвижными магнитами, производящими машинное поле, и съ вращающейся арматурой. Фиг. 188 представляетъ одинъ изъ двигателей Ричи въ томъ видѣ, въ какомъ его построилъ Данииль Дэвисъ младшій (Daniel Davis jun.) въ Бостонѣ (Сѣверо-Американскіе Штаты). Рисунокъ и взятъ изъ книги его сочиненія. Магнитное поле производится перевернутымъ сгибомъ внизъ, стальнымъ подковообразнымъ магнитомъ, высотой около 9 дюймовъ. Вращающаяся арматура, состоящая изъ

Фиг. 188.

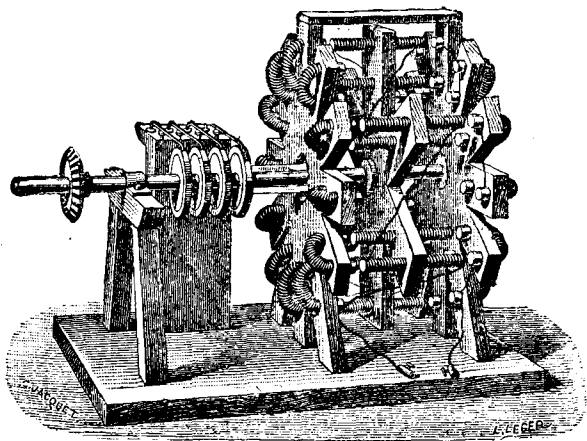


Двигатель Ричи.

железнаго стержня, снабженнаго обмоткой изъ мѣдной проволоки, помѣщена между полюсами стального магнита. Концы обмотокъ присоединены къ серебряннымъ контактнымъ поверхностямъ, которыя помѣщены на оси и служатъ комутаторомъ. Этотъ приборъ описанъ на стр. 212 книги Дэвиса *Magnetism* (изда-

ніе 1852 г.) подъ именемъ «*вращающагося электромагнита*» и причисленъ къ числу двигателей. Но на стр. 268 названной книги этотъ же самый приборъ представленъ вновь, но уже на рисункѣ изображена человѣческая рука вращающая ось и приборъ дѣйствуетъ, какъ производитель тока. Тутъ же сдѣлано замѣчаніе, что «нѣкоторые изъ электромагнитныхъ механизмовъ, въ которыхъ движеніе происходитъ бтъ взаимодействія между гальваническимъ токомъ и стальнымъ магнитомъ, могутъ сами давать магнитоэлектрическіе токи, если механически вращать подвижную часть». Мысль объ обратимости двигателей и генераторовъ была еще яснѣе высказана въ 1860 г. Варленномъ (Warlenn). За изобрѣтеніемъ двигателя Ричи послѣдовало въ 1834 г. изобрѣтеніе двигателя Якоби. Въ его машинѣ магнитное поле производилось многополюснымъ магнитомъ, состоявшимъ изъ двухъ вѣтцонъ съ полюсами, между которыми вращалась сложная арма-

Фиг. 189.



Двигатель Якоби.

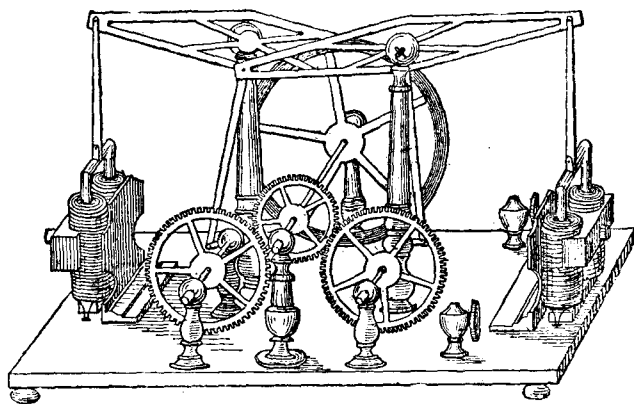
тура. Этотъ двигатель предназначался для движенія лодки, въ которой Якоби плавалъ по Невѣ въ 1838 году \*). Токъ, который проходилъ по вращающимся электромагнитамъ, прерывался при помощи особаго коммутатора именно въ тотъ моментъ, когда эти

\*) Для приведенія въ движеніе лодки употреблялось нѣсколько такихъ двигателей.



электромагниты проходили передъ полюсами неподвижныхъ магнитовъ. Коммутаторъ состоялъ изъ четырехъ латунныхъ зубчатыхъ колесъ, между зубцами которыхъ были помѣщены куски слоновой кости или дерева. Двигатель Якоби представленъ на фиг. 189. Между первыми изобрѣтателями двигателей достойны вниманія два американскіе изобрѣтателя. Именно Давенпортъ (Davenport) и Пажъ (Page). Двигатель Давенпорта предшествовалъ болѣе совершенному двигателю Фромана. Пажъ, который работалъ надъ этими вопросами около двадцати лѣтъ, создалъ особый типъ электромагнитныхъ машинъ, основанный на употребленіи механизмовъ съ подвижными стержнями, двигающимися внутри катушекъ, вмѣсто обыкновенныхъ электромагнитовъ съ неподвижными сердечниками. На фиг. 190 представленъ одинъ изъ его двигателей съ двумя

Фиг. 190.



Двигатель Пажа съ двумя коромыслами.

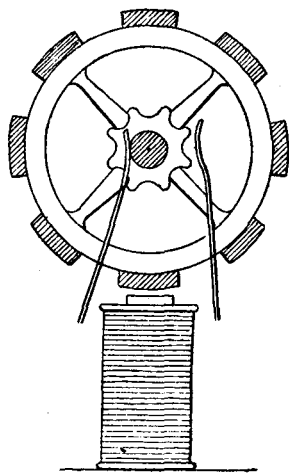
коромыслами. Рисунокъ взятъ изъ книги *Magnetism* Дэвиса. Въ одномъ изъ опытовъ онъ употреблялъ спиральную обмотку въ одинъ футъ длины и могъ заставлятъ желѣзный стержень, вѣсившій 300 фунтовъ, двигаться на протяженіи 10 дюймовъ. Въ другомъ случаѣ подымался на 10 дюймовъ желѣзный стержень, вѣсившій 532 фунта, къ которому былъ привѣшенъ еще грузъ въ 508 фун. Всего значитъ около полутонны. Ричи могъ примѣнить свой двигатель къ настоящей работѣ, напримѣръ для вращенія токарнаго станка. Но дороговизна тока, доставляемаго первичными баттарейми помѣшала этимъ двигателямъ получить распространеніе.

Другіе изобрѣтатели придавали своимъ машинамъ совершенно инныя формы. Напримѣръ, въ Англіи Витстонъ, приборъ котораго, съ вращеніемъ, происходящимъ отъ боковаго приближенія арматуры былъ уже описанъ въ главѣ объ электромагнитныхъ механизмахъ (глава IX), отличался особой изобрѣтательностью въ дѣлѣ устройства двигателей. Точно также Хіортъ (Hjörth), работавшій сначала въ Типтонѣ (Tipton), а потомъ въ Ливерпулѣ, строилъ различныя машины, какъ для того, чтобы служить двигателями, такъ и, чтобы производить токъ (см. главу VIII). За свои изобрѣтенія онъ получилъ на выставкѣ 1851 года золотую медаль. Въ Голландіи Эліасъ (Elias) изобрѣлъ двигатель, въ которомъ магнитное поле производилось электромагнитомъ; вращающаяся арматура была тоже электромагнитъ. Оба электромагнита имѣли форму колецъ, на которыхъ обмотка была сдѣлана такъ, чтобы образо-

валось нѣсколько послѣдовательныхъ полюсовъ. Во Франціи Фроманъ указалъ путь многочисленными формами своихъ двигателей. Наиболѣе извѣстный изъ нихъ основанъ на томъ, что на окружность вращающагося кольца придѣланъ рядъ желѣзныхъ полосъ (фиг. 191), которыя протягиваются къ полюсу электромагнита. Токъ, проходящій по обмоткѣ электромагнита, автоматически прерывается въ тотъ моментъ, когда какая-нибудь изъ полосъ становится противъ полюса. Двигатели этого рода, а также и другіе, многополюсные, употреблялись много лѣтъ Фроманомъ, въ его инструментальной мастерской въ Парижѣ, для приведенія въ движеніе дѣлительныхъ и другихъ легкихъ машинъ.

Другой французскій механикъ, Бурбузъ (Bourbouse) устраивалъ двигатели, подобные изображенному на фиг. 192. Въ этомъ двигателѣ катушки снабжены двумя сердечниками, однимъ подвижнымъ, другимъ—неподвижнымъ (см. главу VIII). Коммутаторъ

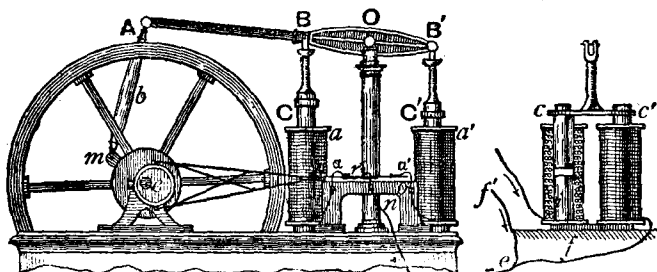
Фиг. 191.



Двигатель Фромана.

устроенъ на подобіе золотника въ паровой машинѣ и приводится въ движеніе эксцентрикомъ, насаженнымъ на колѣнчатый валъ.

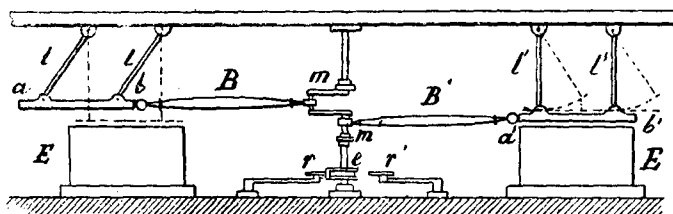
Фиг. 192.



Двигатель Бурбуза.

Скажемъ нѣсколько словъ еще о другомъ французскомъ двигателѣ, который получилъ премію на Парижской выставкѣ 1856 г. Онъ былъ построенъ Ру (Roux). Въ этомъ двигателѣ (фиг. 193)

Фиг. 193.



Двигатель Ру.

примѣненъ уравнитель Фромана (см. главу IX). Электромагниты снабжены внѣшней обкладкой изъ листового желѣза.

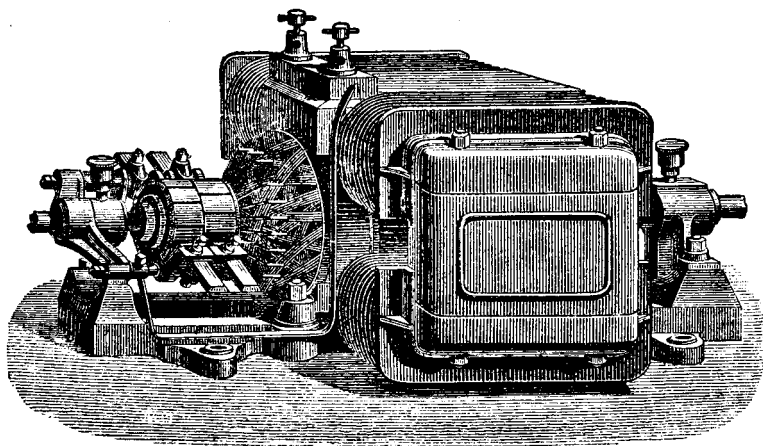
Въ 1868 г. Пачинотти (Pacinotti) устроилъ впервые машину съ кольцевой арматурой. Его машина была прототипомъ всѣхъ современныхъ машинъ. Въ 1870 г. эта кольцевая арматура была вновь изобрѣтена Граммомъ, съ тою только разницею, что Граммъ сдѣлалъ обмотку по всей поверхности кольца. Съ тѣхъ поръ задача объ устройствѣ электрическихъ двигателей стала частью болѣе общей задачи — устройства динамомашинъ. Странно сказать, что проектированіе и устройство электродвигателей сдѣлало наибольшіе успѣхи въ рукахъ тѣхъ изобрѣтателей, которые вовсе не стремились устроить двигатели, а устраивали машины для

электрическаго освѣщенія. Между тѣмъ устроенныя ими машины казались гораздо лучшими двигателями, чѣмъ тѣ, которыя проектировались специально, какъ двигатели.

Современные электромагнитные двигатели можно раздѣлить на два класса:—двигатели, для которыхъ употребляется токъ постояннаго направленія, и двигатели, для которыхъ употребляется токъ переменнаго направленія. Всякій двигатель, къ какому бы классу онъ ни принадлежалъ, имѣетъ двѣ главныя части: магнитъ, производящій магнитное поле, и катушку. Разница между этими двумя частями состоитъ въ томъ, что въ первой части, т. е. магнитѣ, производящемъ поле, магнетизмъ остается во время дѣйствія машины постояннымъ (или почти постояннымъ), тогда какъ во второй части—катушкѣ, онъ периодически мѣняетъ свой знакъ.

Въ машинахъ для постояннаго тока, часть производящая маг-

Фиг. 194.



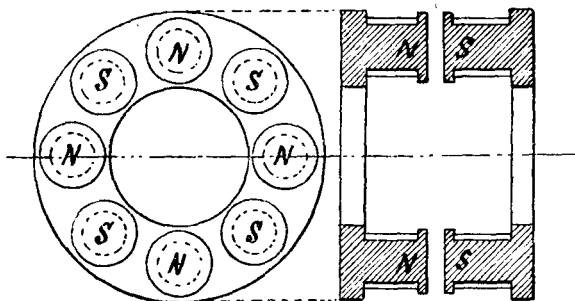
Двигатель Иммиша.

нитное поле, обыкновенно состоитъ изъ массивнаго электромагнита простой формы, между полюсами котораго вращается катушка. Эта послѣдняя состоитъ обыкновенно изъ сложнаго электромагнита, насаженнаго на ось. Его сердечникъ изъ пластинчатаго желѣза (обыкновенно въ формѣ кольца или барабана) покрывается изолированной мѣдной проволокой, по которой и проходитъ токъ. На фиг. 194 представленъ современный типъ электромагнитнаго двигателя, въ которомъ катушка, имѣющая видъ

барабана, помещена между полюсами электромагнита, производящего магнитное поле. Въ этомъ послѣднемъ электромагнитѣ, магнитная цѣпь двойная. Представленный на чертежѣ двигатель отличается силой и сравнительно небольшими размѣрами. Существуетъ еще много другихъ двигателей, устроенныхъ различными строительными фирмами.

Для машинъ съ токомъ переменнаго направленія принята другая форма. Магниты, производящіе магнитное поле, въ этихъ машинахъ большею частью многополюсные и имѣютъ обыкновенно видъ, представленный на фиг. 195. Двѣ помещенныя другъ про-

Фиг. 195.

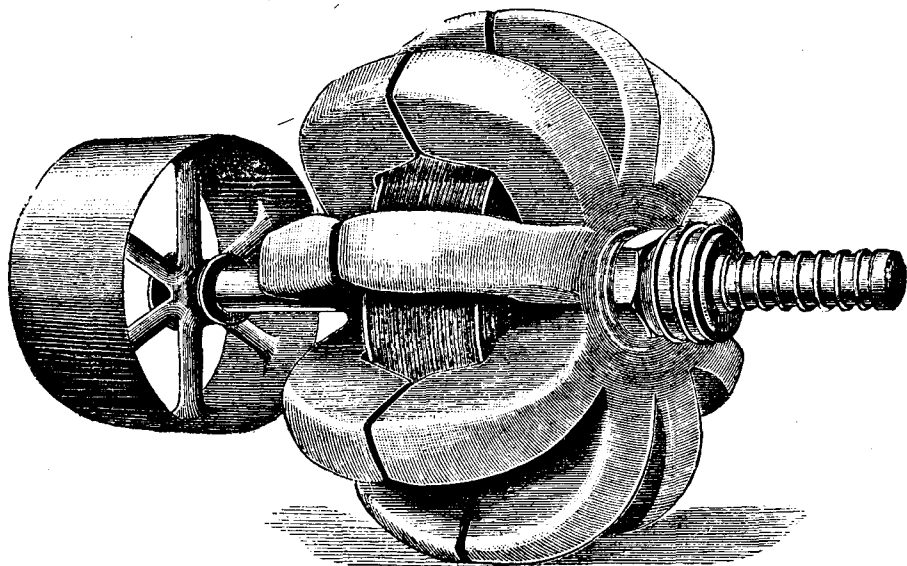


*Магнитъ, производящій магнитное поле въ машинѣ переменнаго тока.*

тивъ друга массивныя рамы снабжены выступами, вокругъ которыхъ сдѣлана обмотка такъ, чтобы другъ противъ друга лежали полюсы разноименные. Въ промежуткѣ между полюсами вращается арматура, которая состоитъ изъ нѣсколькихъ катушекъ, число которыхъ равно числу полюсовъ на окружности рамы (въ данномъ случаѣ восьми). Катушки поочереди обмотаны слѣва на право и справа налѣво. Двигатели съ переменными токами этого типа обладаютъ двумя особенными свойствами: 1) они не приходятъ въ движеніе самостоятельно и, чтобы привести такую машину въ движеніе и довести ее до требуемой скорости, нужно употребить вспомогательную машину, и 2) разъ приведенный въ движеніе, двигатель идетъ совершенно синхронно съ машиной дающей токъ. Мордей (Mordey) сдѣлалъ значительныя усовершенствованія въ такихъ двигателяхъ, замѣнивъ сложный электромагнитъ, производившій магнитное поле, въ которомъ каждый выступъ былъ снабженъ особой обмоткой, электромагнитомъ бо-

лѣ простой формы, у котораго обмотка только одна (фиг. 196). Прикрѣпивъ къ цилиндрическому сердечнику два массивныхъ

Фиг. 196.



*Магнитъ, производящій магнитное поле въ машинѣ перемѣннаго тока Мордея.*

полюсныхъ наконечника съ изогнутыми, почти сходящимися, выступами, Мордей получилъ тоже дѣйствіе, какъ отъ многополюснаго магнита. Въ этой машинѣ вращается электромагнитъ, производящій магнитное поле, арматура же остается неподвижной.

Очень хорошій двигатель для тока перемѣннаго направленія устроилъ Грау-Вагнеръ (Grau-Wagner) для приведенія въ движеніе электрическихъ часовъ. Въ этомъ двигательѣ вращающаяся арматура поляризована и полюсныя поверхности скошены.

Въ послѣднее время изобрѣтено много двигателей для тока перемѣннаго направленія Феррарисомъ (Ferraris), Тесла (Tesla), Элигу Томсономъ (Elihu Tomson) и другими, основанныхъ на взаимодействіи катушекъ, по которымъ проходятъ токи перемѣннаго направленія различныхъ фазъ. Описаніе этихъ двигателей не можетъ войти въ программу настоящей книги. Болѣе подробное описаніе электрическихъ двигателей, а также и теорію электрической передачи энергіи на разстояніе, читатель можетъ найти въ книгѣ автора о динамомашинѣхъ.

## ГЛАВА XIII.

### *Различныя примѣненія электромагнитовъ.*

Прошло много лѣтъ съ того времени, какъ Фроманъ примѣнилъ свой электромагнитный двигатель для приведенія въ движеніе въ его Парижской мастерской разныхъ маленькихъ станковъ и машинъ, какъ на примѣръ дѣлительныхъ машинъ, токарныхъ станковъ, употребляемыхъ часовщиками и др.

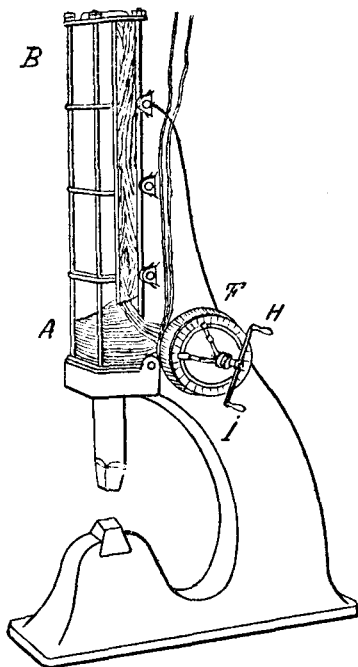
Съ тѣхъ поръ и до нынѣшняго времени было сдѣлано весьма мало для того, чтобы примѣнить особенныя свойства электрическихъ двигателей къ устройству различныхъ станковъ и машинъ. Конечно въ тѣхъ городахъ, особенно въ Соединенныхъ Штатахъ, гдѣ существуетъ электрическая канализація, есть много мастерскихъ, въ которыхъ электрическіе двигатели примѣняются вмѣсто паровыхъ для приведенія въ движеніе машинъ. Но нигдѣ не примѣнены особенныя качества электрическихъ двигателей, отличающія ихъ отъ всѣхъ остальныхъ.

Быстрота, съ которою можетъ вращаться подвижная часть двигателя, составляетъ его главную особенность. Уже нѣсколько лѣтъ электромагнитные двигатели употребляются для приведенія во вращеніе сверль зубныхъ врачей. Труве въ Парижѣ особенно отличался въ изобрѣтеніи подобнаго рода инструментовъ, но примѣненіе электрическихъ двигателей къ зубоврачебному искусству получило особенно широкое распространеніе въ Американскихъ Соединенныхъ Штатахъ. Они употребляются не только для сверленія, но и для другихъ цѣлей. На примѣръ для пломбированія зубовъ употребляютъ маленькіе электромагнитные молоточки, которые легко держатъ твердо въ рукѣ и которые могутъ давать быстро слѣдующіе одинъ за другимъ слабые удары. Болѣе подробныя свѣдѣнія относительно примѣненія электромагнитовъ къ зубоврачебному искусству можно найти въ отчетахъ экспертной комиссіи Филадельфійской Выставки 1884 года.

Электромагнитъ можетъ быть примѣненъ къ устройству инструментовъ еще иначе. Именно можно устроить трубчатую катушку, съ обмоткой, сдѣланной *секціями*, внутри которой могъ бы дви-

гаться подвижной стержень. Токъ, войдя въ какой-нибудь точкѣ въ эту обмотку, пойдетъ отъ нея въ обѣ стороны и произведетъ въ этой точкѣ послѣдовательный полюсъ (см. стр. 55). Конецъ внутренняго сердечника притянется къ этому полюсу въ трубчатой обмоткѣ. Поэтому, если при помощи особаго коммутатора, поднимать точку, въ которой токъ входитъ въ обмотку, то можно заставить сердечникъ подняться до желаемой высоты. На основаніи этихъ соображеній Пажъ и Дю-Монсель устроили двигатели, а 1880 г. Марсель Дебре\*) (Marcel Deprez) вновь примѣнилъ ихъ къ устройству своего электромагнитнаго молота, изображеннаго на фиг. 197. На катушкѣ АВ сдѣлано 80 отдѣльныхъ обмотокъ

Фиг. 197.



Электромагнитный молотъ  
Марселя Дебре.

одна около другой. Всѣ отдѣльныя обмотки соединены между собой въ одну сплошную обмотку и, кромѣ того, конецъ каждой секціи и начало другой соединены съ однимъ изъ сегментовъ коммутатора F. Двѣ пружинки въ коммутаторѣ, которыя надавливаютъ на сегменты, соединены съ рукояткой H. Высота, на которую поднимается сердечникъ, зависитъ отъ положенія этой рукоятки. Желѣзный сердечникъ вѣситъ 23 килограмма, и къ нему можно еще прикрѣпить грузъ въ 70 килограммовъ, если пропускать черезъ 15 секцій токъ въ 43 ампера.

На электрической выставкѣ 1882 года въ Crystal Palace въ Сиденгамѣ было выставлено нѣсколько электромагнитныхъ приборовъ, назначенныхъ для спасенія судовъ, изобрѣтенныхъ Латимеромъ Клэркомъ (Latimer Clark). Одинъ изъ этихъ прибо-

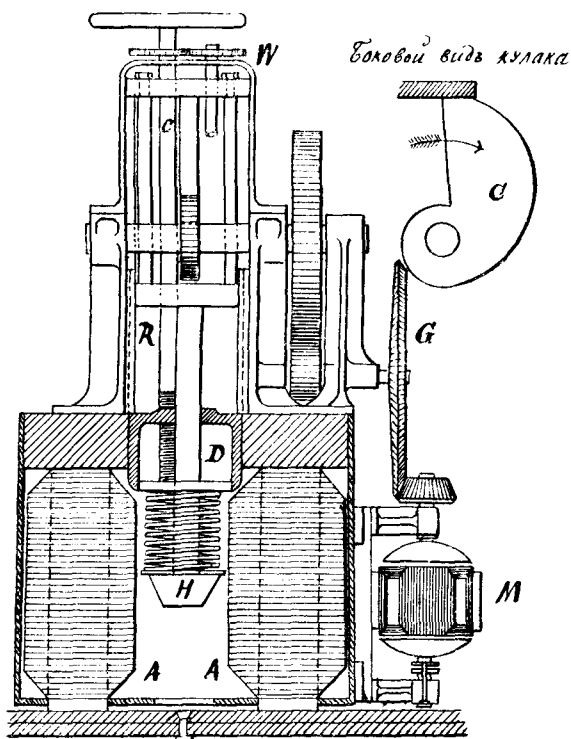
\*) Lum. Electr. 1883.



ровъ состоялъ изъ электромагнита, который долженъ былъ брать съ собою въ воду водолазь, отправляясь для починки затонувшаго желѣзнаго судна или для подготовленія его къ поднятію. Электромагнитъ погружается въ воду на извѣстную глубину и соединяется при помощи гибкаго кабеля съ какимъ нибудь подходящимъ источникомъ электричества. Водолазь, опускаясь въ воду, беретъ съ собою ключъ, замыкая который онъ можетъ намагнитить электромагнитъ и заставить его пристать въ желаемомъ мѣстѣ къ корпусу судна. Такимъ образомъ образуется сидѣніе, помѣстившись на которомъ водолазь можетъ начать работу, напримѣръ сверленія отверстій въ желѣзѣ для крючковъ и цѣпей. Между приборами былъ и электрическій двигатель для приведенія во вращеніе сверла.

За послѣднее время много новыхъ машинъ устроено Роуаномъ

Фиг. 198.



Электромагнитный приборъ для дѣланія заклепокъ Роуана.

(Rowan) въ Глазговѣ. Большинство изъ нихъ главнымъ образомъ предназначаются для сверленія и дѣланія заклепокъ при постройкѣ желѣзныхъ судовъ. Приборъ для дѣланія заклепокъ состоитъ изъ электромагнита АА (фиг. 198), который можно приложить къ любой части судоваго корпуса, въ которой нужно сдѣлать заклепку. Пропустивъ по обмоткѣ токъ, можно заставить электромагнитъ пристать къ желѣзу. Маленькій двигатель М, приводимый въ движеніе электрическимъ токомъ, соединенъ при помощи зубчатыхъ колесъ (G) съ кулакомъ С, поднимающимъ молотъ Н. Сила, съ которой молотъ опускается на заклепку, зависитъ отъ натяженія спиральной пружины, помѣщенной надъ головкой молота. Дѣйствіе же спирали можно регулировать винтомъ К, сдвигаящимся колесомъ W. Съ обратной стороны желѣзнаго листа тоже заставляютъ пристать электромагнитъ, который такимъ образомъ служитъ «подушкой» для заклепки. Роуанъ устроилъ также электромагнитныя сверла, которыя сами пристають къ желѣзу въ нужномъ мѣстѣ и приводятся въ движеніе электромагнитнымъ двигателемъ. Кромѣ этихъ инструментовъ Роуанъ устроилъ еще и другіе, всѣ предназначенные для обработки металловъ.

Въ Февралѣ 1819 г. Аткинсонъ (Atkinson) сдѣлалъ въ Institution of Civil Engineers докладъ о примѣненіи электромагнитныхъ машинъ къ горному дѣлу, въ которомъ описалъ нѣсколько электромагнитныхъ сверлильныхъ машинъ и инструментовъ для каменноугольныхъ копей.

## ГЛАВА XIV.

### *Способы предотвратить появленіе искръ.*

Извѣстно, что при размыканіи цѣпи, въ которой заключается обыкновенный электромагнитъ, появляется блестящая искра. Эта искра расплавляетъ и разѣдаетъ контактные поверхности у ключей и коммутаторовъ, употребляемыхъ для размыканія цѣпи. Въ приборахъ съ вибрирующими частями, контактные поверхности портятся особенно скоро.

Для того, чтобы предотвратить появленіе искры въ прежнее время употребляли нѣсколько способовъ. Дѣлали контактные поверхности изъ металлическаго серебра, а затѣмъ, когда было найдено, что платина менѣе портится и менѣе подвергается окисленію, стали всегда употреблять для контактныхъ поверхностей платину, несмотря на ея высокую цѣну. Далѣе стали дѣлать трущіеся контакты, а не нажимающіеся. Наконецъ стали употреблять шелкающіе прерыватели, т. е. прерыватели съ такимъ механическимъ приспособленіемъ, что при размыканіи цѣпи, подвижная часть отскакиваетъ очень быстро и такимъ образомъ искра, которая иначе появлялась бы и сжигала контактные поверхности, уничтожается.

### Причины появленія искръ.

Намъ необходимо теперь нѣсколько ближе познакомиться съ явленіемъ искръ. Мы знаемъ, что искра никогда не появляется при замыканіи цѣпи, а только при размыканіи. Она очень не велика и слаба въ простой цѣпи, не заключающей ни катушекъ, ни электромагнитовъ, но въ цѣпяхъ, заключающихъ катушки и электромагниты она становится блестящей и ѣдкой. Такъ какъ эти искры могутъ перескакивать черезъ воздушный слой значительной толщины, скажемъ  $\frac{1}{20}$  до  $\frac{1}{10}$  дюйма, то ясно, что электродвижущая сила, которая ихъ производитъ, гораздо больше, чѣмъ электродвижущая сила обыкновенныхъ батарей. Электродвижущая сила даже въ 100 вольтъ не будетъ въ состояніи сама по себѣ про-

известии искру, которая проскочила бы черезъ слой воздуха толщиной въ  $\frac{1}{100}$  дюйма. Электродвижущая сила, дающая большія искры, обязана своимъ происхожденіемъ самоиндукціи въ различныхъ обмоткахъ изъ мѣдной проволоки, которыя въ моментъ, когда магнетизмъ уничтожается, дѣйствуютъ другъ на друга, какъ первичная и вторичная обмотки индукціонной спирали. Чѣмъ быстрѣ идетъ уменьшеніе магнетизма, тѣмъ больше появляющаяся электродвижущая сила. О значительной величинѣ электродвижущей силы можно еще судить по тѣмъ толчкамъ, которые часто получаютъ лица, работающія съ электромагнитами, прикоснувшись къ обѣимъ частямъ цѣпи, между которыми проскакиваетъ искра. Одно время такой индуктированный токъ называли экстра-токомъ и обыкновенно говорили, что при замыканіи цѣпи появляется экстратокъ, въ направленіи противоположномъ главному току, которому онъ мѣшаетъ сразу достигъ наибольшей величины. При размыканіи же цѣпи появляющійся экстратокъ одного направленія съ главнымъ и онъ проявляется искрой.

Въ главѣ VII было сказано, что каждая цѣпь обладаетъ нѣкоторой «постоянной времени», которая есть отношеніе коэффициента самоиндукціи къ сопротивленію. Этой же самой самоиндукціи обязана своимъ происхожденіемъ и искра, появляющаяся при размыканіи цѣпи. При размыканіи цѣпи постоянная времени всегда меньше, чѣмъ при замыканіи потому, что хотя самоиндукція остается въ обоихъ случаяхъ та же, но въ первомъ случаѣ сопротивленіе значительно увеличивается воздушнымъ слоемъ, черезъ который проскакиваетъ искра. Никто не знаетъ каково сопротивленіе искры длиною въ  $\frac{1}{100}$  дюйма. Тѣмъ не менѣ сомнительно, чтобы такая искра представляла конечное сопротивленіе электрическому току. Ея природа имѣетъ нѣчто общее съ природой вольтовой дуги и, конечно, ея сопротивленіе растетъ вмѣстѣ съ длиной, но вѣроятно длина искры и ея сопротивленіе не находятся въ какомъ либо простомъ соотношеніи. Очень удобно разсматривать интересующій насъ вопросъ съ слѣдующей точки зрѣнія: при замыканіи тока, часть энергіи его, доставляемой батареей, требуется на образованіе магнитнаго поля, т. е. другими словами, для сгущенія въ сердечникѣ магнитныхъ линий. Эта энергія сохраняется все время, пока сохраняется магнитное поле, т. е. пока по цѣпи проходитъ токъ. Но какъ только токъ пере-

стаетъ проходить, эта энергія тоже превращается въ другой видъ. *Искра, появляющаяся при размыканіи тока (искра отъ экстра-тока), есть видимое превращеніе энергіи магнетизма.* Количество тепла, выдѣляемое искрой, можно принять за мѣру энергіи, запасенной въ переменный періодъ тока, т. е. пока онъ увеличивается до предѣльной силы. Количество электричества, которое такимъ образомъ запасается, а слѣдовательно и выдѣляется при размыканіи, равно тому, которое было бы перенесено токомъ, достигшемъ уже своей постоянной силы, въ періодъ равный «постоянной времени». Если мы назовемъ черезъ  $E$  электродвижущую силу батареи въ *вольтахъ*, черезъ  $R$  — сопротивление цѣпи въ *Омахъ*, черезъ  $L$  — самоиндукціи цѣпи въ *квadrантахъ*, то количество электричества  $Q$ , неявно запасеннаго электромагнитной системой, выразится въ *кулонахъ* — формулой:

$$Q = \frac{E}{R} \times \frac{L}{R} = \frac{E L}{R^2}$$

Если электродвижущая сила, пока количество  $Q$  росло отъ нуля до  $Q$ , была  $E$ , то работа, которую произвела батарея, собранная въ видѣ потенциальной энергіи, будетъ:

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{E^2 L}{R^2}$$

Если мы вообразимъ, что, размыкая токъ, мы введемъ въ цѣпь очень большое сопротивление  $R_2$  (значительно большее чѣмъ  $R$ ), то «постоянная времени» уменьшится и будетъ равна  $\frac{L}{R_2}$ . Слѣдовательно, собранная потенциальная энергія будетъ уменьшаться уже при большей электродвижущей силѣ  $E_2$ , величина которой должна удовлетворять уравненію:

$$\frac{1}{2} \frac{E_2^2 L}{R_2^2} = \frac{E^2 L}{R^2}$$

Далѣе сопротивление, вводимое при размыканіи цѣпи, всегда будетъ въ нѣсколько сотъ разъ больше сопротивленія самой цѣпи, поэтому электродвижущая сила, заставляющая искру проскакивать черезъ слой воздуха, можетъ быть въ то же время въ нѣсколько сотъ разъ больше электродвижущей силы батареи. Изъ предыдущихъ соображеній должно стать совершенно яснымъ, что, при прочихъ равныхъ условіяхъ, чѣмъ сильнѣе электромагнитъ, тѣмъ

больше будетъ искра, появляющаяся при размыканіи цѣпи, такъ какъ коэффициентъ самоиндукціи пропорціоналенъ потоку магнитныхъ линий въ сердечникѣ и числу оборотовъ, которые дѣлаеть проволока вокругъ нихъ. Тѣмъ не менѣе существуютъ еще и другія причины, которыя могутъ вліять на величину искры. Если между сердечникомъ и обмоткой помѣщается слой металла, или, если сердечникъ самъ состоитъ изъ куска сплошнаго (не пластинчатаго) металла, то въ моментъ размыканія цѣпи, въ этомъ металлическомъ слоѣ, или въ самомъ сердечникѣ, будутъ индуцироваться токи совершенно также, какъ въ обмоткѣ. Эти паразитные токи будутъ стремиться поддержать магнетизмъ сердечника и, слѣдовательно онъ будетъ уменьшаться медленно, а потому и электродвижущая сила не увеличится до слишкомъ значительной степени. Поэтому такая вспомогательная цѣпь (изъ слоя металла), ослабляетъ искру, появляющуюся при размыканіи тока. Это же самое явленіе можно объяснить еще тѣмъ, что при существованіи взаимной индукціи, самоиндукція сама по себѣ уменьшается и, что металлическій слой, въ которомъ индуцируются паразитные токи, какъ бы распредѣляетъ электродвижущую силу самоиндукціи, уменьшая ея амплитуду, но увеличивая промежутокъ времени, въ который она дѣйствуетъ.

При быстромъ размыканіи цѣпи, въ ней появляется большая электродвижущая сила и въ проводникахъ появляются быстрыя колебанія тока, причемъ изолировка проводовъ можетъ быть пробита и сильно попорчена. Гиггинсъ (Higgins) наблюдалъ, что эти быстрые разряды не подчиняются обыкновеннымъ законамъ, управляющимъ постоянными токами. Напримѣръ, вмѣсто того, чтобы проходить по спиралямъ, длиною въ 2 дюйма, сдѣланнымъ изъ мѣдной проволоки № 30 и № 24 В. W. G. \*), они избираютъ болѣе прямой путь сквозь два слоя лака и слой воздуха, сопротивленіе котораго равняется можетъ быть нѣсколькимъ милліонамъ мегомовъ.

### Механическія приспособленія для уничтоженія искръ.

О нѣсколькихъ изъ механическихъ способовъ уничтоженія искры, мы уже говорили, здѣсь же мы займемся классификаціей этихъ способовъ.

\*) Birmingham Wire Gauge, калибры для проволокъ, принятыя въ Англіи, № 24 — соотвѣствуетъ диаметру 0,63 мил., а № 30—0,35 мил. *Прим. пер.*

а) *Шелкающій прерыватель*. Это быстродѣйствующій прерыватель, который удаляетъ обѣ части цѣпи другъ отъ друга на значительное разстояніе раньше, чѣмъ образующаяся электродвижущая сила успѣваетъ дойти до своей наибольшей величины и поэтому эта электродвижущая сила должна расходоваться на что нибудь другое. Она производитъ зарядъ высокаго напряженія на одномъ концѣ проволоки, который затѣмъ колеблется по проволокѣ взадъ и впередъ и мало по малу уничтожается (если только раньше онъ не пробьетъ изолировку и не уйдетъ въ другое мѣсто).

б) *Прерываніе тока въ жидкости*. Если прерыватель помѣстить въ водѣ или алкогольѣ, то появляющаяся искра гораздо меньше. Но этотъ способъ не всегда удобенъ. Если воду или алкоголь замѣнить масломъ или другимъ углеводомъ, то поверхности прерывателя быстро обугливается.

в) *Стираніе искры*. Авторъ этой книги предложилъ употреблять прерыватели, снабженные особой азбестовой подушкой, которая бы, такъ сказать, стирала искру. Эту подушку, конечно, пришлось бы отъ времени до времени возобновлять.

г) *Задуваніе искры*. Если устроить приспособленіе, которое вдувало бы струю воздуха въ промежутокъ между контактами, именно въ тотъ моментъ, когда образуется искра, то образованіе ее было бы очень затруднено. Такого рода задуваніе искры устроено на коммутаторахъ динамомашинъ Томсонъ-Хустонъ.

е) *Прерываніе въ магнитномъ полѣ*. Если прервать цѣпь, лежащую въ магнитномъ полѣ, то искра сдувается въ бокъ съ необыкновенной быстротой. Если прервать цѣпь обыкновеннаго (большаго) электромагнита гдѣ нибудь надъ его полюсомъ или между полюсомъ и арматурой, то звукъ произведенный искрой будетъ подобенъ пистолетному выстрѣлу. При этомъ магнетизмъ падаетъ быстрѣе и электродвижущая сила экстратока достигаетъ большей величины.

## Электрическія приспособленія для уничтоженія искръ \*).

а) *Шунтированіе прерывателя сопротивленіемъ*. Если въ той части цѣпи, въ которой помѣщенъ прерыватель, помѣстить еще въ отвѣтленіе проволоку (не свернутую въ спираль) большаго

\*) См. Vaschy. Annales Télégraphiques 1888 г. стр. 290.

сопротивленія, то экстратокъ, происходящій вслѣдствіе самоиндукціи цѣпи, найдетъ себѣ путь, не проскакивая въ видѣ искры черезъ слой воздуха. Этотъ способъ предотвращать появленіе искры былъ впервые изобрѣтенъ Дерингомъ (Dering) въ 1854 г. Дерингъ предлагалъ употреблять сопротивленіе въ сорокъ разъ большее, чѣмъ сопротивленіе обмотки электромагнита. Этотъ же самый способъ былъ вновь вызванъ къ жизни Дюжарденомъ (Dujardin) въ 1864 году. Тутъ нельзя употреблять проволоку свернутой въ спираль, такъ какъ она обладала бы самоиндукціей и и разрядъ не пошелъ бы по ней. Съ большимъ успѣхомъ можно употреблять весьма тонкую платиновую проволоку или даже черту сдѣланную графитовымъ карандашемъ по шероховатой поверхности. Капля воды, въ которую погружены платиновыя проволоки, присоединенныя къ цѣпи по обѣ стороны прерывателя, тоже могутъ служить для названной цѣли. Авторъ этой книги предложилъ въ 1880 г. особаго рода прерыватель, въ которомъ въ отвѣтвленіи помѣщено весьма большое сопротивленіе. Теорія этихъ шунтовъ съ большимъ сопротивленіемъ очень проста. Пусть сопротивленіе обмотки электромагнита будетъ  $r$  омовъ, и токъ, по ней проходящій,  $i$  амперовъ. Положимъ далѣе, что мы рѣшили, что разность потенциаловъ на зажимахъ прерывателя не должна никогда превосходить  $E$  вольтовъ. Раздѣливъ  $E$  на  $i$ , мы получили величину сопротивленія  $R$ , при которой предѣлъ  $E$  будетъ достигнутъ только въ томъ случаѣ, если токъ сохранить свою полную силу  $i$ . Но введеніе такого сопротивленія само по себѣ прерываетъ токъ, который и уничтожается безъ искры. Для примѣра возьмемъ случай гдѣ сила тока  $i = 0,05$  ампера и пусть предѣльная величина  $E$  будетъ равна 300 вольтамъ. Отсюда величина сопротивленія  $R$ , которое надо употребить, не должна превосходить  $300 \div 0,05$ , т. е. 6000 омовъ. Слѣдовательно это сопротивленіе въ данномъ случаѣ въ шестьдесятъ разъ больше сопротивленія обмотки электромагнита.

*в) Шунтированіе конденсаторомъ.* Тутъ можетъ быть два случая. Конденсаторъ ссоотвѣтствующей емкости можно помѣстить въ отвѣтвленіи или (I) между зажимами прерывателя, или (II) между зажимами самого электромагнита.

Если употребить конденсаторъ достаточной емкости, то помѣстивъ его въ отвѣтвленіи, между зажимами самого электромагнита,



можно совершенно уничтожить дѣйствиіе самоиндукціи обмотки, но нельзя уничтожить замедляющее дѣйствиіе самой обмотки. Если помѣстить конденсаторъ въ отвѣтвленіи между тѣми частями цѣпи, между которыми она будетъ прервана, то онъ повліяетъ на токъ при его замыканіи, такъ какъ въ конденсаторѣ произойдетъ тоже короткое замыканіе. Но при размыканіи цѣпи, онъ уменьшитъ размѣры искры, такъ какъ увеличеніе емкости оконечностей, понижаетъ ихъ потенциалы. Если емкость конденсатора не достаточно велика, въ сравненіи съ самоиндукціей цѣпи, то искра не уничтожается совершенно. Если же она равна, или больше чѣмъ  $C = 4L \div R^2$ , то искры совсѣмъ не будетъ, а разрядъ будетъ просто колебаться по проволокаѣ, входя въ конденсаторъ и выходя, пока не уничтожится. Третій способъ употреблять конденсаторъ состоитъ въ томъ, что его помѣщаютъ въ отвѣтвленіе между концами простаго сопротивленія, которое само помѣщено или въ цѣпь или между зажимами прерывателя. Первый, предложившій пользоваться комбинаціей большаго сопротивленія и конденсатора, былъ Гельмгольцъ \*).

с) *Шунтированіе вольтаметромъ или жидкимъ сопротивленіемъ.* Д'Арсонваль придумалъ устраивать для экстратока путь, непронимый для тока обыкновенной электродвижущей силы, но вполне доступный для тока съ большой электродвижущей силой, происходящаго отъ самоиндукціи. Рядъ небольшихъ вольтметровъ, помѣщенныхъ въ отвѣтвленіе между зажимами прерывателя, можетъ, если только число вольтмеровъ достаточно велико, вполне прервать обыкновенный токъ. Напримѣръ, если электродвижущая сила работающей батареи равна 10 вольтамъ, то рядъ изъ шести элементовъ со свинцовыми пластинками (которыя могутъ давать, поляризуясь подобно аккумуляторамъ, по 2 вольта) для тока этой батареи будетъ не проникаемъ. Онъ будетъ проникаемъ только для тока, напряженіе котораго больше 12 вольтъ.

д) *Предохранители, основанные на взаимной индукціи.* Въ 1867 г Варлей (Varley) предложилъ, для уменьшенія вліянія самоиндукціи, окружать сердечникъ мѣднымъ листомъ. Дѣйствиіе такого замкнутаго проводника, окружающаго сердечникъ, было объяснено въ началѣ этой главы. Въ 1878 году Брѣшъ (Brush) примѣнилъ этотъ способъ къ электромагнитамъ въ своихъ динамомашинахъ.

\* См. прибавленіе VIII къ книгѣ Гельмгольца «Über die Tonempfindungen».

Въ 1870 г. Пэнь и Фростъ (Paine and Frost) нѣсколько измѣнили этотъ способъ, прокладывая слой изъ металлической фольги между каждыми двумя послѣдовательными слоями обмотки. Этотъ же способъ пользоваться взаимной индукціей примѣнилъ въ 1887 году и Д-ръ Аронъ (Aron) въ Берлинѣ. Система эта обладаетъ тѣмъ недостаткомъ, что она увеличиваетъ возможность порчи изоляціи.

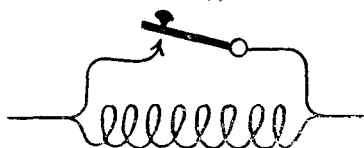
е) *Способы, основанные на примѣненіи «короткихъ замыканій».* При примѣненіи этихъ способовъ цѣпь никогда не размыкается, но между концами обмотки электромагнита помѣщено отвлѣченіе съ очень слабымъ сопротивленіемъ. Если замкнуть ключъ въ этомъ сопротивленіи, то весь токъ пойдетъ черезъ него, а не черезъ обмотку электромагнита. Чтобы привести электромагнитъ въ дѣйствіе, надо разомкнуть этотъ ключъ. (Фиг. 199). При этомъ

расположеніи происходитъ совершенно обратное тому, что бываетъ въ обыкновенныхъ случаяхъ. Когда ключъ замыкается, то въ сердечникѣ нѣтъ магнетизма, который уменьшаясь, произвелъ бы разрядъ, поэтому при замыканіи и не произойдетъ искры. При

замыканіи ключа тоже не появится искры, если магнетизмъ въ сердечникѣ начинаетъ уменьшаться только послѣ того, какъ цѣпь будетъ замкнута. Этотъ способъ хорошъ только тогда, когда сопротивление и индуктивность отвлѣченія дѣйствительно незначительны. Кромѣ того онъ не предотвращаетъ появленія искры, зависящихъ отъ самоиндукціи другихъ частей цѣпи. Этотъ способъ можно примѣнять съ большимъ успѣхомъ для электромагнитовъ, предназначенныхъ для дуговыхъ лампъ и вообще въ тѣхъ цѣпяхъ, гдѣ токъ постояненъ.

ф) *Дифференціальная обмотка.* Электромагнитъ по этому способу, снабжается двумя отдѣльными обмотками, намотанными въ противоположныхъ направленіяхъ и соединенными такъ, чтобы токъ проходилъ вокругъ сердечника въ двухъ противоположныхъ направленіяхъ. Число оборотовъ въ обѣихъ обмоткахъ должно быть одно и то же. Сдѣлать такія обмотки можно различными способами, но лучше всего обмотать сердечникъ двумя отдѣль-

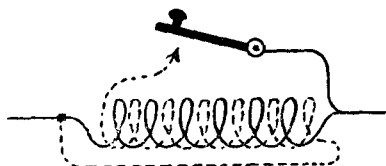
Фиг. 199.



Электромагнитъ съ шунтомъ малаго сопротивленія.

ными, хорошо изолированными проволоками, положивъ ихъ рядомъ. Одна изъ этихъ обмотокъ помѣщается непосредственно въ цѣпи, другая же помѣщается въ отвлѣтленіи и снабжается прерывателемъ (фиг. 200). Когда прерыватель разомкнутъ, то токъ про-

Фиг. 200.



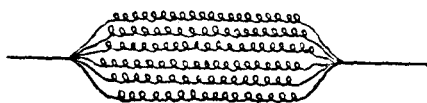
Дифференціальная обмотка.

ходить только по одной обмоткѣ и намагничиваетъ сердечникъ. Когда же прерыватель замкнутъ, то токъ развѣтвляется, половина тока проходитъ по одной обмоткѣ, другая половина по другой. При этомъ намагничиваніе, производимое одной, уничтожается дру-

гой. Этотъ способъ обладаетъ всѣми преимуществами методовъ, основанныхъ на «короткомъ замыканіи», но зато онъ требуетъ большаго количества мѣдной проволоки. Онъ даже болѣе совершененъ, чѣмъ предыдущіе, такъ какъ уничтожаетъ искру, которая происходитъ отъ дѣйствія самоиндукціи другихъ частей цѣпи. Этотъ методъ былъ съ большимъ успѣхомъ примѣненъ въ электрическихъ звонкахъ Жолина (Jolin) въ Бристолѣ.

г) Сложная обмотка. Ландонъ Дэвисъ (Landon Davis) изобрѣлъ для электромагнитовъ въ передатчикахъ своего гармонического телеграфа (или фонофора) особый родъ обмотки, называемый «сложною обмоткою» (фиг. 201). На катушку наматывается

Фиг. 201.



Сложная обмотка.

нѣсколько (отъ четырехъ до двадцати) отдѣльныхъ слоевъ тонкой проволоки. Для каждаго слоя берется особая проволока и всѣ онѣ наматываются въ одномъ направленіи, не возвращаясь назадъ, какъ въ обыкновенныхъ электромагнитахъ. Когда всѣ обмотки

помѣщены на катушку, то онѣ соединяются параллельно такъ, чтобы всѣ проволоки дѣйствовали бы какъ одна проволока большаго поперечнаго сѣченія. Въ этомъ случаѣ «постоянныя времени» различныхъ отдѣльныхъ обмотокъ не равны между собой, такъ какъ вслѣдствіе того, что эти обмотки различныхъ диаметровъ, коэффициентъ самоиндукціи внѣшнихъ слоевъ нѣсколько меньше, а сопротивление ихъ нѣсколько больше (такъ какъ проволоки въ нихъ

длиннѣе), чѣмъ соотвѣтственныя величины для внутреннихъ слоевъ. Поэтому экстратоки появляются въ этихъ обмоткахъ одновременно и вся электродвижущая сила, происходящая отъ самоиндукціи никогда не увеличивается до значительной степени, и поэтому она не въ состояніи произвести искру, которая могла бы проскочить черезъ толстый слой воздуха и быть столь яркой, какъ при обыкновенной обмоткѣ.

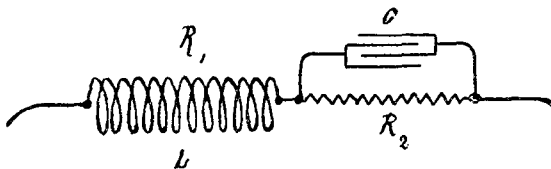
### Сравненіе различныхъ способовъ уничтоженія искръ.

Авторъ этой книги изслѣдовалъ пять катушекъ одинаковыхъ размѣровъ, въ которыя вкладывался одинъ и тотъ же сердечникъ, но обмотки которыхъ были сдѣланы различнымъ образомъ. Первая катушка была обмотана обыкновеннымъ образомъ, во второй сердечникъ былъ покрытъ мѣднымъ листомъ, въ третьей между слоями обмотки были проложены фольговые слои, четвертая была снабжена дифференціальной обмоткой и наконецъ пятая была снабжена сложной обмоткой. Катушка съ дифференціальной обмоткой не давала совершенно никакой искры. Послѣ нея по качеству идетъ пятая катушка со сложной обмоткой, затѣмъ катушка со слоями фольги. Четвертое мѣсто занимаетъ катушка съ сердечникомъ, обернутымъ мѣднымъ листомъ и наконецъ пятое — катушка съ обыкновенной обмоткой.

### Компенсация самоиндукціи въ цѣпи.

Самоиндукцію электромагнита можно вполне компенсировать, вводя въ цѣпь, какъ показано на фиг. 202, конденсаторъ и сопротивление.

Фиг. 202.



Компенсация самоиндукціи въ электромагнитѣ.

зовемъ черезъ  $L$ , сопротивление его обмотки — черезъ  $R_1$ , емкость конденсатора черезъ  $C$ , и сопротивление отвѣтвленія черезъ  $R_2$ , то дѣйствіе электромагнита будетъ вполне компенсировано, если будетъ выполнено условие

$$CR_1 R_2 = L.$$

## ГЛАВА XV.

### *Примѣненіе электромагнитовъ къ хирургіи.*

Примѣненіе стальныхъ магнитовъ и электромагнитовъ къ глазнымъ операціямъ извѣстно уже съ давнихъ поръ. Дѣйствительно уже двѣсти лѣтъ тому назадъ употребляли естественные магниты для извлеченія изъ глазнаго яблока кусочковъ желѣза, которые часто попадаютъ туда у рабочихъ при точеніи и вообще при обработкѣ желѣза. Въ 1745 году докторъ Мильнесъ (Milnes) въ своей книгѣ «Observations of Medicine and Surgery» описываетъ, какъ онъ употреблялъ естественный магнитъ для извлеченія кусочка желѣза, попавшаго въ радужную оболочку глаза. Но вѣроятно, что кусочекъ желѣза попалъ не въ радужную, а въ роговую оболочку, такъ какъ Мильнесъ говоритъ, что «кусочекъ желѣза сейчасъ же выскочилъ вонъ». На основаніи свидѣтельства Гиршберга (Hirschberg), мы должны считать, что первымъ докторомъ, употребившимъ магнитъ для извлеченія кусковъ желѣза дѣйствительно изъ внутренности глазнаго яблока, былъ докторъ Мейеръ (Meyer) въ Минденѣ, который въ первый разъ сдѣлалъ эту операцію въ 1842 году.

Доктора: Критчетъ (Critchett), Диксонъ (Dixon), Вайтъ (White), Куперъ (Cooper) и другіе отмѣтили много случаевъ успѣшнаго извлеченія желѣза изъ глазъ при помощи магнита, случившихся въ серединѣ текущаго столѣтія. Затѣмъ кажется эта отрасль хирургіи не сдѣлала особенныхъ успѣховъ до 1874 года, когда докторъ Макъ-Кеонъ (Mc Keown) изъ Бельфаста, описалъ въ *British Medical Journal*, нѣсколько случаевъ удачнаго лѣченія при помощи постоянного магнита, концами котораго, для большаго удобства, была придана коническая форма. Въ 1880 г. Грюенлингъ (Gruening) въ Нью-Йоркѣ употреблялъ для этой цѣли магнитъ, состоящій изъ нѣсколькихъ «цилиндровъ» (*sic*), соединенныхъ между собою на концахъ и снабженный полюснымъ наконечникомъ, имѣвшимъ форму иглы.

Первымъ употребившимъ для цѣлей глазной хирургіи электромагнитъ былъ Гиршбергъ въ Берлинѣ въ 1877 году.

Въ Англіи, главнымъ защитникомъ употребленія электромагнитовъ для цѣлей глазной хирургіи, былъ Снелль (Snell) въ Шефильдѣ. Въ его рукахъ этотъ способъ давалъ блестящіе результаты. Въ *British Medical Journal* за 1881 годъ, онъ описалъ свой инструментъ и привелъ результаты многихъ операцій. Онъ продолжаетъ свои опыты и до сихъ поръ, и въ одномъ изъ новѣйшихъ нумеровъ названнаго журнала онъ писалъ, что число случаевъ примѣненія возрасло теперь до 77.

Инструментъ, требуемый для цѣлей глазной хирургіи, долженъ состоять изъ электромагнита, къ которому можно было бы прикрѣплять наконечники разныхъ удлинненныхъ формъ. Эти наконечники должны быть таковы, чтобы ихъ можно было вводить въ рану глаза на достаточную глубину и извлекать оттуда кусочки желѣза. Кромѣ того нужно, чтобы хирургъ могъ удобно держать этотъ электромагнитъ въ рукѣ и, чтобы инструментъ могъ возбуждаться токомъ, доставляемымъ батареей небольшихъ размѣровъ, съ которой хирургъ могъ бы управляться, самъ не приглашая каждый разъ опытнаго электрика. Понятно, что, при прочихъ равныхъ условіяхъ, желательнее, чтобы электромагнитъ обладалъ возможно большей силой, поэтому лучше употреблять электромагниты съ длинными сердечниками, чѣмъ съ короткими и даже полезно дѣлать сердечники утолщающимися на заднемъ концѣ. Иногда, помѣщая у задней части головы пациента кусочекъ желѣза, можно заставить магнитное поле электромагнита проникнуть дальше въ глубь. Различные экспериментаторы предлагали употреблять различныя формы электромагнитныхъ инструментовъ.

Инструментъ Снелля, который можно считать типомъ подобнаго рода инструментовъ и который часто употребляется англійскими хирургами, состоитъ изъ сердечника, сдѣланнаго изъ мягкаго желѣза, окруженнаго обмоткой изъ изолированной мѣдной проволоки, и помѣщеннаго въ эбонитовую коробку. На одномъ концѣ инструмента сдѣланы зажимы для соединенія обмотки съ батареей. Сердечникъ на противоположномъ концѣ снабженъ винтовой нарезкой, чтобы на него можно было навинчивать наконечники различныхъ формъ и размѣровъ. Для доставленія тока Снелль предлагаетъ употреблять одинъ элементъ съ двуххромосильнымъ калиемъ. Инструментъ Гиршберга состоитъ изъ по-

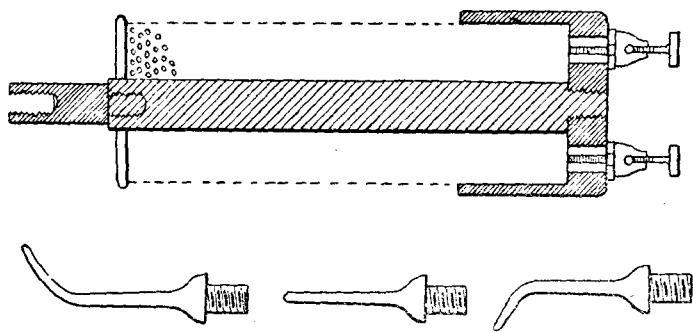
лаго цилиндрическаго сердечника, съ двумя изогнутыми заостренными наконечниками различныхъ размѣровъ, для внѣшняго и внутренняго употребленія.

Брадфордъ (въ Бостонѣ) изобрѣлъ приборъ, который имѣетъ много общаго съ приборами Снелля и Гиршберга, но удобнѣе и сильнѣе ихъ.

Макъ-Гарди (Mac-Hardy) докторъ въ King's College Hospital употребляетъ такой же приборъ, но меньшихъ размѣровъ и болѣе легкій.

Новѣйшій приборъ устроенъ Томпсономъ (Tatham Thompson) и представляетъ изъ себя видоизмѣненіе прибора Снелля, но въ которомъ, при томъ же вѣсѣ и при тѣхъ же размѣрахъ, развивается бѣльшая сила. Это достигнуто улучшеніемъ магнитной цѣпи, при помощи желѣзнаго кольца, надѣтаго на одинъ изъ концовъ электромагнита и соединеннаго съ сердечникомъ (см. фиг. 203).

Фиг. 203.



Электромагнитъ для извлеченія изъ глаза обрѣзковъ желѣза.

На противоположномъ концѣ сердечника сдѣлана винтовая нарѣзка для того, чтобы можно было привинчивать наконечники различной формы, смотря по надобности. Батарея, которую употребляютъ съ этимъ инструментомъ, состоитъ изъ одного элемента съ двухромокислымъ калиемъ. На фигурѣ приборъ представленъ въ натуральную величину. Онъ вѣситъ всего около 5 унцій.

Чаще всего этотъ инструментъ употребляется для извлеченія кусочковъ желѣза, попавшихъ въ верхніе или внутренніе глазные

покровы. Употребляя электромагнитъ, можно избѣжать дѣланія прорѣзовъ въ глазу, которые необходимы при употребленіи щипцовъ и тому подобныхъ инструментовъ, и вообще этотъ способъ извлеченія желѣза изъ глаза имѣетъ то преимущество, что при немъ происходитъ наименьшее раздраженіе глаза. Но особенно рѣзко преимущество этого способа высказывается при извлеченіи кусочковъ стали или желѣза, которые проникли въ глубь самаго глаза. Я думаю, что могу, сказать, ничего не преувеличивая что электромагнитный приборъ есть единственный, при помощи котораго можно сдѣлать эту операцію.

Кромѣ того, употребляя электромагнитные инструменты, можно узнать, кусочекъ какого металла попалъ въ глазъ. Если же при приближеніи инструмента, попавшій кусочекъ не перемѣщается и пациентъ не чувствуетъ острой боли, то можно быть увѣреннымъ, что попавшій кусочекъ не изъ магнитнаго вещества, или что воспаленныя ткани плотно окружили его. Если подвѣсить очень легкую намагниченную иголку и поднести ее къ глазу, то можетъ случиться, что она отклонится въ сторону попавшаго въ глазъ кусочка. Если можно предполагать, что въ глазъ попалъ кусочекъ стали, то это явленіе можно еще усилить, подержавъ предварительно близко къ глазу магнитъ, чтобы такимъ образомъ намагнитить попавшій кусочекъ.

Далѣе, описанный приборъ можетъ оказать громадную услугу, перемѣстивъ кусочекъ изъ части глаза, куда трудно попасть инструменту, въ другую его часть, откуда уже кусочекъ возможно будетъ вынуть. Напримѣръ положимъ, что кусочекъ желѣза или стали прошелъ сквозь роговую оболочку и застрялъ въ хрусталикѣ. Часто случалось, что приставляя къ роговой оболочкѣ электромагнитъ, можно заставить кусочекъ выйти изъ хрусталика и пройти сквозь жидкость, заключающуюся во внѣшней глазной камерѣ. Разомкнувъ токъ, можно уронить этотъ кусочекъ внизъ камеры и затѣмъ, сдѣлавъ въ соответствующемъ мѣстѣ разрѣзъ и введя черезъ него наконечникъ инструмента, вынуть изъ глаза попавшій кусочекъ.

Въ одномъ изъ недавно описанныхъ случаевъ, удалось заставить обрѣзокъ, попавшій въ хрусталикъ, пройти сквозь радужную и роговую оболочку и вынуть его, не сдѣлавъ ни одного прорѣза.



Но лучше всего проявляются свойства электромагнитныхъ инструментовъ при извлеченіи тѣлъ, проникнувшихъ до задней стѣнки стекловиднаго тѣла. Въ случаяхъ, когда желѣзный кусочекъ попалъ только во внѣшнюю камеру глаза или въ хрусталикъ, для его извлеченія можно съ успѣхомъ примѣнять и другія средства, но когда кусочекъ проникъ внутрь стекловиднаго тѣла, то намъ необходимъ инструментъ, которымъ бы не приходилось шарить слѣпо, разрушая нѣжныя ткани и рискуя выпустить полужидкое вещество, но нуженъ инструментъ, который притянувшись бы самъ къ себѣ искомый кусочекъ. А этимъ свойствомъ обладаютъ только инструменты электромагнитные.

Доктора Шнелль, Гиршбергъ, Ллойдъ Овенъ, Макъ-Гарди и и другіе, имѣли случай, пользуясь такими инструментами, извлекать изъ глазъ кусочки стали, которые иначе пришлось бы оставлять въ глазу.

Самыми серьезными и опасными случаями считаются тѣ, когда металлическій кусочекъ прошелъ во внутреннюю глазную камеру и попалъ въ нѣжную ретину или заднюю зрачковую оболочку. Насколько извѣстно, было только три случая извлеченія изъ глаза такого кусочка. Въ первый разъ эта операція была сдѣлана Галевъскимъ въ 1882 году. Желѣзный кусочекъ прошелъ сквозь роговую оболочку, радужную оболочку, хрусталикъ и застрялъ въ ретинѣ. Его положеніе было опредѣлено при помощи офтальмоскопа, т. е. инструмента, употребляемаго глазами врачами для наблюденія внутренности глаза, затѣмъ былъ сдѣланъ въ склеротикѣ прорѣзь и желѣзный кусочекъ вынутъ при помощи электромагнита. Вторая операція была произведена Гиршбергомъ въ 1888 году, третья Татамъ Томпсономъ въ Кардифѣ въ 1890. Мы опишемъ послѣднюю нѣсколько детально для того, чтобы показать, какъ примѣняется этотъ методъ.

Пациентъ былъ кузнецъ, служившій на каменноугольныхъ копяхъ въ Южномъ Уэльсѣ. Кусочекъ желѣза попалъ ему въ глазъ 8-го декабря въ то время, когда онъ дѣлалъ новый заступъ. Осколокъ попалъ въ склеротику или глазной бѣлокъ и вошелъ на глубину около  $\frac{1}{4}$  дюйма отъ роговой оболочки. Пострадавшій сначала испытывалъ легкую боль, но черезъ два дня боль усилилась и онъ сталъ плохо видѣть не только пострадавшимъ глазомъ, но и здоровымъ. Тогда рабочій былъ отправленъ въ больницу

въ Кардифъ, куда онъ поступилъ 10 декабря. При изслѣдованіи его нашли небольшую ранку въ томъ мѣстѣ, гдѣ осколокъ вошелъ во внутреннюю часть глаза, а при офтальмоскопическомъ изслѣдованіи увидѣли и кусочекъ стали, засѣвшій въ ретинѣ. Слѣдъ пути, по которому онъ прошелъ черезъ стекловидное тѣло тоже былъ замѣтенъ, благодаря непрозрачнымъ частямъ, образовавшимся въ тѣлѣ. Неповрежденный глазъ тоже представлялъ всѣ признаки раздраженія. На слѣдующій день пациента подвергли дѣйствию эвѳира и расширили входную ранку настолько, чтобы черезъ нее можно было бы ввести полюсный наконечникъ электромагнита. Этотъ послѣдній ввели въ глазъ приблизительно по тому же направленію, по которому по предположенію шелъ осколокъ. Введя въ первый разъ инструментъ, не нашли ничего, но во второй разъ вытащили стальной осколокъ, который присталъ къ верхушкѣ полюснаго наконечника. При этомъ вытекло весьма немного стекловидной жидкости. Послѣ операціи на глазъ была наложена антисептическая повязка. Черезъ двадцать четыре часа больной могъ уже сосчитать пальцы на разстояніи четырехъ футовъ, боль исчезла и неповрежденный глазъ сталъ поправляться. Рана зажила въ три дня и 30 декабря больной могъ уже читать печатный шрифтъ среднихъ размѣровъ. При офтальмоскопическомъ наблюденіи, былъ ясно видѣнъ шрамъ, образовавшійся на ретинѣ въ томъ мѣстѣ, гдѣ былъ осколокъ, а также были видны слѣды поврежденія сосудовъ осколкомъ, когда онъ входилъ въ глазъ и когда его вынимали; 13 января больной могъ уже читать мелкій шрифтъ. Зрѣніе его стало столь же хорошимъ, сколько и раньше, но «поле зрѣнія» стало нѣсколько ограниченнымъ снизу, причѣмъ эта граница соотвѣтствовала части ретины, поврежденной осколкомъ.

Электромагниты употребляются также и въ обыкновенной хирургіи для извлеченія иголокъ изъ мягкихъ тканей тѣла и оконечностей.

## ГЛАВА XVI.

### *Постоянные магниты.*

Способность удерживать магнетизмъ, которою обладаетъ магнитный желѣзнякъ и твердая сталь, первая обратила вниманіе человѣчества на магнитныя явленія. Въ главѣ III, гдѣ говорится о свойствахъ желѣза и стали, приведены числовыя данныя относительно способности удерживать магнетизмъ, которою обладаютъ различные сорта желѣза и стали. Для того, чтобы сравнить между собою различные сорта стали и рѣшить, который изъ нихъ наиболѣе пригоденъ для выдѣлки постоянныхъ магнитовъ, необходимо знать два свойства этихъ сортовъ, именно: 1) *остаточность* или величину  $B$ , которая остается послѣ того, какъ сталь была подвержена дѣйствию значительной намагничивающей силы и 2) *понудительную (coercive) силу* или величину отрицательной намагничивающей силы  $H$ , которую нужно приложить, чтобы уменьшить остаточный магнетизмъ до нуля. Сила, которую нужно приложить для того, чтобы уничтожить въ какомъ нибудь образцѣ стали весь остаточный магнетизмъ, можетъ быть принята за мѣру способности этого образца удерживать постоянный магнетизмъ. Слѣдовательно для устройства постоянныхъ магнитовъ важно имѣть такіе сорта, которые обладали бы большой понудительной силой. Въ образцѣ отожженной стали, изслѣдованномъ Юингомъ, остаточность была 10500, а понудительная сила—24.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены величины остаточности и понудительной силы для различныхъ сортовъ желѣза и стали. Въмѣстѣ съ тѣмъ въ ней приведены свѣдѣнія о величинѣ временной намагничивающей силѣ, которой подвергались изслѣдованные образцы. Цифры взяты изъ изслѣдованій Юинга и Гопкинсона.

Въ опытахъ Юинга испытываемымъ образцамъ придавалась форма или длиннаго, сравнительно съ діаметромъ, куска проволоки или кольца.

Въ опытахъ Гопкинсона, употреблялись тонкіе цилиндрическіе стержни и изслѣдованія производились при помощи прибора описаннаго на стр. 73. Присутствіе соединительной полосы изъ мягкаго желѣза заставляло испытываемый образецъ дѣйствовать такъ, какъ будто бы онъ былъ безконечно большой длины, сравнительно съ своей толщиной.

## Остаточность и понудительная сила.

Сортъ образца.	Наблюдатель.	Наибольшая употреб. величин. Н.	Наибольшая полученная велич. В.	Остаточная величина В.	Понудительная сила.	Остат. I.	Удельное намагничиваніе.
Стальная проволока крѣпко вытянутая. . . . .	Юингъ.	57	14300	8200	16	652	84
Стальная проволока отожженная. . . . .	»	53	14600	11700	17,5	931	119
Стальная проволока самой твердой закалки . . . .	»	55	9400	6800	39	541	69
Фортепиан. стальн. струна закаленная нормально .	»	92	14600	11800	27	939	120
Фортепиан. стальн. струна отожженная. . . . .	»	94	14300	10500	24	836	107
Фортепиан. стальн. струна твердо закаленная. . .	»	98	12700	9600	41	747	98
Чугунъ . . . . .	»	16	3700	2600	8	207	26,5
Проволока изъ очень мягкаго желѣза. . . . .	»	17	13500	11000	1,9	875	112
Отожженное кованое желѣзо. . . . .	»	90	16200	12700	3	1010	129
Мягкая сталь Витворта отожженная . . . . .	Гопкинсонъ.	250	16120	10740	8,3	855	109
Мягкая сталь Витворта закаленная въ маслѣ. .	»	»	16120	8736	19,4	695	89
Хромовая сталь прокованная . . . . .	»	»	14680	7568	18,4	602	77
Хромовая сталь отожженная . . . . .	»	»	13233	6489	15,4	516	67
Хромовая сталь закаленная въ маслѣ. . . . .	»	»	12868	7891	40,8	628	81
Вольфрамовая сталь прокованная . . . . .	»	»	15718	10144	15,7	807	104
Вольфрамовая сталь отожженная. . . . .	»	»	16498	11008	1,3	876	112
Вольфрамовая сталь закаленная въ теплой водѣ.	»	»	15610	9482	30,1	755	97
Вольфрамов. сталь (франц.) закаленная въ маслѣ. .	»	»	14480	8663	47,1	687	88
Вольфрамовая сталь очень твердая . . . . .	»	»	12133	6818	51,2	542	69

Въ слѣдующей таблицѣ приведены нѣкоторыя величины для наибольшаго намагничиванія, удержаннаго существующими теперь стальными магнитами, намагниченными принятыми способами. Въ этой же таблицѣ даны и величины: «удѣльную намагничиванія»— $\sigma$ , или величины магнитнаго момента на граммъ.

*Наибольшія величины постоянною намагничиванія.*

Наблюдатель и матеріаль.	Остаточ. I.	Остаточ. B.	$\sigma$ .
Веберъ, обыкновенный стальной магнитъ . . . . .	314	3947	40
Фонъ-Вальтенгофенъ, вольфрамовая сталь, твердо закаленная . . . . .	369	4638	47
Шнеебель, швейныя иголки, длиною отъ 2,5 до 6,6 сант. и толщиною въ 0,06 сант. . . . .	557	7001	71,4
	671	8435	86
Шнеебель, вязальныя иглы, длин. отъ 19,8 до 21 сант. и толщин. отъ 0,083 до 0,175 сант. . . . .	765	9626	28
	832	10458	107
Гопкинсонъ, вольфрамовая сталь закаленная въ маслѣ . . . . .	687	8643	88
Гопкинсонъ, вольфрамовая сталь очень твердо закаленная . . . . .	542	6818	70
Юингъ, стальная проволока твердо закаленная	541	6800	69
» фортепiани. струна твердо закаленная	747	9600	98
Пери, сталь Джовитта (Jowitt's steel) . . . . .	1003	12600	129
Присъ, сталь Вадля (Wall's steel) . . . . .	120	1519	15,5
» » Ашворта (Ashforth's steel) . . . . .	143,5	1704	17,3
» » Сундерсона (Saunderson's steel)	114,2	1435	14,6
» » Джовитта (Jowitt's steel) . . . . .	109,6	1503	15,3
» » Виккера (Vicker's steel) . . . . .	93,4	1174	12
» » Крю (Crewe «заклепоч. сталь»)	14,8	186,6	1,9
» » » (Crewe «пружинн. сталь»)	110,5	1391	14,2
» » Клемандо (сжатая и отпущенн.)	170	2264	23,2
» » » (сжатая, но не отпущ.)	106,1	1333	13,6
» » Маршала . . . . .	202,2	2540	26
» » Аллеварда (закаленн. въ ртутн)	104,6	1315	13,4
» » » (закаленн. въ водѣ)	132,1	1660	16,9
Грей, магнитная сталь, твердо закаленная . . . . .	520	6536	66
Эвершедъ, сталь Вадля и Джовитта . . . . .	отъ 318	отъ 4000	отъ 41
	до 398	до 5000	до 51
Броунъ, магнитная сталь, твердо закаленная . . . . .	отъ 477	отъ 6000	отъ 61
	до 556	до 7000	до 72

Весьма важно замѣтить, что образцы, употребленные различными наблюдателями, были весьма различныхъ размѣровъ. Какъ было указано въ главѣ III, отношеніе длины къ діаметру имѣетъ большое вліяніе на величину временнаго намагничиванія какого нибудь образца. Это отношеніе еще больше вліяетъ на величину его постоянного намагничиванія. Шнеебели употреблялъ образцы, у которыхъ длина была отъ 100 до 800 разъ больше діаметра. Юингъ такіе, у которыхъ отношеніе длины къ діаметру было около 200. Гопкинсонъ устраивалъ опытъ такъ, что употребленные имъ полосы можно было считать за безконечно длинныя. Перри придавалъ изслѣдуемымъ образцамъ форму подковообразнаго магнита и приставлялъ къ полюсамъ арматуру изъ мягкаго желѣза. Грей \*) употреблялъ квадратныя полосы, длиною приблизительно въ 60 діаметровъ. Броунъ \*\*) пользовался цилиндрами, длиною отъ 33 до 37 діаметровъ. Наконецъ, Присъ \*\*\*) работалъ съ короткими квадратными полосами, длиною въ 10 сантиметровъ, и толщиною въ 1 сантиметръ. Результаты, данные Присомъ, получены, какъ средніе изъ изслѣдованій нѣсколькихъ образцовъ даннаго сорта, а не представляютъ изъ себя лучшія числа, данныя каждымъ образцомъ. Напримѣръ, средняя остаточная величина  $B$  для стали Маршала дана равной 2540, тогда какъ для лучшаго изъ испытанныхъ магнитовъ, сдѣланныхъ изъ стали этого сорта, она была 2835.

Числа, находящіяся въ первомъ столбцѣ послѣдней таблицы, представляютъ величины *остаточнаго магнитнаго момента на кубическій сантиметръ вещества* (въ единицахъ С. G. S.). Они получаются изъ величинъ  $B$ , если раздѣлить эти послѣднія на  $4\pi$ . Многіе ученые въ Европѣ предпочитаютъ давать *магнитный моментъ на граммъ вещества*. Эта послѣдняя величина называется также *удѣльнымъ намагничиваніемъ* вещества. Если плотность вещества извѣстна, то удѣльное намагничиваніе ( $\sigma$ ), можетъ быть вычислено изъ остаточнаго  $I$ , если раздѣлить это послѣднее на величину плотности. Напримѣръ, взявъ цифру Грэя, т. е. 9804 для остаточнаго  $B$ , и раздѣливъ ее на  $4\pi$ , получимъ величину остаточнаго  $I$ .

\*) Phil. Mag. Dec. 1885.

\*\*) Phil. Mag. May. 1887.

\*\*\*) The Electrician XXV p. 547 Sept. 1890.

Раздѣливъ же эту послѣднюю величину на 7,8 (предполагаемую плотность стали), получимъ для удѣльнаго намагничиванія величину 100. Изъ предыдущей таблицы видно, что удѣльнымъ намагничиваніемъ больше 100 обладали только образцы, изслѣдованные Шнеебели и Перри. Опыты Приса надъ короткими магнитами, длина которыхъ равнялась 10 діаметрамъ, показали, что удѣльное намагничиваніе такихъ магнитовъ мѣнялось отъ 2 (для «заклепочной стали» Крю) до 26 (для стали Маршала). Юингъ, употребляя громадныя намагничивающія силы, которыя позволяли доводить временную величину В и въ ловмурскомъ и шведскомъ желѣзѣ до 30000 и больше (см. главу III), нашелъ, что остаточная величина В равнялась для этихъ сортовъ желѣза 500 (ловмурское) и 515 (шведское). Для чугуна она равнялась только 400. Среднія величины остаточнаго I для этихъ сортовъ желѣза и чугуна были соответственно 40, 32 и 30. Удѣльное намагничиваніе мѣнялось между 6 и 5. Дю-Буа, употребляя тоже магнитное поле громадной напряженности, нашелъ, что остаточное удѣльное намагничиваніе для полученнаго электролитическимъ путемъ никеля, равняется 10,6, а для электролитическаго желѣза мѣняется между 70 и 106.

### Зависимость между постояннымъ магнетизмомъ и химическимъ составомъ.

Многіе изъ упомянутыхъ выше изслѣдователей даютъ химическій составъ тѣхъ образцовъ, надъ которыми они производили свои изслѣдованія. Особенно важны данныя Голкинсона \*), который приводитъ подробные анализы сортовъ стали, давшихъ наилучшіе результаты. Мы приводимъ составъ хромовой и вольфрамовой стали.

#### *Хромовая сталь.*

<i>Жельзо</i> . . . . .	97,893
<i>Углеродъ</i> . . . . .	0,687
<i>Марганецъ</i> . . . . .	0,028
<i>Сфра</i> . . . . .	0,020

\*) Phil. Tran. 1886 pt. II, p. 455.

Кремній . . . . .	0,134
Фосфоръ . . . . .	0,043
Хромъ . . . . .	1,195

*Вольфрамовая сталь:*

Жельзо . . . . .	95,371
Углеродъ . . . . .	0,511
Марганецъ . . . . .	0,625
Кремній . . . . .	0,021
Фосфоръ . . . . .	0,028
Вольфрамъ . . . . .	3,444

## Вліяніе закалки, отпусканiя, частичнаго строенiя и формы магнита.

При приготовленiи постоянныхъ магнитовъ всегда слѣдуетъ обращать столько же вниманiя на способъ отпусканiя стали, сколько и на ея химическiй составъ. Многіе мастера имѣютъ свои любимыя способы закалки и отпусканiя \*), и многіе изъ нихъ обладаютъ нѣкоторыми особенностями. Невозможно дать общаго правила, которому можно бы было слѣдовать всегда и во всѣхъ случаяхъ, такъ какъ процессъ, который наиболѣе пригоденъ для одного сорта стали, вполне отличается отъ процесса, наиболѣе пригоднаго для другаго сорта. Кромѣ того, какъ будетъ видно изъ послѣдующаго, лучшiй способъ отпусканiя *короткихъ* магнитовъ, далеко не будетъ лучшимъ для отпусканiя магнитовъ *длинныхъ* и *подковообразныхъ*. Во всякомъ случаѣ нѣтъ никакого сомнѣнiя, что весьма желательно во всѣхъ случаяхъ имѣть очень мелкозернистое и однородное строенiе стали, такъ какъ всякiй недостатокъ однородности значительно ухудшаетъ качества магнита. Неопытный кузнецъ, приготовляя магнитъ, можетъ совершенно испортить его строенiе, проковавъ его слишкомъ сильно и неравномѣрно. Обыкновенно принято думать, что чѣмъ тверже сталь, тѣмъ больше она удерживаетъ остаточнаго магнетизма. Но подъ именемъ удерживающей способности надо различать два качества: нѣкоторые сорта стали, послѣ намагничиванiя, удерживаютъ

\*) Отпусканiе стали состоитъ въ томъ, что послѣ закаливанiя, ее вновь нагрѣваютъ и тѣмъ дѣлаютъ болѣе мягкой.



большое количество остаточного магнетизма, который однако замѣтно уменьшается по прошествіи нѣсколькихъ мѣсяцевъ и даже недѣль. Въ другихъ сортахъ стали остаточный магнетизмъ, послѣ намагничиванія, будетъ меньше, но онъ сохранится гораздо дольше. Вопросъ о постоянствѣ удержаннаго магнетизма будетъ разсмотрѣнъ впоследствии.

Существуютъ два способа закаливать сталь. Первый состоитъ въ томъ что, нагрѣтую до ярко-краснаго каленія, сталь быстро охлаждають. Во второмъ способѣ—медленно охлаждающуюся сталь подвергаютъ громадному давленію, производимому гидравлическими аппаратами. При закаливаніи по первому способу, который наиболѣе распространенъ, внѣшніе слои охлаждаются внезапно, въ то время какъ внутренніе сохраняютъ еще нѣкоторую пластичность и, вѣроятно, внѣшніе слои, сокращаясь сжимають внутренніе. Закаливаніе, по второму способу, не будетъ столь сильнымъ, но зато будетъ болѣе однороднымъ во всей массѣ. Можно кромѣ того закаливать проволоки, какъ извѣстно, просто подвергая ихъ продольному растяженію, но этотъ способъ закаливанія не примѣняется при производствѣ магнитовъ. Если нагрѣтъ тонкій стальной пруть до ярко-краснаго каленія, или даже до бѣлаго каленія, и затѣмъ быстро погрузить его въ воду, въ масло, или лучше всего, въ ртуть, то стальной пруть становится крайне твердымъ и хрупкимъ и поэтому часто трескается во время производства самой операціи закаливанія. Въ этомъ состояніи сталь называется *закаленной (glass-hard)*. Если такую сталь вновь нагрѣтъ на непродолжительное время до температуры гораздо ниже темно-краснаго каленія, то она станетъ нѣсколько мягче, и ея поверхность пріобрѣтетъ нѣкоторую, палево-желтоватую, окраску. Отпущенная такимъ образомъ сталь носитъ названіе стали съ *соломенной окраской (straw-colour)*. Если продолжать нагрѣваніе температуры, недостающее темно-краснаго каленія нѣсколько дальше, то сталь пріобрѣтаетъ *синеватый* оттѣнокъ. Въ такомъ состояніи сталь употребляется для производства стальныхъ пружинъ, перьевъ и во всѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется нѣкоторая упругость. Если нагрѣваніе продолжать еще дальше, то сталь становится мягкой, такъ какъ, благодаря продолжительному нахожденію при температурѣ темно-краснаго каленія, она *отжигается*. Если бы было вѣрно, что чѣмъ тверже магнитъ, тѣмъ онъ лучше, то

никто бы никогда не подвергалъ стали отпусканію, но всѣ употребляли бы самую твердую сталь. На практикѣ, однако, оказалось, что самая твердая сталь далеко не самая лучшая для устройства магнитовъ.

Опредѣленіе степени закалки стали по ея окраскѣ конечно крайне неточно и неопредѣленно. Однако, къ счастью, было найдено, что сталь обладаетъ другимъ свойствомъ, которое можно измѣрять и которое пропорціонально степени закалки. Это свойство — электрическое сопротивленіе. Барусъ (Barus)\*), изслѣдовавшій этотъ фактъ, и Фромме \*\*) (Fromme) показали, что эти два свойства стали находятся въ близкомъ соотношеніи, Стругаль (Strouhal) и Барусъ \*\*\*) примѣнили его для опредѣленія различныхъ степеней закалки различныхъ образцовъ стали, подвергавшихся намагничиванію. Для примѣра они приводятъ для одного изъ образцовъ стали слѣдующія величины:

СОСТОЯНІЕ.	Удѣльное сопротивленіе въ микроомахъ на кубическій сантиметръ.
Закаленная сталь . . . . .	45,7
Яркой соломенной окраски . . . . .	28,9
Соломенной окраски . . . . .	26,3
Синеватой окраски . . . . .	20,5
Яркой синеватой окраски . . . . .	18,4
Мягкая сталь . . . . .	15,9

При всякомъ изслѣдованіи зависимости между твердостью и удерживающей способностью, необходимо обращать вниманіе на форму магнита, потому что, какъ было уже раньше сказано, короткіе и длинные магниты обладаютъ различными свойствами. Почти во всѣхъ опытахъ, касавшихся этого вопроса, стальные полосы или проволоки имѣли или квадратное или круглое сѣченіе, чаще послѣднее. Поэтому наиболѣе подходящій способъ

\*) Wied. Annalen VII, 1879 p. 411.

\*\*) Ibid. VIII, 1879 p. 352.

\*\*\*) Ibid. XX, 1883 p. 525.

описать форму прямого магнита состоитъ въ томъ, чтобы сказать, во сколько разъ его длина превосходитъ діаметръ. Въ нѣкоторыхъ изъ опытовъ Юинга надъ мягкимъ желѣзомъ (см. главу III), употреблялись полосы длиною отъ 50 до 200 діаметровъ. Результаты этихъ опытовъ, выраженные кривыми на фиг. 40, показываютъ, что хотя степень временнаго намагничиванія для всѣхъ образцовъ была одна и та же, тѣмъ не менѣе, болѣе длинныя полосы обладали большей остаточностью, чѣмъ полосы короткія. Условимся обозначать отношеніе длины къ діаметру знакомъ  $\delta$ . Нѣсколько весьма важныхъ изслѣдованій надъ стальными магнитами, которые дѣлались болѣе твердыми посредствомъ растягиванія, произвелъ Шеезманъ (Cheesman)\*. Употребивъ англійскую проволоку изъ «серебряной-стали» (silver-steel) фабрики Кука, діаметромъ въ 1,28 миллиметра и длиною въ 90 миллиметровъ, ( $\delta = 70$ ), которая намагничивалась прикосновеніемъ къ большому электромагниту, онъ нашель, что становясь, благодаря растяженію, болѣе твердой, магнитъ удерживаетъ *меньшее* количество постоянного магнетизма. Намагничиваніе въ этихъ опытахъ производилось послѣ каждаго растяженія.

	Разтягивающій грузъ въ килограммы.	Удѣльное намаг- ничиваніе.
Мягкая сталь . . . . .	0	78,1
Болѣе твердая . . . . .	30	77,3
Еще болѣе твердая . . . . .	60	70,8
Еще болѣе твердая . . . . .	70	63,7
(Проволока порвалась). . . . .	75	55,6

Въ другой серіи опытовъ, длина проволоки мѣнялась.

Отношеніе размѣровъ $\delta$ .	Удѣльное намагнитиваніе	
	Мягкая.	Твердая.
22,5	16,4	18,0
40,4	48,0	48,4
58,6	75,6	60,4

\*) Cheesman «Ueber den Einfluss der mechanischen Härte auf die magnetischen Eigenschaften des Stahles und des Eisens». Wied. Ann. XV und XVI.

Изъ этихъ и другихъ многочисленныхъ опытовъ, Шеезманъ вывелъ, что въ короткихъ магнитахъ, когда они становятся болѣе твердыми, задерживающая способность увеличивается, въ магнитахъ же длинныхъ — наоборотъ уменьшается. Критической величиной  $\delta$  для изслѣдованнаго сорта стали, онъ считаетъ 41.

Стругаль и Барусъ (Strouhal and Barus) произвели болѣе обстоятельныя изслѣдованія, принявъ во вниманіе и вопросъ объ отпусканіи стали. Для своихъ опытовъ они употребляли различные сорта желѣза и стали, но тѣ результаты, которые мы теперь приведемъ здѣсь, относятся къ магнитамъ, сдѣланнымъ изъ проволоки, вытянутой изъ «серебрянной стали» завода Кука въ Шефилдѣ. Диаметръ проволоки былъ 1,48 миллиметра, ея плотность 7,7. Изъ этой проволоки было приготовлено пять магнитовъ, длина которыхъ измѣнялась отъ 10 до 50 диаметровъ. Сначала эти магниты закалялись наивозможно крѣпче быстрымъ погруженіемъ въ воду и затѣмъ намагничивались. Послѣ этого они подвергались ряду процессовъ, причемъ они намагничивались каждый разъ вновь, при помощи катушки, по которой проходилъ токъ, въ 30 амперовъ, доставлявшійся динамомашинной, и ихъ магнетизмъ отъ времени до времени измѣрялся магнитометромъ. Процессы эти были слѣдующіе. Магниты нагрѣвались а) въ парахъ воды при  $100^{\circ}$  въ продолженіи одного, двухъ, трехъ и четырехъ часовъ; в) въ парахъ анилина при  $185^{\circ}$  въ продолженіи двадцати минутъ, одного, двухъ, четырехъ и шести часовъ; с) въ расплавленномъ оловѣ при  $240^{\circ}$ ; d) въ расплавленномъ свинцѣ при  $330^{\circ}$ ; e) въ расплавленномъ цинкѣ при  $420^{\circ}$  (эта послѣдняя температура есть температура темно краснаго каленія); f) до температуры темно краснаго каленія до тѣхъ поръ, пока сталь не становилась вполне мягкою. Результаты, полученные этими изслѣдователями, имѣютъ весьма важное значеніе. Они приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Эта таблица одна изъ многихъ, дающихъ одинъ и тотъ же результатъ. Числа въ столбцѣ, подъ заглавіемъ «закалка», представляютъ удѣльное электрическое сопротивленіе въ микромахъ. Интересно видѣть, какъ въ короткихъ магнитахъ, удѣльное намагничиваніе уменьшается, затѣмъ показываетъ стремленіе увеличиться, и вновь уменьшается, по мѣрѣ того, какъ сталь становится болѣе мягкою. Другой интересный фактъ состоитъ въ

Ходъ отпусканiя.	Закал-ка.	Удѣльное намагничиваніе, когда $\delta =$				
		9,9	20,3	29,2	40,5	49,8
Самая твердая . . . . .	43,8	<b>24,8</b>	41,0	47,2	50,8	52,5
1 часъ въ парахъ при 100° . .	38,6	23,3	39,2	45,2	48,7	50,4
3 » » » » » . .	36,5	23,4	38,6	44,5	47,7	49,3
6 » » » » » . .	35,1	23,3	38,6	44,3	47,4	49,1
10 » » » » » . .	34,3	23,3	38,3	44,2	47,4	48,9
20 мин. въ парахъ анилина при 185°	29,0	21,0	38,9	46,0	50,3	52,3
1 часъ » » » » »	27,5	21,3	40,2	48,1	52,9	55,1
3 » » » » »	25,6	21,6	42,7	52,2	57,7	60,2
7 » » » » »	24,2	21,8	45,5	56,9	63,5	66,8
13 » » » » »	22,9	20,9	46,2	59,7	68,1	71,8
10 мин. въ распл. оловѣ при 240°	22,2	20,4	<b>46,7</b>	61,0	70,2	74,3
1 мин. въ расп. свинцѣ при 330°	19,0	19,0	46,7	68,0	83,7	90,0
1 часъ въ расп. цинкѣ при 420°	16,2	14,4	40,1	<b>72,6</b>	<b>93,9</b>	<b>103,9</b>
Отожженная . . . . .	14,9	4,3	10,2	18,7	29,8	42,4

томъ, что во всѣхъ случаяхъ, нагрѣваніе въ парахъ, сначала слегка уменьшаетъ намагничиваніе, которое удерживаетъ магнитъ, но черезъ пять или шесть часовъ это намагничиваніе становится уже неизмѣннымъ.

Этими наблюдателями произведено было множество опытовъ съ различными проволоками того же сорта. Всѣ же опыты дали практически тождественные результаты. Исслѣдователи пытались установить (по гальванической шкалѣ), степени закалки стали, соотвѣтствующія окраскамъ, извѣстнымъ всѣмъ мастерамъ.

Ихъ результаты согласуются съ результатами, полученными Рутсомъ (Ruths) \*), которымъ, употребляя другой сортъ стали, нашелъ, что для короткихъ магнитовъ ( $\delta = 20$ ) удѣльное намагничиваніе уменьшается отъ 51, когда сталь наиболѣе закалена,

\*) Ruths «Über den Magnetismus weicher Eisencylinder und verschiedener harter Stahlsorten» 1876.

до 28,4, когда сталь отпущена до синеватаго цвѣта. Для длинныхъ магнитовъ ( $\delta=70$ ), удѣльное намагничиваніе, которое, когда сталь наиболѣе закалена, равняется 68,7, увеличивается до 92, при отпусканіи стали до синеватаго оттѣнка.

	Закалка.	Удѣльное намагничиваніе при $\delta=$				
		10	20	30	40	50
Наиболѣе закаленная .	45,7	23,5	37,6	43,6	46,5	48,3
Цвѣта соломы . . . .	26,3	21,4	40,2	49,4	53,8	56,5
Синеватаго цвѣта . .	20,5	19,3	45,8	67,0	80,4	87,3
Мягкая, отожженная .	15,9	4,3	11,2	20,5	31,8	44,6

Изложенныя выше изслѣдованія, будучи сами по себѣ весьма важными, однако не рѣшаютъ вопроса, при какомъ состояніи закалки, намагничиваніе остается наиболѣе постояннымъ. Величину драгоцѣннаго качества удерживать постоянное намагничиваніе, которому Скорсби \*) далъ имя «*fixidity*», нельзя предсказать для какого нибудь образца стали, даже, зная его «понудительную силу», величины которой даны въ таблицѣ, помѣщенной въ началѣ этой главы, такъ какъ сама эта сила мѣняется съ теченіемъ времени. Скорсби изобрѣлъ методъ изслѣдовать это свойство, осторожно налагая изслѣдуемый магнитъ на другой болѣе сильный такъ, чтобы встрѣчались одноименные полюсы. За мѣру качества магнита для магнитныхъ стрѣлокъ и т. п. онъ принималъ произведеніе его первоначальной силы на силу, уменьшившуюся послѣ наложенія на второй магнитъ. Скорсби, употребляя магниты въ 6 дюймовъ длиною, 0,5 дюйма шириною и отъ 0,5 до 0,625 дюйма толщиною, нашель, что процентъ уменьшенія намагничиванія слабѣе всего въ литой стали, когда она закалена. Кромѣ того онъ меньше, когда она отпущена до синеватаго оттѣнка повсюду, чѣмъ, когда она отпущена только на концахъ. Катеръ (Kater) нашель, что въ магнитныхъ стрѣлкахъ изъ тонкой стали, лучше отпускать среднюю часть стрѣлки, концы же оставлять закаленными.

Въ послѣднее время было сдѣлано много важныхъ открытій, касающихся вопроса объ закалкѣ и химическомъ составѣ. Оказа-

\*) «*Magnetical Investigations*» vol. I, p. 35.

лось, что желѣзо можетъ существовать въ двухъ аллотропическихъ состояніяхъ, совершенно подобно тому, какъ углеродъ существуетъ въ видѣ мягкаго графита и твердаго алмаза. Въ одномъ изъ этихъ аллотропическихъ состояній желѣзо твердо, въ другомъ—мягко. Далѣе состояніе, въ которомъ углеродъ находится въ мягкой стали, отличается отъ того состоянія, въ которомъ онъ находится въ стали твердой. Абель (F. Abel) \*) нашель, что въ мягкой стали, подвергшейся холодной прокаткѣ, углеродъ находится въ такомъ соединеніи съ желѣзомъ, химическая формула котораго  $Fe_3C$ . Это соединеніе желѣза съ углеродомъ распределено въ видѣ крупинокъ по всей массѣ стали и эти крупинки можно видѣть въ микроскопъ. Если такую сталь нагрѣть до темно краснаго каленія и затѣмъ быстро охладить, то она становится весьма твердой и теперь повидимому углеродъ растворенъ во всей массѣ желѣза и крупинокъ не видно. Если сталь отпустить, нагрѣвъ ее до температуры между  $200^{\circ}$  и  $400^{\circ}$  Ц., то соединеніе желѣза съ углеродомъ вновь выдѣляется въ видѣ крупинокъ внутри массы. Степень такого выдѣленія зависитъ отъ температуры, до которой была нагрѣта сталь, отъ времени, которое продолжалось это нагрѣваніе и отъ механическихъ дѣйствій, которымъ подвергалась сталь во время нагрѣванія. Въ 1868 г. Д. К. Черновъ показаль, что сталь не становится тверже при быстромъ охлажденіи, если она не была нагрѣта до извѣстной, ясно обозначающей, температуры, лежащей около  $650^{\circ}$  Ц. Въ 1869 г. Горе (Gore) открыль, что, когда накаленная до ярко краснаго каленія, желѣзная проволока начинается охлаждаться, то наступаетъ моментъ, когда она внезапно удлинняется, затѣмъ опять наступаетъ медленное уменьшеніе длины. Профессоръ Бареттъ (Prof. Barrett), кромѣ того нашель, что, когда проволока охладится до извѣстной степени, она вдругъ начинаетъ свѣтиться болѣе ярко. Этому явленію Бареттъ далъ названіе *рекалесценціи* (*recalcescence*), Далѣе Тэтъ (Tait) показаль, что существуетъ нѣкоторая опредѣленная высокая температура, при которой желѣзо претерпѣваетъ странное, внезапное измѣненіе въ своихъ термоэлектрическихъ свойствахъ. Въ самое послѣднее время Осмондъ, изучая охлажденіе нагрѣтыхъ образцовъ желѣза и стали, замѣтилъ, что

---

\*) Proc. Inst. Mech. Engineers, Jan. 1883.

на шкалѣ температуръ существуетъ двѣ точки, въ которыхъ во время охлажденія выдѣляется теплота.

Во время *быстраго* охлажденія, углеродъ переходитъ изъ состоянія, въ которомъ онъ находится въ соединеніи съ желѣзомъ, въ состояніе, въ которомъ онъ растворенъ въ желѣзѣ. Во время *медленнаго* охлажденія, этотъ растворенный углеродъ можетъ вновь вступить въ соединеніе съ желѣзомъ и возвратитъ послѣднему его мягкость. По Осмонду, вторая изъ температуръ, при которыхъ выдѣляется тепло, и въ которой пониженіе температуры временно приостанавливается, соотвѣтствуетъ рекалесценціи Баретта и онъ думаетъ, что, когда во время охлажденія достигается эта температура, углеродъ изъ раствора переходитъ въ соединеніе съ желѣзомъ и при этомъ происходитъ выдѣленіе тепла и временное увеличеніе яркости поверхности накалиннаго желѣза. Но, даже при употребленіи чистаго желѣза, наступаетъ моментъ, когда паденіе температуры временно приостанавливается. Въ этомъ случаѣ углерода нѣтъ и явленіе зависитъ отъ чего то, происходящаго въ самомъ желѣзѣ. Осмондъ объясняетъ это явленіе слѣдующимъ образомъ: при ярко-красномъ каленіи, атомы желѣза группируются такъ, что желѣзо становится *твердымъ*, но возможна и другая ихъ группировка, при которой желѣзо становится *мягкимъ*. Осмондъ называетъ первый сортъ желѣза (твердое) желѣзомъ  $\beta$ , а второй сортъ (мягкое) желѣзомъ  $\alpha$ . Если желѣзо совершенно чистое, то оно перейдетъ изъ состоянія  $\beta$  въ состояніе  $\alpha$  при охлажденіи, какъ бы оно ни происходило, т. е. не смотря на то, будетъ ли охлажденіе идти быстро или медленно. Но, если въ желѣзѣ находится углеродъ, то нѣкоторая часть всѣхъ молекулъ останется въ состояніи  $\beta$ , отъ этого и происходитъ то явленіе, что сталь тверда. По мнѣнію Осмонда, молекулярное измѣненіе происходитъ при температурѣ, соотвѣтствующей высшей изъ точекъ приостановки охлажденія. Вторая точка приостановки соотвѣтствуетъ переходу раствореннаго углерода въ состояніе соединенія съ желѣзомъ. Высшая точка соотвѣтствуетъ температурѣ около  $770^{\circ}$ , низшая — температурѣ около  $650^{\circ}$ . Поэтому, если быстро охладить сталь, находящуюся *между двумя этими температурами*, то часть желѣза можетъ быть мягкой, хотя углеродъ не соединится съ нимъ. Это и найдено, такъ какъ при раствореніи свободнаго желѣза, не найдено соединеній же-



лѣза съ углеродомъ. При механической обработкѣ, при температурѣ ниже температуры темно-краснаго каленія, желѣзо  $\alpha$  можно постепенно превратить въ желѣзо  $\beta$  или въ твердое желѣзо, что и происходитъ въ случаяхъ, когда желѣзо подвергается прокаткѣ, проковкѣ или растяженію.

Всѣ эти измѣненія вещества явно связаны съ его магнитными свойствами. Томилинсономъ (Tomilinson), Гопкинсономъ, Робертсъ-Аустеномъ (Roberts-Austen) и многими другими былъ произведенъ рядъ изысканій, имѣвшихъ цѣлью изслѣдовать эту связь.

На основаніи вышеизложеннаго слѣдуетъ, что, при температурахъ высшихъ, чѣмъ температура, соответствующая высшей точкѣ пріостановки охлажденія, желѣзо становится не намагничиваемымъ и что только при температурахъ, лежащихъ ниже нисшей точки пріостановки, оно получаетъ способность быть намагничиваемымъ и способность удерживать магнетизмъ. Во всякомъ случаѣ кажется, что температура рекалесценціи соответствуетъ критической температурѣ для намагничиванія. Если все это вѣрно, то изъ этого слѣдуетъ, что желѣзо  $\beta$ , или твердое желѣзо вовсе не можетъ быть намагничено. Одинъ изъ фактовъ, поддерживающихъ эти взгляды, состоитъ въ томъ, что примѣсь къ желѣзу весьма малаго количества марганца, образуетъ такъ называемую марганцевую сталь, которая не только въ высшей степени тверда, но еще и представляетъ изъ себя вещество, которое нельзя намагнитить. Семи процентовъ марганца уже достаточно, чтобы помѣшать желѣзу перейти изъ состоянія  $\beta$  въ состояніе  $\alpha$ .

### Способы намагничиванія

Старинные методы намагничиванія, носящіе названіе методовъ «простаго прикосновенія», «двойнаго прикосновенія», «двойнаго натиранія» и ихъ разновидности, теперь пора уже оставить. Единственные методы, которые теперь заслуживаютъ вниманія, это тѣ, въ которыхъ примѣняется электрическій токъ. Способъ намагничиванія при помощи электрическаго тока былъ открытъ Араго въ 1820 году и этотъ ученый примѣнилъ его къ намагничиванію магнитныхъ стрѣлокъ, помѣщая эти послѣднія внутри спирали, по которой проходилъ токъ отъ гальванической баттареи. Въ 1844 году Эліасъ (Elias) изъ Гаарлема, предложилъ очень полез-

ное измѣненіе этого метода. Именно, онъ предложилъ вмѣсто того, чтобы дѣлать спираль длинною, дѣлать ее короткою, т. е. наматывать слои проволоки одинъ на другой. Такая спираль можетъ свободно скользить вдоль по стальной полосѣ, которую нужно намагнитить, и такимъ образомъ каждая часть этой полосы будетъ подвергаться дѣйствию сильнаго магнитнаго поля. Въ 1846 году Бöttгеръ (Böttger) предложилъ другой способъ, предназначенный специально для намагничиванія магнитовъ подковообразной формы. Его способъ состоитъ въ томъ, что на обѣ полюсныя оконечности одновременно надѣваются двѣ катушки, обмотанныя въ противоположныхъ направленіяхъ. Синстеденъ (Sinsteden) употреблялъ, для намагничиванія подковообразныхъ магнитовъ, сильный двухъполюсный электромагнитъ, противъ полюсовъ котораго помѣщалась стальная подкова. Поперекъ подковы, такъ, чтобы она касалась обѣихъ ея вѣтвей, помѣщалась желѣзная арматура, которая съ постукиваніемъ передвигалась отъ изгиба къ полюсамъ. Ванъ-деръ-Виллингенъ (Van-der-Willingen) въ своемъ замѣчательномъ трактатѣ о Гаарлемскихъ магнитахъ,\*) приготовленныхъ Ванъ-Веттереномъ (Van-Wetteren), описываетъ методъ намагничиванія, примѣннаго къ этимъ знаменитымъ магнитамъ. Стальная подкова помѣщается на полюсѣ электромагнита Румкорфа (подобнаго изобрѣтенному на фиг. 24), по обмотки котораго пропускается токъ отъ десяти до двадцати элементовъ Бунзена. Токъ замыкается и размыкается раза три или четыре. Затѣмъ токъ окончательно размыкается и подкову приводятъ въ вертикальное положеніе. Якорь на ея полюсы налагается раньше, чѣмъ подкову отнять отъ электромагнита. Такимъ образомъ получаютъ пере-сыщенные магниты, которые поддерживаютъ якорь съ силою, процентовъ на тридцать большею той силы, которую магнитъ сохранить. Для магнитовъ большихъ размѣровъ Ванъ-деръ-Виллингенъ пользуется одновременно и электромагнитомъ Румкорфа, примѣняя его только что описаннымъ способомъ, и кольцомъ Эліаса, которое передвигаетъ, во время дѣйствія электромагнита, отъ двадцати до ста разъ вдоль по подковѣ, отъ одного конца ея до другаго. Для намагничиванія маленькихъ полосовыхъ магнитовъ

\*) Van-der-Willingen «Sur le Magnétisme des Aimants artificiels» (Archives du Musée Teyler, Haarlem Vol. IV. 1878).

или магнитныхъ стрѣлокъ, достаточно помѣстить ихъ надъ полюсами большого электромагнита, при чемъ каждый конецъ стрѣлки долженъ прикоснуться къ полюсу электромагнита. Затѣмъ стрѣлку надо оторвать по нормальнополюсному направленію. Для прямыхъ полосъ значительныхъ размѣровъ Ванъ-деръ-Виллингенъ употребляетъ этотъ же самый электромагнитъ, пригнавъ, соотвѣтственно длинѣ полосы, разстояніе между полюсными поверхностями электромагнита. Затѣмъ для намагничиванія этихъ полосъ онъ применяетъ тотъ же способъ, что и для намагничиванія подковообразныхъ магнитовъ, исключая, конечно, употребленія якоря.

Методъ, извѣстный подъ именемъ «способа Гоффера (Hoffer)», состоитъ въ томъ, что вдоль по вѣтвямъ стальной подковы, отъ сгиба къ полюсамъ, проводятъ съ постукиваніемъ желѣзной полосой, лежащей поперекъ вѣтвей. Въ это время намагничиваемая подкова должна находиться въ соприкосновеніи съ другой, намагниченной раньше. Ванъ-деръ-Виллингенъ, изслѣдовавшій этотъ методъ, нашелъ, что онъ не только ошибоченъ, но и вреденъ. Онъ вызываетъ неравномѣрность въ распредѣленіи магнетизма и уменьшаетъ дѣйствующую силу магнитовъ, намагниченныхъ какъ было сказано раньше. Другой процессъ, который нѣсколько разъ предлагался для усовершенствованія прежнихъ методовъ, состоитъ въ томъ, чтобы подвергать магнитъ дѣйствию сильныхъ намагничивающихъ силъ во время закалки. Робинзонъ помѣщалъ стальные полосы, нагрѣтыя до красна, между полюсами сильнаго магнита и въ этомъ положеніи подвергалъ ихъ дѣйствию холодной воды. Гольцъ (Holtz) говоритъ, что намагниченные такимъ образомъ, во время быстрого охлажденія, толстыя полосы вдвое сильнѣе намагниченныхъ въ холодномъ состояніи. Тонкія же полосы, намагниченные при закаливаніи, въ три раза сильнѣе намагниченныхъ обыкновеннымъ путемъ. Эме (Aimé) и Гаманъ (Hamann) тоже защищали этотъ способъ намагничиванія, который однако кажется, не обладаетъ дѣйствительными преимуществами.

Мозеръ (Moser\*) сдѣлалъ рядъ сравнительныхъ изслѣдованій различныхъ методовъ намагничиванія, подвергая намагничиванію стальной параллелепипедъ, вѣсившій 12 унцій. Степень намагничиванія онъ измѣрялъ, наблюдая время полного качанія. Зная про-

\*) Dove's «Reperortium der Physik,» Vol. II, p. 141. 1838.

должительность полного колебания, можно вычислить относительные силы магнитовъ. Результаты восьми способовъ намагничиванія приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ, при чемъ эти методы расположены въ такомъ порядкѣ, что каждый послѣдующій лучше предыдущаго.

Эти опыты не оставляютъ сомнѣнйя относительно превосходства современныхъ способовъ надъ старинными. Юингъ въ сво-

СПОСОБЫ.	Время одного качанія (въ сек.).	Относит. сила.
1. Способъ Найта (Knight) «двойнаго натиранія» при помощи двухъ постоянныхъ магнитовъ. Произведено 20 натираний только по одной сторонѣ стальной полосы . . . . .	22,13	1
2. Тоже самое, но полоса положена на вершину перевернутаго стального магнита . . . . .	14,87	2,21
2 Тоже самое, но произведенное на всѣхъ четырехъ сторонахъ . . . . .	14,63	2,29
3 Тоже самое, но подъ концы полосы подложены массы желѣза . . . . .	12,13	3,33
5. Способъ Мичелля (Michell) «двойнаго натиранія» при помощи двухъ отдѣльныхъ стальныхъ, полосовыхъ магнитовъ . . . . .	11,13	3,95
6. Тоже самое, но при помощи подковообразнаго магнита . . . . .	10,19	4,71
7. Методъ Эпинуса (Aepinus) «круговаго натиранія», при помощи такого же подковообразнаго магнита . . . . .	8,75	6,39
8. Съ электромагнитомъ: полоса положена на два желѣзныхъ полюсныхъ наконечника электромагнита и въ это время по ней постукивали стальной подковой. Затѣмъ токъ прерванъ и полоса поднята . . . . .	8,0	7,62

ихъ изслѣдованіяхъ надъ намагничиваніемъ желѣза въ весьма сильныхъ магнитныхъ поляхъ, употреблялъ для намагничиванія большой электромагнитъ. Между полюсами этого электромагнита помѣщался изслѣдуемый образецъ желѣза, которому придавалась форма цилиндра, обточеннаго такъ, что посреди него образовалась шейка, лежащая между двумя конусами. Придавая желѣзу такую форму, возможно было сконцентрировать въ «перешейкѣ» громадное число магнитныхъ линій. При помощи именно такихъ изслѣдованій Юингъ нашелъ, что остаточное I равняется для кованнаго желѣза 500.

### Постоянство магнитовъ.

Изъ того, что какой нибудь магнитъ удерживаетъ значительное количество постоянного магнетизма, вовсе не слѣдуетъ, что онъ будетъ постоянно удерживать одно и то же количество этого магнетизма. Магнитъ теряетъ свой магнетизмъ, благодаря многимъ причинамъ. Напримѣръ: внезапный толчекъ, прикосновеніе къ другимъ магнитамъ или кускамъ желѣза, перемѣны температуры, медленное измѣненіе состоянія стали и т. п. способствуетъ потерѣ магнетизма. Вліяніе этихъ причинъ въ зависимости отъ сорта, закалки стали и отъ размѣровъ магнита еще не вполне изслѣдовано, однако уже теперь мы обладаемъ нѣкоторыми свѣдѣніями.

Грей \*), употребляя магниты изъ самой твердой стали, нашелъ, что потеря намагничиванія, произведеннаго весьма слабымъ магнитнымъ полемъ (въ одну единицу), сильно мѣняется въ зависимости отъ длины магнита. Полоса, длиною въ 10 діаметровъ, теряетъ 0,8<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, полоса въ 20 діаметровъ—0,6<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, полоса въ 40 діаметровъ—0,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, полоса въ 50 діаметровъ—0,44<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Бозанке, дѣлая опыты съ большимъ числомъ магнитовъ, приготовленныхъ (8-го февраля 1885 года) изъ лучшей литой стали, закаленной насколько возможно, нашелъ слѣдующія величины уменьшенія магнитнаго момента:

Февраля	18-го	. . . . .	12,539
Марта	3 »	. . . . .	11,822
Марта	15 »	. . . . .	11,767
Апрѣля	8 »	. . . . .	11,620
Сентября	18 »	. . . . .	11,119

Ламонъ (Lamont) \*\*) дѣлалъ изслѣдованія, длившіяся одиннадцать лѣтъ, имѣвшія цѣлью изучить постоянство магнитовъ, употребляемыхъ въ Мюнхенской обсерваторіи для ежедневныхъ измѣненій магнетизма. Эти магниты раньше были нѣсколько разъ поочереды погружаемы то въ холодную, то въ горячую воду, но этотъ процессъ не придалъ имъ постоянства, что показываютъ приводимыя ниже цифры. Потеря дана въ доляхъ всего магнитнаго момента.

\*) Phil. Mag. XX p. 484, 1885.

\*\*) Lamont's «Handbuch des Magnetismus» p. 410. 1867.

М Ъ С Я Ц Ы.	1848.	1849.
Январь . . . . .	0,0000	0,0000
Февраль . . . . .	0,0003	0,0001
Мартъ . . . . .	0,0003	0,0002
Апрѣль . . . . .	0,0008	0,0005
Май . . . . .	0,0014	0,0007
Юнь . . . . .	0,0022	0,0011
Юль . . . . .	0,0028	0,0016
Августъ . . . . .	0,0032	0,0022
Сентябрь . . . . .	0,0028	0,0022
Октябрь . . . . .	0,0017	0,0013
Ноябрь . . . . .	0,0009	0,0007
Декабрь . . . . .	0,0005	0,0001

Въ слѣдующей таблицѣ приведено уменьшеніе магнитнаго момента въ теченіе различныхъ годовъ, тоже въ доляхъ магнитнаго момента.

1847 . . . . .	0,0174	1853 . . . . .	0,0099
1848 . . . . .	0,0169	1854 . . . . .	0,0103
1849 . . . . .	0,0103	1855 . . . . .	0,0081
1850 . . . . .	0,0091	1856 . . . . .	0,0079
1851 . . . . .	0,0113	1857 . . . . .	0,0071
1852 . . . . .	0,0079	1858 . . . . .	0,0063

По мнѣнію Баруса \*) обыкновенная атмосферная температура, дѣйствуя на свѣже закаленную сталь въ продолженіи нѣсколькихъ *лѣтъ*, производитъ почти такое же уменьшеніе закалки (а отъ этого уменьшенія зависитъ потеря постояннаго магнетизма), какое производитъ температура въ 100° Ц, дѣйствуя въ продолженіи нѣсколькихъ *часовъ*.

\*) Phil. Mag. Nov. 1888 p. 403.

Нѣкоторые изслѣдователи пытались объяснить медленное ослабленіе магнетизма химическими измѣненіями на поверхности магнита, происходящими, благодаря окисленію, влажности и т. п. причинамъ. Для предупрежденія такого измѣненія эти изслѣдователи предлагали покрывать поверхность магнитовъ слоемъ лака, золота или серебра. Но эти средства совершенно недостаточны и предположенія, на которыхъ они основаны, не вѣрны.

Шеезманъ изслѣдовалъ потерю магнетизма, происходящую отъ ударовъ и толчковъ, заставляя магниты падать съ нѣкоторой высоты. Въ приводимой ниже таблицѣ помѣщены полученные имъ результаты.

СОРТЪ и ЗАКАЛКА.	Высота паденія въ метрахъ.	Потеря магнетизма въ процентахъ.
Стальная проволока, мягкая . . . . .	1,5	30
» » закаленная механическимъ путемъ . . . . .	2,0	44
» » » . . . . .	3,0	57
Стальной пруть, закаленный механическимъ путемъ . . . . .	2,0	52
» » » . . . . .	семь разъ,	81
Желѣзная проволока, закаленная механическимъ путемъ . . . . .	2,0	84
» » » . . . . .	три разъ,	95
» » мягкая . . . . .	2,0	83
» » » . . . . .	3,0	99
Желѣзный пруть, мягкій . . . . .	2,0	97
Стальная проволока, закаленная . . . . .	3,0	6
» » » » . . . . .	3,0	4

Брунъ \*) , употребляя магниты въ 20 сант. длиною, сдѣланные изъ «серебрянной стали», пытался найти зависимость между закалкой магнита и потерей магнетизма, происходящей отъ толчковъ и ударовъ, послѣ того, какъ магниты находились различное время въ покое. Результаты, полученные имъ, приведены въ слѣдующей

\*) Phil. Mag. XIII p. 293, 1887.

таблицѣ, изъ которой, кажется, можно заключить, что самая твердая сталь (glass hard) обладаетъ въ то же время и наибольшимъ постоянствомъ въ количествѣ удерживаемаго магнетизма. Эта же таблица, хотя и менѣе убѣдительно, показываетъ, что длинные магниты обладаютъ болѣе постоянствомъ, чѣмъ короткіе.

ЗАКАЛКА.	Отноше- ніе дли- ны къ діаметру $\delta$	Удѣль- ное на- магничи- ваніе. $\sigma$	Потеря въ процентахъ отъ уда- ровъ, послѣ того, какъ магниты находились въ покоѣ:				
			1 час.	20 час.	44 час.	1 мѣс.	3 мѣс.
Самая твердая . . . . .	33	41	1,98	2,0	1,95	1,04	0,8
» » . . . . .	50	45	2,96	3,2	1,48	1,0	6,0
Желтая . . . . .	33	44	6,03	6,1	4,8	5,4	6,2
» . . . . .	50	46	4,0	3,5	3,76	2,6	4,0
Синяя . . . . .	33	54	11,8	10,8	9,71	11,8	7,5
» . . . . .	50	71	8,2	8,2	8,18	7,5	8,7

Стругаль и Барусъ, сдѣлавшіе такъ много изслѣдованій надъ физическими свойствами стали, изслѣдовали также вопросъ о зависимости постоянства магнита отъ его формы, закалки и переменъ температуры. Они нашли, что магнитъ изъ самой твердой стали, длиною въ 119 діаметровъ, будучи нагрѣваемъ въ продолженіи шести часовъ въ парахъ воды при  $100^{\circ}$  Ц., теряетъ  $30^{\circ}/_{0}$  своего магнетизма. Если затѣмъ вновь намагнитить этотъ магнитъ и вновь начать нагрѣвать въ парахъ, то потеря въ этомъ случаѣ будетъ всего  $5,3^{\circ}/_{0}$ . Названные изслѣдователи нашли, что потеря магнетизма при первомъ нагрѣваніи зависитъ отъ длины магнита

Магнитъ длиною въ 119 діаметровъ теряетъ  $30^{\circ}/_{0}$

» » » 108 » » 28 »

» » » 35 » » 49 »

» » » 14 » » 67 »

Во всѣхъ случаяхъ, нагрѣваніемъ въ парахъ достигалось такое состояніе магнита, при которомъ ни удѣльное его намагничиваніе, ни закалка (т. е. закалка, измѣряемая электрическимъ путемъ), не показывали съ теченіемъ времени измѣненія. Изъ этого можно заключить, что приготовленные такимъ образомъ магниты обла-



даютъ особеннымъ постоянствомъ и выдерживаютъ переменны температуры и сотрясенія, лучше чѣмъ магниты, приготовленные какимъ либо другимъ способомъ. Для примѣра Барусъ и Стругаль взяли крѣпкой магнитъ въ 2,5 сант. длиною, 0,4 сант. шириною и 0,3 сант. толщиною, и положили его на 4 часа въ кипящую воду. Затѣмъ намагнитили и помѣстили на два часа въ пары. Измѣривъ магнитный моментъ магнита, его положили на деревянную плаху и 50 разъ сильно ударяли по немъ, какъ по длинѣ, такъ и по ширинѣ, другимъ кускомъ дерева. Послѣ этого магнитный моментъ магнита уменьшился только на  $\frac{1}{900}$ . Удары снова повторили и тогда потеря увеличилась до  $\frac{1}{400}$ . Другой опытъ былъ произведенъ съ трубчатымъ магнитомъ, сдѣланнымъ изъ закаленной стали, намагниченнымъ, нагрѣтымъ въ продолженіи 30 часовъ въ парахъ, вновь намагниченнымъ и вновь нагрѣтымъ въ парахъ, въ продолженіи 10 часовъ. Этотъ магнитъ заставляли десять разъ падать на его концы, съ высоты 1,5 метра, причемъ постоянный магнетизмъ его уменьшился на  $\frac{1}{4756}$ . Поэтому можно посоветовать готовить всѣ магниты, предназначенные для магнитныхъ наблюдений, по слѣдующему способу: *Закалить магнитъ по возможности лучше, затѣмъ помѣстить его въ парахъ при 100° Ц на 20 и 30 часовъ и даже на болѣе долгое время, если магнитъ значительныхъ размѣровъ. Послѣ этого намагнитить его насколько возможно лучше и вновь помѣстить въ пары на пять или болѣе часовъ.* Приготовленные такимъ образомъ, магниты будутъ обладать такимъ постоянствомъ, какого только можно достигъ.

Кукгамъ (G. Cookham) \*) пробовалъ получать для своихъ электрическихъ измѣрительныхъ приборовъ магниты съ постоянной силой, совершенно другимъ способомъ. Онъ заключалъ, между двумя чугунными полюсными наконечниками, нѣсколько полосовыхъ магнитовъ изъ вольфрамой стали. Полюсные наконечники имѣли такую форму, что они почти соприкасались и слѣдовательно вся система представляла почти замкнутую магнитную цѣпь. Вокругъ полосовыхъ магнитовъ пропускался намагничивающій токъ, которымъ они насыщались, насколько возможно лучше. Послѣ этого полосовые магниты подвергались ряду ударовъ и вокругъ нихъ пропускался слабый размагничивающій токъ, уменьшающій маг-

\*) «Journal Institution Electrical Engineers» Vol. XVIII p. 688, 1889.

нетизмъ полосъ процентовъ на десять. Послѣ этого магниты оставались постоянными, не теряя магнетизма, въ продолженіи многихъ мѣсяцевъ. Магнетизмъ ихъ даже слегка увеличивается.

### Вліяніе температуры.

Кромѣ закалки и отжиганія, на магнетизмъ стали имѣетъ также вліяніе и теплота.

О вліяніи теплоты на временное намагничиваніе желѣза и стали было сказано въ главѣ III, теперь же намъ надо обратить вниманіе на нѣсколько вопросовъ, касающихся постоянного магнетизма.

Фарадэй \*) нашель, что стальной магнитъ теряетъ свой постоянный магнетизмъ при температурѣ немного низшей, чѣмъ температура кипѣнія миндальнаго масла. Начиная съ этой температуры и выше, сталь обладаетъ такими же свойствами, такъ и желѣзо, пока не достигнетъ оранжеваго каленія, когда она совершенно теряетъ всѣ магнитныя свойства. Магнитныя свойства натурального магнита пропадаютъ уже при темно-красномъ каленіи.

Трубриджъ (Troubridge) (\*\*), употребляя различные растворы твердой углекислоты, напримѣръ растворъ ея въ эфирѣ, который понижаетъ температуру до  $-140^{\circ}$  Ц, нашель, что сильное охлажденіе уменьшаетъ магнетизмъ стали на  $60\%$ .

Видеманъ (\*\*\*) пришелъ къ заключенію, что если температуру магнита мѣнять, попеременно увеличивая и уменьшая, до первоначальной, то магнетизмъ мало по малу достигаетъ нѣкотораго постоянства, послѣ чего нѣкоторое повышеніе температуры вызоветъ въ очень твердой стальной полосѣ, увеличеніе магнетизма, а въ мягкомъ желѣзѣ—уменьшеніе его.

Пониженіе температуры произведетъ обратные результаты. Явленіе это, однако, довольно сложное. При нагрѣваніи и охлажденіи магнита, магнетизмъ, теряемый во время нагрѣванія, только отчасти вновь появляется при охлажденіи, такъ что при каждомъ такомъ процессѣ происходитъ потеря нѣкотораго количества магнетизма. Это будетъ продолжаться такъ, пока не будетъ достигнуто

\*) Experim. Researches II, p. 220.

\*\*) Sillimans Journal. 1881.

\*\*\*) Pog. Ann. CII 1 p. 563, 1858.

нѣкоторое постоянное состояніе. Но явленіе зависитъ и отъ прежней, такъ сказать «магнитной исторіи» полосы и ея вліяніе можетъ усложнить явленіе. Если, напримѣръ, полоса была намагничена и затѣмъ лежала долгое время въ покоѣ, или была подвергнута механическимъ ударамъ такъ, что можно считать, что магнетизмъ впитался въ нее хорошо и, если затѣмъ эту полосу подвергнуть вліянію небольшой размагничивающей силы, не заставляя ее дѣйствовать слишкомъ долго, то такая полоса, если ее нагрѣвать и охлаждать, пріобрѣтаетъ больше магнетизма во время охлажденія, чѣмъ теряетъ во время нагрѣванія. Все происходитъ какъ будто бы, она обладала двумя отдѣльными намагничиваніями, одно поверхъ другаго, и эти намагничиванія имѣли бы различные температурные коэффициенты.

Для обыкновенныхъ стальныхъ магнитовъ можно принять, что измѣненіе температуры воздуха, производятъ слабое, и притомъ только временное, измѣненіе намагничиванія. Формула, которую примѣняютъ въ обсерваторіи въ Кью, дана Вишлемъ (Whipple). Вотъ эта формула:

$$K_t = K_0 \{ 1 - q(t - t_0) - q_1(t - t_0)^2 \}$$

гдѣ величина  $q = 0,000161$ , а  $q_1 = 0,00000048$ . Кристи (Christie) нашель для  $q$  величину  $0,001015$ ; Ханстенъ (Hanstenn) —  $0,000788$ ; Рись и Мозеръ (Riess and Moser) нашли, что для магнитныхъ стрѣлокъ, длиною отъ 2 до 3 дюймовъ, величина  $q$  мѣняется отъ  $q = 0,000324$  до  $q = 0,000432$ . Канкани (Cancani) даетъ слѣдующія числа для цилиндрическаго стального магнита въ 50 мил. длиною:

Диаметръ	1 мил.	. . . . .	$q = 0,000312$
»	2 »	. . . . .	» = $0,000380$
»	3 »	. . . . .	» = $0,000539$
»	4 »	. . . . .	» = $0,000645$
»	5 »	. . . . .	» = $0,000869$

Температурный коэффициентъ магнитовъ, отпущенныхъ до синей окраски, былъ приблизительно на 50% больше, чѣмъ магнитовъ отпущенныхъ до соломенной окраски. Юингъ нашель, что магнитный моментъ стальной полосы, при нагрѣваніи ея отъ  $10^0$  до

100° Ц., падаетъ на  $18\frac{1}{2}\%$ , но что при охлажденіи онъ опять достигаетъ первоначальной величины. Гогэнъ (Gaugain)\*) сдѣлалъ тоже рядъ наблюденій подѣ влияніемъ теплоты на намагничиваніе.

### Пластинчатые магниты.

Кажется Найтъ (Knight) первый предложилъ употреблять составные магниты, сложенные изъ нѣсколькихъ стальныхъ пластинокъ, намагниченныхъ каждая отдѣльно. Послѣ него такое устройство магнитовъ было принято многими изслѣдователями, между прочимъ Куломбомъ и Скорсби. Преимущества этого способа заключаются въ томъ, что онъ позволяетъ имѣть въ магнитѣ сталь повсюду одинаково хорошо закаленную. Дѣйствительно, при закаливаніи толстаго куска стали при помощи быстрого охлажденія, закалъ не распространится на внутренніе слои стали, которые поэтому останутся мягче и не будутъ удерживать постояннаго магнетизма. Они могутъ даже ослаблять магнетизмъ внѣшнихъ слоевъ. Куломбъ употреблялъ магниты изъ трехъ пластинъ, причемъ центральная нѣсколько выдавалась, и на концы ихъ были надѣты желѣзные полюсные наконечники. Скорсби\*\*), производившій много изслѣдованій подѣ сложными магнитами, показалъ, что выгоднѣе отдѣлять пластинки другъ отъ друга на небольшое разстояніе. Нѣкоторые, изъ приготовленныхъ имъ магнитовъ, хранятся въ музеѣ Вайтби (Whitby). Скорсби показалъ, что такой составной магнитъ можно сдѣлать гораздо сильнѣе, чѣмъ сплошной, одного съ нимъ вѣса, но что абсолютное увеличеніе силы отъ прибавленія каждой новой пластины, уменьшается съ увеличеніемъ числа пластинъ. Напримѣръ въ магнитѣ изъ 30 пластинъ, послѣднія 26 не могутъ придать первымъ четыремъ такой силы, какой обладали только шесть первыхъ. Это явленіе зависитъ отъ стремленія пластинъ взаимно размагничивать другъ друга, такъ какъ между сильными пластинами, слабыя не только ничего не прибавляютъ, но даже ихъ полярность мѣняется отъ дѣйствія болѣе сильныхъ. Это взаимное размагничиваніе отчасти можно предотвратить, помѣщая пластины такъ, чтобы между ними не было непосред-

\*) Comptes Rendus 1877 и 1888.

\*\*) Scorsby's «Magnetical Investigations» Vol. 1, pp. 98—329.

ственного соприкосновенія. Скорсби нашелъ, что для составныхъ магнитовъ лучшая сталь не есть самая закаленная, но что лучше отпускать закаленную сталь, подвергая ее кипяченію въ льняномъ маслѣ при температурѣ  $505^{\circ}$  Фар. ( $263^{\circ}$  Ц.). При помощи такого отпуска, онъ увеличилъ подъемную силу сложнаго магнита, состоявшаго изъ пяти стальныхъ (Stubs-Steel) пластинъ и вѣсившаго 2,91 фунтовъ, отъ 13 — 14 фунтовъ до 25 — 26 фунтовъ. Силу другаго магнита, состоявшаго изъ 15 пластинъ и вѣсившаго 8 ф., онъ увеличилъ отъ 26 ф., которые могъ поднимать закаленный магнитъ, до 45 — 50 ф., которые поднялъ магнитъ уже отпущенный.

Жамень \*) , работавшій надъ этими же вопросами, мало прибавилъ къ весьма полнымъ изслѣдованіямъ Скорсби. Нѣкоторые конструкторы сложныхъ магнитовъ, дѣлая центральную пластину болѣе длинною, чѣмъ крайнія, устроиваютъ ихъ такъ, что пластинки оканчиваются уступами на концѣ магнита. Это устройство, цѣль котораго предотвратить перемѣну полярности центральной пластины, подъ вліяніемъ боковыхъ, не представляетъ особыхъ выгодъ. Вѣроятно оно имѣетъ только одно преимущество: концентрировать магнитныя линіи и такимъ образомъ увеличивать подъемную силу магнита (см. главу IV: «Законъ приставанія»). Ванъ-деръ-Виллингенъ считалъ, что достаточно, чтобы центральная полоса выступала на одинъ миллиметръ

### Приставаніе магнита или его подъемная сила.

О формулѣ Бернулли, по которой подъемныя силы подобныхъ между собою магнитовъ, относятся, какъ корни степени  $\frac{3}{2}$  изъ ихъ вѣсовъ, или иначе, какъ квадраты ихъ кубическихъ корней, говорилось подробно въ главѣ IV. Тамъ было показано, что эта формула просто выражаетъ тотъ фактъ, что для одинаковыхъ степеней насыщенія, подъемная сила прямо пропорціональна площадямъ полюсовъ. Если черезъ  $P$  мы назовемъ наибольшій грузъ, который только можетъ поддержать магнитъ, а черезъ  $W$ —вѣсъ магнита, то формула Бернулли даетъ слѣдующую зависимость между ними:

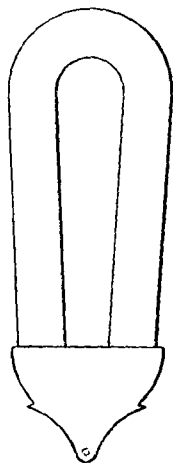
$$P = a \sqrt[3/2]{W},$$

\*) Comptes Rendus 1873 г. и за другіе года.

гдѣ  $a$  есть постоянная, зависящая отъ единицъ, въ которыхъ выражены  $P$  и  $W$ , отъ качества стали и отъ степени ея намагничиванія. Если  $P$  и  $W$  выражены въ килограммахъ, то по даннымъ лучшихъ мастеровъ  $a$ , для подковообразныхъ магнитовъ, будетъ заключаться между 18 и 24, въ среднемъ  $a = 20$ . Это значитъ, что если мы возьмемъ магнитъ, вѣсящій одинъ килограммъ, то онъ будетъ въ состояніи поддержать грузъ въ 20 килограммовъ или грузъ въ двадцать разъ больше своего вѣса. Такое же вычисленіе даетъ намъ, что магнитъ, вѣсящій 10 килограммовъ, поддержитъ 92,8 кил., т. е. грузъ въ  $9\frac{1}{4}$  разъ больше своего вѣса, магнитъ, вѣсящій 0,1 килограмма, поддержитъ грузъ въ 4,31 килограмма, или грузъ въ 43 раза больше своего вѣса. Если  $P$  и  $W$  даны въ англійскихъ фунтахъ, то величина  $a$  для лучшихъ подковообразныхъ магнитовъ (соотвѣтствующая величинѣ  $a = 20$ , при единичѣ вѣса, равной килограмму) будетъ 25,1, или приблизительно  $a = 25$ . Это значитъ, что дѣйствительно хорошій стальной подковообразный магнитъ, вѣсящій одинъ фунтъ, удержитъ грузъ въ 25 фунтовъ. Напримѣръ, одинъ изъ магнитовъ Ванъ-Ветерена, изслѣдованный Ванъ-деръ-Виллингенемъ (магнитъ «В»), вѣсилъ 1,074 фунта и поддерживалъ грузъ въ 26,004 ф. Число 26,004 было выведено какъ среднее изъ семи наблюденій.

Гаарлемскіе магниты пользуются благодаря ихъ замѣчательнымъ качествамъ, настолько громкой извѣстностью, что мнѣ кажется, будетъ не лишнимъ, сообщать о нихъ нѣкоторыя свѣдѣнія. Логеманъ (Logemann), которому постоянно помогали совѣтами Эліасъ, первый доставилъ извѣстность магнитамъ, приготовляемымъ въ Гаарлемѣ. У него работалъ Ванъ-Веттеренъ, лучший изъ существовавшихъ мастеровъ. Позднѣе, когда исполненіе обязанностей Логемана взялъ на себя Функлеръ, то оба они, Функлеръ и Ванъ-Веттеренъ, продолжали готовить магниты по способу Эліаса. Въ 1874 году Ванъ-деръ-Виллингенъ предложилъ другой методъ намагничиванія, описанный уже въ этой главѣ и примѣнилъ его къ

Фиг. 204.

Магнитъ Ванъ-Веттерена  
( $\frac{1}{4}$  нат. величины).

магнитамъ выкованнымъ Ванъ-Веттереномъ. Въ важныхъ, во всѣхъ другихъ отношеніяхъ, мемуарахъ Ванъ-деръ-Виллингена, не приведено никакихъ данныхъ относительно сорта стали и способовъ закаливанія и отпусканія, которыя примѣнялись при приготовленіи этихъ магнитовъ. Въ этихъ мемуарахъ находится подробное описаніе около 50 магнитовъ и приведены вѣса грузовъ, которые они могли поддерживать послѣ намагничиванія различнымъ образомъ и въ различное время. Большинство изъ этихъ магнитовъ имѣло форму, представленную на фиг. 204. Поверхность прикосновенія якоря была слегка закруглена. Магнитъ, представленный на фиг. 204, есть именно тотъ, который обозначенъ, въ прилагаемой таблицѣ, буквою «А». Онъ представленъ въ  $\frac{1}{4}$  натуральной величины.

Названіе магнита.	Вѣсъ магнита въ килограммахъ.	Средняя величина груза, имъ поднимасяго, въ килогр.	Величина коэффициента <i>a</i> .
А	0,495	13,30	21,25
В	0,487	11,78	19,03
Е	0,889	19,02	20,57
3057	1,013	21,71	21,52
3053	1,521	27,90	21,17
3054	1,918	32,53	21,07
С	2,169	35,74	21,10

Магнитъ «А» былъ толщиною въ 0,66 сантиметра, его якорь— въ 0,3 сантиметра. Полюсы отстояли другъ отъ друга на 2,57 сант. и каждый изъ нихъ былъ шириною въ 2,68 сант. Высота магнита отъ вѣшней высшей точки изгиба до точки, лежащей на серединѣ между полюсами, было 17 сант. Площадь полюсной поверхности— 1,769 кв. сант. Наибольшее разстояніе между вѣтвями магнита, около изгиба, было—3,65 сант. Магниты «А», «В», «Е» и «С» были сдѣланы изъ одной и той же полосы. Магнитъ «3053» былъ одинъ изъ магнитовъ, бывшихъ въ 1876 г. на выставкѣ научныхъ приборовъ въ South Kensington, а магнитъ «3054» былъ въ томъ же году выставленъ на выставкѣ въ Филадельфіи. Послѣ

того какъ этотъ послѣдній былъ присланъ обратно изъ Соединенныхъ Штатовъ, его вновь намагнитили и онъ удержалъ 31,44 килограмма.

Насколько извѣстно автору этой книги, никто изъ англійскихъ мастеровъ не достигъ искусства мастеровъ Гаарлемскихъ и тѣмъ болѣе не превзошелъ ихъ. Скорсби, говоритъ, что у него былъ сложный магнитъ изъ девяти пластинъ, вѣсившій 22 фунта, который могъ поддерживать грузъ отъ 66 ф. до 88 ф. По формулѣ Бернулли, магнитъ вѣсомъ въ 1 фунтъ, намагниченный до той степени, подниметъ отъ 8,4 до 11,3 т. е. меньше чѣмъ на половину того груза, который поднималъ магнитъ гаарлемскій. Скорсби говоритъ также объ одномъ магнитѣ изъ семи пластинъ, приготовленномъ др-мъ Шмидтомъ и составляющимъ собственность Royal Institution. Этотъ магнитъ вѣситъ 16 ф. и поднимаетъ 28 ф. Гаарлемскій магнитъ такого же вѣса, поднялъ бы 150 фунтовъ, Ванъ-дерь-Виллингенъ даетъ другую формулу для подъемной силы Гаарлемскихъ магнитовъ именно:

$$P = B \times K \times \sqrt{S} \times \sqrt[4]{\frac{L}{S} \cdot \frac{L}{I}}$$

гдѣ Р подъемная сила въ килограммахъ, S—площадь одной полюсной поверхности въ квадратныхъ сантиметрахъ, K—периметръ одной полюсной поверхности, I—дѣйствительная длина подковообразнаго магнита, L—«уменьшенная» длина его (т. е. длина между точками на вѣтвяхъ магнита, въ которыхъ наблюдается наибольшій свободный магнетизмъ, когда якорь находится въ соприкосновеніи). Послѣднія величины выражены въ сантиметрахъ. В—коэффициентъ, который мѣняется между 0,7 и 1,2; средняя его величина—0,891.

Подъемная сила полосовыхъ магнитовъ конечно меньше силы подковообразныхъ одного съ ними вѣса и якорь никогда не намагничивается настолько сильно, когда онъ прикасается только къ одному полюсу. Ванъ-дерь-Виллингенъ говоритъ, что у полосовыхъ магнитовъ, приготовленныхъ Ванъ-Ветгереномъ, подъемная сила ровно въ четыре раза меньше, чѣмъ у подковообразныхъ одного съ ними вѣса. Онъ думаетъ, что коэффициентъ Бернулли—*a* (когда единица вѣса—килограммъ), для Гаарлемскихъ полосовыхъ магнитовъ должна быть принята, равной 5. Соответствующее



число для  $a$ , если за единицу вѣса взять фунтъ, будетъ  $6\frac{1}{4}$ . Приготовиль-ли когда кто нибудь изъ англійскихъ мастеровъ полосовой магнитъ въ одинъ фунтъ, который могъ бы поддерживать  $6\frac{1}{4}$  фунтовъ?

### Сохраненіе магнитовъ.

Какъ показываетъ опытъ, магниты составляющіе замкнутую, или почти замкнутую цѣпь менѣе подвержены измѣненіямъ силы, чѣмъ другіе. Поэтому на подковообразные магниты накладываютъ якорь, а полосовыя сохраняютъ парами, устраивая такъ называемыя магазины.

Перемены температуры и сотрясенія, какъ мы видѣли, тоже вліяютъ на измѣненіе силы магнитовъ.

*Прикладываніе якоря съ толчкомъ* можетъ уменьшить магнетизмъ. Якорь надо всегда накладывать осторожно. Лучше всего наложить его около сгиба и потомъ привести къ полюсамъ.

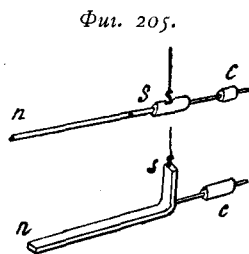
*Отрываніе якоря съ толчкомъ*, съ другой стороны, приноситъ подковообразному магниту только пользу, хотя существуетъ предразсудокъ, что это вредитъ силѣ магнита. Паразитные электрическіе токи, которые возбуждаются въ полюсныхъ массахъ при отрываніи якоря, стремятся увеличить магнетизмъ. Возможно увеличить силу магнита на нѣсколько процентовъ, осторожно прикладывая къ нему якорь, по вышеописанному способу, и затѣмъ быстро отрывая этотъ послѣдній, повторяя эту операцію нѣсколько разъ. Съ другой стороны легко и уменьшить магнетизмъ на нѣсколько процентовъ, накладывая нѣсколько разъ съ толчкомъ якорь и затѣмъ приводя якорь его къ изгибу и тамъ осторожно отнимая.

Полосовые магниты, которые употребляются для измѣреній, не должны никогда касаться другъ друга, или вообще касаться другихъ магнитовъ или желѣзныхъ кусковъ.

### Однополюсные магниты.

Невозможно приготовить магнитъ, который бы имѣлъ только одинъ полюсъ, но легко устроить такъ, чтобы магнитъ дѣйствовалъ, какъ однополюсный. Пусть одинъ изъ полюсовъ магнита,

напримѣръ южный, придется на оси вращения (фиг. 205) и пусть магнитъ будетъ уравновѣшенъ грузомъ *c*. Тогда магнитъ будетъ дѣйствовать, какъ будто онъ обладаетъ однимъ сѣвернымъ полюсомъ. Уравновѣшивающій грузъ можно сдѣлать изъ свинцовой трубки, съ пробкой внутри, и заставить скользить по латунному стержню. На фиг. 205 представлены двѣ формы однополюсныхъ магнитовъ.



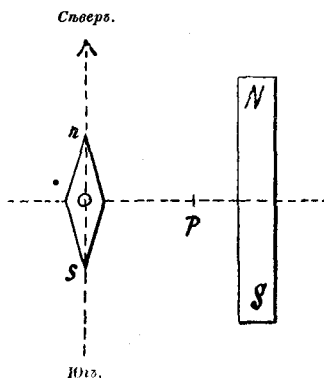
Однополюсные магниты.

### Астатическія системы.

При помощи надлежащихъ приспособленій можно устроить такъ, что на магнитную стрѣлку, которая обыкновенно принимаетъ нѣкоторое положеніе подъ дѣйствіемъ направляющей силы земнаго магнетизма, это дѣйствіе земли не будетъ имѣть вліянія. Такія стрѣлки называются *астатическими*. Существуетъ нѣсколько видовъ астатическихъ системъ.

1) *Компенсирующій магнитъ*. Полосовой магнитъ, помѣщенный бокомъ относительно стрѣлки, на востокъ или на западъ (фиг. 206) или помѣщенный на ея продолженіи къ сѣверу или къ югу, можетъ вполнѣ компенсировать дѣйствіе земнаго поля. Если такой магнитъ находится далеко отъ стрѣлки, то онъ не будетъ дѣйствовать достаточно сильно, но можетъ всегда найти такую точку *P*, что если магнитъ приблизить къ стрѣлкѣ на разстояніе меньшее, чѣмъ разстояніе отъ стрѣлки до этой точки, то стрѣлка повернется на  $180^\circ$ . Когда компенсирующій магнитъ находится въ этой точкѣ, то достаточно весьма малаго его перемѣщенія, чтобы повліять на положеніе стрѣлки. Лучше употреблять большой ком-

Фиг. 206.



Компенсирующій магнитъ.

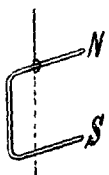
пенсирующій магнитъ, помѣщая его на нѣкоторомъ разстояніи отъ стрѣлки, чѣмъ маленькій, который приходится помѣщать близко отъ нея.

2) *Защищающая оболочка.* Другой способъ защищать магнитную стрѣлку отъ вліянія земнаго магнетизма состоитъ въ помѣщеніи ея въ желѣзную оболочку достаточной толщины.

3) *Вращеніе вокругъ оси, параллельной магнитному наклоненію.* Араго заставлялъ стрѣлку вращаться вокругъ оси, параллельной направленію линіи магнитнаго наклоненія. При этомъ положеніи стрѣлки, нѣтъ слагающей силы, которая дѣйствовала бы на стрѣлку въ плоскости ея вращенія. Поэтому стрѣлка становится астатической.

4) *Астатическое подвѣшваніе.* Изогнутый магнитъ, подобный изображенному на фиг. 207, можно подвѣсить такъ, что онъ станетъ астатическимъ, если его полюсы имѣютъ одина-

Фиг. 207. ковый моментъ, вокругъ оси вращенія. Такую стрѣлку весьма легко устроить и она обладаетъ весьма большой чувствительностью.

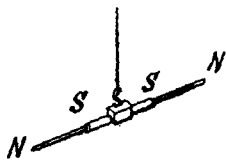


Астатическій магнитъ.

5) *Пара Лебайллифа (Lebailly's pair).* Изъ двухъ стрѣлокъ, одинаковой длины и одинаковаго вѣса, и кромѣ того, намагниченныхъ одинаковымъ образомъ, можно сдѣлать астатическую пару, помѣстивъ ихъ одну на продолженіи другой, какъ показано на фиг. 208.

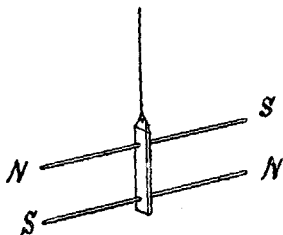
Мѣняя длины плечей рычага, посредствомъ вдвиганія и выдвиганія стрѣлокъ изъ оправы, можно сдѣлать приборъ

Фиг. 208.



Сидероскопъ Лебайллифа.

Фиг. 209



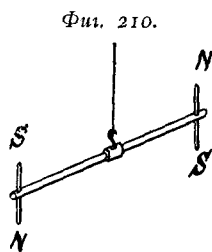
Пара Нобили.

очень чувствительнымъ. При помощи именно такого прибора, названнаго имъ *сидероскопомъ*. Лебайллифъ открылъ такъ называемый діаманетизмъ антимонія.

6) *Пара Нобили*. Самый общепринятый способ устраивать астатическія системы изображенъ на фиг. 209. Въ этой системѣ двѣ магнитныя стрѣлки помѣщены одна надъ другой, причѣмъ полюсъ одной находится надъ южнымъ другой. Такая система позволяетъ достигъ абсолютной астазіи только тогда, когда:—  
*a)* стрѣлки имѣютъ совершенно равные магнитные моменты, и  
*b)* когда онѣ строго параллельны. Обыкновенно ниодно изъ этихъ условій не бываетъ выполнено въ точности. Чтобы достигъ параллельности лучше подвѣшивать нижнюю стрѣлку къ концамъ верхней посредствомъ алюминіевыхъ проволочекъ или листочковъ, а не соединять ихъ посредствомъ центрального, не гибкаго соединенія.

7) *Вертикальная пара*. На фиг. 210 представлена еще одна астатическая система, предложенная авторомъ этой книги въ 1886 году. Подобно системѣ, изображенной на фиг. 207, она имѣетъ то преимущество передъ парами Нобили и Лебайллифа, что на степень астазіи не вліяетъ неравномѣрное измѣненіе магнитныхъ стрѣлокъ.

Существуетъ еще нѣсколько астатическихъ системъ, но ни одна изъ нихъ не примѣняется на практикѣ магнетизма.



Вертикальная астатическая пара.

## ПРИБАВЛЕНІЕ А.

### Электрическія и магнитныя единицы.

По международному соглашенію электротехники употребляютъ слѣдующія главныя единицы:

*Амперъ*—единица силы тока (раньше называлась *веберъ*).

*Вольтъ*—единица электродвижущей силы.

*Омъ*—единица электрическаго сопротивленія.

Эти единицы зависятъ отъ другихъ абстрактныхъ единицъ, которыя сами суть производныя единицы, полученныя при помощи математическихъ разсужденій на основаніи нѣкоторыхъ опытныхъ данныхъ, изъ трехъ основныхъ единицъ:

*Сантиметра*,—единицы длины.

*Грамма*—единицы массы.

*Секунды*—единицы времени.

Система единицъ, основанная на этихъ трехъ основныхъ единицахъ, носитъ названія *абсолютной* \*) или «C. G. S.», системы для отличія отъ другихъ системъ, происходящихъ отъ другихъ основныхъ единицъ.

Каждая система единицъ основана на нѣкоторыхъ опытныхъ данныхъ или законахъ. Электрическій токъ мы можемъ измѣрять только тѣми дѣйствіями, которыя онъ производитъ.

Электрическій токъ можетъ:

- 1) Отлагать металлъ изъ раствора какого нибудь химическаго соединенія.
- 2) Нагрѣвать проволоку, по которой онъ проходитъ.
- 3) Притягивать (или отталкивать) сосѣдній параллельный токъ.
- 4) Производить электрическій зарядъ, который можетъ притягивать (или отталкивать) другой сосѣдній зарядъ.
- 5) Производить магнитное поле, т. е. другими словами, можетъ производить нѣкоторое дѣйствіе на магнитный полюсъ, помѣщенный вблизи отъ него, какъ на примѣръ въ гальванометрахъ.

\*) Для болѣе подробнаго знакомства съ абсолютной системой или системой C. G. S. можно рекомендовать книгу Эверетта «Единицы и физическія постоянныя, а также О. Д. Хвольсона «Объ абсолютныхъ единицахъ».

Каждое изъ этихъ дѣйствій можно выбрать для установленія системы единицъ и, дѣйствительно каждое изъ нихъ и предлагалось для этой цѣли различными учеными. Основаніемъ системы, принятой теперь, по международному соглашенію, повсюду послужили магнитныя дѣйствія тока. Система, основанная на этихъ дѣйствіяхъ тока, будетъ наилучшей, потому что она, во первыхъ, связываетъ между собою единицы электрическія и магнитныя, а во вторыхъ, она сама тѣсно связана съ единицами механическими и поэтому механическія значенія электрическихъ величинъ могутъ быть легко вычислены.

Зная изъ опыта, что электрическій токъ дѣйствуетъ на находящійся вблизи магнитный полюсъ, мы должны со всевозможною точностью опредѣлить законы, по которымъ происходитъ это дѣйствіе. Опыты показали, что, кромѣ силы тока, это дѣйствіе зависитъ еще и отъ другихъ причинъ. Именно, *при прочихъ равныхъ условіяхъ*, сила дѣйствія:

- 1) пропорціональна длинѣ проводника, по которому происходитъ токъ,
- 2) обратно пропорціональна разстоянію между каждымъ элементомъ проводника и полюсомъ,
- 3) пропорціональна напряженности полюса.

Поэтому, чтобы быть точными, мы должны взять 1) проводникъ въ единицу длины, 2) согнуть его въ дугу радіуса, равнаго единицѣ и 3) взять магнитный полюсъ, напряженность котораго равнялась бы единицѣ. Если эти условія выполнены и черезъ проводники пропущенъ такой токъ, что онъ дѣйствуетъ на полюсъ, помѣщенный въ центръ дуги, съ силою, равной единицѣ, то силу такого тока можно принять за единицу силы тока. Токъ вдвое болѣе сильный, чѣмъ этотъ, дѣйствовалъ бы на этотъ же полюсъ съ силою, равной двумъ единицамъ и т. д. Чтобы не отступать отъ точности, намъ теперь надо опредѣлить понятія «единица силы» и «магнитный полюсъ единичнаго напряженія». Для этого опять мы должны обратиться къ даннымъ опыта и выбрать изъ нихъ такія, которыя будутъ наиболѣе пригодны для установленія системы единицъ.

Силу мы должны измѣрять по какому либо изъ ея дѣйствій. Сила можетъ, на примѣръ, 1) поднять какое либо тѣло вверхъ, противодѣйствуя притяженію земли, 2) можетъ растянуть ка-

куюнибудь пружину, 3) можетъ привести въ движеніе какуюнибудь массу т. е., другими словами, придать ей ускореніе. Первое изъ этихъ дѣйствій, принять которое, казалось бы, было натуральнѣе всего, не принято потому, что притяженіе земли не одинаково въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности. Второе дѣйствіе не принято потому, что оно потребовало бы изученія упругихъ свойствъ пружины. Поэтому выбрано третье дѣйствіе силы. Опытъ показываетъ, что скорость движенія, которую придаетъ сила, дѣйствуя на какуюнибудь массу, 1) пропорціональна величинѣ силы, 2) пропорціональна продолжительности времени, въ теченіи котораго она дѣйствуетъ и 3) обратно пропорціональна величинѣ массы. Если, поэтому, мы возьмемъ силу, которая, дѣйствуя на единицу массы (граммъ), въ продолженіе единицы времени (секунды), сообщитъ ей скорость одного сантиметра въ секунду, то такую силу мы можемъ принять за единицу силы. Такая единица силы получила названіе «динь». Замѣтимъ, что притяженіе земли можетъ сообщить массѣ въ одинъ граммъ въ теченіи одной секунды, скорость, равную 32 футамъ или, болѣе точно, 981 сантиметра (на широтѣ Лондона). Поэтому ясно, что сила, съ которою дѣйствуетъ земное притяженіе на одинъ граммъ (т. е. то, что мы обыкновенно называемъ вѣсомъ грамма), равна (на широтѣ Лондона)—981 дину. Сила дѣйствія земнаго притяженія на одинъ фунтъ (т. е. то, что обыкновенно называется вѣсомъ фунта), равняется (на широтѣ Лондона) 444971 дину. Фунтъ на полюсѣ вѣситъ 445879 динь, а на экваторѣ только 443611 динь. Динь есть сила, равная приблизительно 0,0157 вѣса грана (на широтѣ Лондона) или вѣсу одного милиграмма.

Перейдемъ теперь къ опредѣленію единицы напряженія магнитнаго полюса или къ опредѣленію единицы магнетизма. Магнитный полюсъ можетъ: (1) поднять кусокъ желѣза, (2) притянуть (или оттолкнуть) другой магнитный полюсъ, находящійся на нѣкоторомъ разстояніи.

Первое изъ этихъ дѣйствій не можетъ служить основаніемъ системы магнитныхъ единицъ, такъ какъ грузъ, который можетъ поддержать магнитъ, зависитъ не только отъ количества магнетизма на полюсѣ, но и отъ формы и качества желѣза, поднимаемаго груза. Поэтому для основанія системы магнитныхъ единицъ выбраны дѣйствія втораго рода. На основаніи опытовъ из-

вѣстно, что отталкиваніе одного магнита другимъ: (1) пропорціо-  
нально произведенію напряженій полюсовъ и (2) обратно пропор-  
ціоноально квадрату разстояній между ними. Если, поэтому, мы  
выберемъ два равныхъ, подобныхъ полюса такого напряженія,  
чтобы они, находились другъ отъ друга на разстояніи, равномъ  
единицѣ силы, то магнетизмъ такихъ полюсовъ можно принять за  
единицу количества магнетизма. Вернемся теперь къ системати-  
ческому изложенію системы «C. G. S.».

*Абсолютная единица силы* (динъ) есть сила, которая дѣйствуя  
на одинъ граммъ, въ продолженіи одной секунды, придаетъ ему  
скорость одного сантиметра въ секунду.

*Единица магнетизма или единичный магнитный полюсъ* есть  
полюсъ такого напряженія, что будучи помѣщенъ на разстояніи  
одного сантиметра (въ воздухѣ) отъ подобнаго же полюса, будетъ  
дѣйствовать на этотъ послѣдній съ силою одного дина.

*Абсолютная единица силы тока* есть сила такого тока, кото-  
рый, проходя по проводнику, длиною въ одинъ сантиметръ, со-  
гнутому въ дугу радіуса тоже въ одинъ сантиметръ, дѣйствуетъ  
на единичный полюсъ, помѣщенный въ центрѣ дуги, съ силою,  
равной одному дину.

На практикѣ трудно удовлетворить условіями послѣдняго опре-  
дѣленія, такъ какъ гораздо легче устроить цѣлый кругъ радіуса  
въ одинъ сантиметръ, чѣмъ только часть его, длиною въ одинъ  
сантиметръ. Если радіусъ будетъ больше одного сантиметра и  
проводникъ будетъ дѣлать больше одного оборота, какъ это бы-  
ваетъ въ большинствѣ тангенсъ-гальванометровъ, то для вычис-  
ленія силы тока нужна нѣкоторая формула.

Назовемъ черезъ  $r$  длину радіуса въ сантиметрахъ, тогда длина  
окружности будетъ равняться  $2\pi r$ . Назовемъ, дальше, черезъ  $S$   
число оборотовъ проволоки и черезъ  $i$  силу тока, въ абсолют-  
ныхъ единицахъ, по ней проходящаго. Формула, связывающая  
эти данныя съ величиной силы (въ динахъ), съ которой обороты  
будутъ дѣйствовать на единичный полюсъ, помѣщенный въ ихъ  
центрѣ, будетъ

$$\frac{2\pi r S i}{r^2} = F$$



Откуда

$$\frac{2 \pi S i}{r} = F$$

При употребленіи тангенсъ-гальванометровъ, силу, вмѣсто того чтобы измѣрять непосредственно, можно вычислить косвеннымъ путемъ, зная для мѣста наблюденія величину горизонтальной составляющей земнаго магнетизма, которую обыкновенно обозначаютъ черезъ  $H$ , и измѣряя тангенсъ угла отклоненія магнитной стрѣлки, помѣщенной въ центрѣ катушки, обороты которой лежатъ въ плоскости магнитнаго меридіана. Въ этомъ случаѣ сила

$$F = H \times \text{tang } \delta$$

Откуда

$$\frac{2 \pi S i}{r} = H \text{ tang } \delta.$$

Изъ этого слѣдуетъ, что если извѣстны величины  $S$ ,  $r$ ,  $H$ , и тангенсъ угла отклоненія, то величину силы тока  $i$  можно вычислить по слѣдующей формулѣ:

$$i = \frac{r H}{2 \pi S} \text{ tang } \delta.$$

Величины горизонтальной составляющей земнаго магнетизма— $H$  для разныхъ мѣстъ даны въ прилагаемой таблицѣ.

	H
Лондонъ . . . . .	0,18
Глазговъ . . . . .	0,17
Бостонъ . . . . .	0,017
Монтреаль . . . . .	0,147
Ниагара . . . . .	0,167
Нью-Йоркъ и Чикаго . . . . .	0,184
Филадельфія . . . . .	0,194
Вашингтонъ . . . . .	0,20
Берлинъ . . . . .	0,178
Парижъ . . . . .	0,188
Римъ . . . . .	0,24
Санъ-Франциско . . . . .	0,255
Новый Орлеанъ . . . . .	0,28
Петербургъ . . . . .	0,163

Токъ такой силы, о которой мы только что говорили, гораздо сильнѣе, чѣмъ тѣ токи, которые обыкновенно употребляются въ телеграфахъ, и приблизительно равенъ по силѣ тѣмъ токамъ, которыми питаются дуговые лампы. Поэтому удобнѣе имѣть меньшую единицу силы тока и для этого установлена *практическая* единица силы тока, равная  $\frac{1}{10}$  абсолютной единицы и называемая «амперомъ». Для того, чтобы послѣдняя формула давала силу тока въ амперахъ, ее нужно нѣсколько измѣнить, умноживъ вторую часть на 10, тогда мы получимъ формулу:

$$i = \frac{10 r H}{2 \pi S} \operatorname{tang} \delta.$$

Изъ предыдущаго видно, что мы можемъ устроить такой тангенсъ-гальванометръ, который давалъ бы силу тока въ амперахъ, т. е. служилъ бы *амперметромъ*. Для того, чтобы устроить такой гальванометръ, нужно взять изолированную мѣдную проволоку, имѣющую не менѣе трехъ миллиметровъ въ діаметрѣ, и сдѣлать изъ этой проволоки катушку въ пять оборотовъ, радіусъ которой долженъ строго равняться числамъ, приведеннымъ ниже. Такая катушка, когда по ней будетъ проходить токъ въ одинъ амперъ, отклонитъ стрѣлку ровно на  $45^{\circ}$ , т. е. на уголъ, тангенсъ котораго равенъ единицѣ. Поэтому число амперъ тока, проходящаго по катушкѣ, всегда будетъ равно тангенсу угла отклоненія. Величина радіуса катушки должна быть обратно пропорціональна величинѣ горизонтальной составляющей земнаго магнетизма, въ томъ мѣстѣ, гдѣ установленъ гальванометръ. Для Лондона, гдѣ  $H=0,18$ , радіусъ катушки долженъ равняться 17,45 сант. или  $6\frac{7}{8}$  дюйма. Величины радіусовъ для другихъ мѣстъ приведены въ таблицѣ, помѣщенной на слѣдующей страницѣ.

Намъ нужно еще замѣтить, что токъ, силою въ одинъ амперъ, отлагаетъ въ продолженіи часа 1,177 грамма (или 18,116 грана) мѣди изъ раствора мѣдной соли. Изъ раствора серебряной соли въ то же время онъ выдѣлитъ 4,024 грамма (или 60,52 грана).

Перейдемъ теперь къ опредѣленію другихъ электрическихъ единицъ. *Электродвижущая сила* баттарей или динамомашинъ есть ни что иное, какъ другое названіе той силы, съ которой она проводитъ электричество сквозь проводникъ. (Электродвижущая сила раньше называлась «*напряженіемъ*» тока въ отличіе

отъ «количества» тока). Иногда электродвижущая сила называется электрическимъ «давленіемъ». Для выбора единицы электродвижущей силы нужно взять опять таки одно изъ данныхъ опыта. Электродвижущая сила—(1) пропорціональна силѣ тока, проходящаго въ проводникѣ данного сопротивленія, (2) пропорціональна количеству электричества, которое она можетъ заставитьъ зарядить конденсаторъ данной емкости и (3) пропорціональна числу магнитныхъ линій силъ, пересѣкаемыхъ въ секунду проводникомъ, движущимся въ магнитномъ полѣ.

М ъ С Т О.	Горизонтал. составл. Н.	Радиусъ катушки.	
		въ сантимет.	въ дюйм.
Монреаль . . . . .	0,147	21,37	8,41
Галифаксъ . . . . .	0,159	19,75	7,76
Глазговъ и Бостонъ . . . . .	0,170	18,50	7,28
Берлинъ . . . . .	0,178	17,65	6,95
Нью-Йоркъ и Чикаго . . . . .	0,184	17,07	6,72
Парижъ . . . . .	0,188	16,76	6,60
Филадельфія . . . . .	0,194	16,19	6,37
Вашингтонъ . . . . .	0,200	15,70	6,18
Санъ-Франциско . . . . .	0,255	12,32	4,85
Новый Орлеанъ . . . . .	0,280	11,22	4,42
Бомбей . . . . .	0,330	9,52	3,75
С.-Петербургъ . . . . .	0,163	19,43	7,77

Для опредѣленія единицы электродвижущей силы можно было бы выбрать первое изъ опытныхъ данныхъ, если бы была извѣстна единица сопротивленія, но лучше сдѣлать наоборотъ; опредѣлить иначе единицу электродвижущей силы, а на основаніи этого факта, опредѣлить единицу сопротивленія. Второе изъ данныхъ удобно для опредѣленія единицы емкости. Поэтому для опредѣленія единицы электродвижущей силы выбрано третье изъ данныхъ, тѣмъ болѣе, что оно весьма удобно для этой цѣли.

Ясноѣ, за единицу электродвижущей силы мы должны принять такую электродвижущую силу, которая появляется въ движущемся проводникѣ, пересекающемъ въ секунду одну магнитную линію. Но чтобы это опредѣленіе сдѣлать совершенно яснымъ, намъ надо раньше опредѣлить, что такое магнитныя линіи силъ. Такъ называемыя магнитныя линіи силъ изображаютъ своимъ направлениемъ, направленіе равнодѣйствующей магнитныхъ силъ, дѣйствующихъ въ точкахъ, черезъ которыя эти линіи проходятъ. Пространство, въ которомъ находятся магнитныя линіи называется «*магнитнымъ полемъ*». Чтобы выразить, при помощи магнитныхъ линій, не только направленіе магнитныхъ силъ, но и *числовую* ихъ величину, сдѣлано слѣдующее условіе: припомнивъ, что опытъ показываетъ, что дѣйствіе, которое испытываетъ магнитный полюсъ, помѣщенный въ магнитное поле, пропорціонально напряженію этого поля, рѣшимъ проводить черезъ каждый квадратный сантиметръ столько линій, съ силой сколькихъ динъ въ этомъ мѣстѣ поле дѣйствуетъ на единичный магнитный полюсъ. Напримѣръ, если въ какомъ нибудь мѣстѣ поле дѣйствуетъ на единичный полюсъ съ силою 40 динъ, то въ этомъ мѣстѣ мы должны провести, или предположить проведенными 40 линій на каждый квадратный сантиметръ. Такъ какъ въ Лондонѣ горизонтальная составляющая земнаго магнетизма равна 0,18 (динъ на единичный полюсъ), то намъ нужно провести только 18 линій на каждый квадратный сантиметръ вертикальной плоскости, расположенной по направленію Востокъ-Западъ.

Вернувшись къ опредѣленію электродвижущей силы, мы видимъ, что если подвижной проводникъ пересекаетъ въ секунду только одну линію, то возбужденная электродвижущая сила будетъ равняться одной абсолютной единицѣ, въ системѣ С. G. S. Такая единица слишкомъ мала. Дѣйствительно, въ такихъ единицахъ, электродвижущая сила, напримѣръ, элемента Даніэля будетъ равняться 11000000, а элемента Латимеръ-Клэрка—14340000. Поэтому для практическихъ цѣлей принята другая единица, равная ста милліонамъ абсолютныхъ единицъ С. G. S. и называемая «*вольтъ*». Слѣдовательно электродвижущая сила въ одинъ «*вольтъ*», есть такая электродвижущая сила, которая появится въ движущемся проводникѣ, пересекающемъ сто милліоновъ ( $10^8$ ) магнитныхъ линій въ секунду. Электродвижущая сила элемента

Даніэля равняется 1,1 вольта, а элемента Латимэръ-Клэрка — 1,434 вольта.

Приборы, служащіе для измѣренія электродвижущихъ силъ носятъ названіе *вольтметровъ*.

Перейдемъ теперь къ опредѣленію единицы электрическаго *сопротивленія*. Опытъ показалъ, что сила тока, возбуждаемаго въ какомъ нибудь проводникѣ данной электродвижущей силой, зависитъ отъ того сопротивленія, которое представляетъ данный проводникъ теченію электричества. Согласно извѣстному закону Ома, токъ будетъ слабѣе, когда сопротивленіе будетъ больше.

По закону Ома сила тока прямо пропорціональна электродвижущей силѣ и обратно пропорціональна сопротивленію проводника. Если черезъ  $E$  мы назовемъ число единицъ электродвижущей силы, черезъ  $R$  число единицъ сопротивленія въ проводникѣ, черезъ  $i$  силу тока, то законъ Ома выражается такъ:

$$\frac{E}{R} = i$$

т. е. силу тока можно вычислить, раздѣливъ число единицъ электродвижущей силы на число единицъ сопротивленія. Иначе законъ Ома можно написать, въ видѣ

$$E = R i$$

что удобно, когда нужно вычислить электродвижущую силу, которая произведетъ требуемый токъ въ проводникѣ даннаго сопротивленія.

Положимъ теперь, что мы желаемъ произвести при помощи электродвижущей силы, равной единицѣ, токъ, силою тоже равный единицѣ. Единицы въ этомъ случаѣ возьмемъ такія, какія мы только что опредѣлили т. е. абсолютныя единицы C. G. S. Чтобы получить такой токъ, намъ надо употребить проводникъ весьма малаго сопротивленія, иначе такая слабая электродвижущая сила, какъ въ одну абсолютную единицу, не дастъ тока, силою тока въ одну единицу. По закону Ома, т. е. по формулѣ,

$$\frac{\text{единица электродвижущей силы}}{\text{единица сопротивленія}} = \text{единица силы тока,}$$

мы можемъ опредѣлить такое сопротивленіе и принять его за абсолютную единицу сопротивленія, въ системѣ C. G. S.

Но, такъ какъ, мы имѣемъ другія практическія единицы электродвижущей силы и силы тока, то нужно найти и соответствующую практическую единицу сопротивленія. Простыя соображенія покажутъ, что такая единица должна равняться тысячѣ милліоновъ абсолютныхъ единицъ. Дѣйствительно законъ Ома даетъ:

$$\frac{\text{сто милліоновъ С. G. S. единицъ электродвижущей силы}}{\text{тысячу милліоновъ С. G. S. единицъ сопротивленія}} = \\ = \frac{1}{10} \text{ С. G. S. единицъ силы тока.}$$

Такая единица сопротивленія носитъ названіе «Омъ». Для ея опредѣленія было сдѣлано много работъ и Британская Ассоціація приготовила проволочныя катушки, сопротивленія которыхъ долгое время считались равными *Ому*. Но позднѣйшія изслѣдованія показали, что сопротивленіе этихъ катушекъ было нѣсколько меньше Ома. Въ 1882 году международный конгрессъ постановилъ считать за *омъ*—сопротивленіе столба ртути, длиною въ 106 сантиметровъ, имѣющаго одинъ кв. миллиметръ сѣченія, при температурѣ таянія льда. По болѣе точнымъ наблюденіямъ Лорда Ралэя, Омъ представляетъ сопротивленіе столба ртути въ 106,3 сант. и теперь Board of Trade намѣревается ввести въ Англіи такой эталонъ.

Сопротивленія проводниковъ измѣряются обыкновенно, сравнивая ихъ съ «эталонами сопротивленія», собраніе такихъ эталонныхъ разной величины (напр. въ 1, 2, 3 и т. д. омовъ) называется «магазинами сопротивленій». Для сравненія сопротивленій употребляютъ два способа, основанныхъ, одинъ на употребленіи дифференціального гальванометра, другой—на употребленіи мостика Витстона. За болѣе подробными свѣдѣніями относительно этого предмета, читатель долженъ обратиться къ руководствамъ по электрическимъ измѣненіямъ.

Приблизительное понятіе о сопротивленіи, называемомъ омомъ, можно себѣ составить, зная что сопротивленіе одной мили (1600 метровъ) обыкновенной желѣзной проволоки равняется  $13\frac{1}{2}$ —20 омамъ.

Электротехники употребляютъ еще единицу *энергии*, чтобы выражать величину работы, производимую въ секунду какой либо электрической системой.

Чтобы вычислить работу, производимую токомъ, проходящимъ по проводнику, мы должны измѣрить число *амперъ* этого тока, и число *вольтъ* электродвижущей силы въ этой части цѣпи. Зная эти двѣ величины, нужно ихъ перемножить.

Совершенно подобно тому, какъ механики выражаютъ энергію въ «*фунто-футахъ*», электротехники выражаютъ ее числомъ «*вольтъ-амперовъ*» или, какъ иначе говорятъ въ «*ваттахъ*». Вычисления показываютъ, что «*ваттъ*» или *вольтъ-амперъ* равенъ одной семьсотъ сорокъ шестой лошадиной силы ( $\frac{1}{746}$ ).

Возьмемъ слѣдующій примѣръ на вычисленіе электрической энергіи: положимъ, что намъ нужно узнать, какая энергія тратится дуговой лампой. Пусть, на примѣръ, вольтметръ покажетъ, что напряженіе тока между зажимами лампы равняется 57 вольтамъ, а амперметръ, что черезъ лампу проходитъ токъ, силою въ 10,5 ампера. Произведеніе этихъ величинъ равняется 598,5 ваттъ. Раздѣливъ на 746, мы получимъ число 0,80 лошадиныхъ силъ. Величинѣ въ 1000 ваттовъ дано имя *киловатта*. Одинъ киловаттъ приблизительно равняется  $1\frac{1}{3}$  лошадиной силы.

Единица самоиндукціи, носящая различныя названія: *секомъ*, *квадъ*, *квадрантъ* и *Генри*, самаго новаго происхожденія. Если по обмоткѣ катушки проходитъ токъ, мѣняющій свою силу, то число магнитныхъ линій, производимыхъ этимъ токомъ, будетъ тоже мѣняться и это измѣненіе будетъ индуктировать въ оборотахъ того же проводника электродвижущую силу, которая будетъ препятствовать измѣненію силы тока. Символь, который обыкновенно употребляется для обозначенія коэффициента самоиндукціи, есть буква L. Предполагается, что если замкнуть или разомкнуть въ катушкѣ токъ, силою равный одному амперу, то обороты этой катушки пересѣкутъ L магнитныхъ линій. Чтобы практическая единица соотвѣтствовала вольту, ому и т. д., она взята равной  $10^9$  С. Е. S. единицъ, или одной омъ-секундѣ. Поэтому говорятъ, что коэффициентъ самоиндукціи какой нибудь катушки равенъ *секому* (*квадранту* или *генри*), когда при замыканіи и размыканіи тока въ одинъ амперъ, отъ пересѣченія всѣми оборотами катушки магнитныхъ линій, получаются тѣ же результаты, которые получились бы при пересѣченіи  $10^9$  магнитныхъ линій однимъ оборотомъ.

Если скорость перемѣны силы тока въ какой нибудь моментъ времени выражается частнымъ  $\frac{di}{dt}$ , то индуцированная электродвижущая сила, препятствующая измѣненію тока, будетъ:

$$= -L \frac{di}{dt}$$

Для данной формы и объема катушки коэффициентъ самоиндукціи пропорціоналенъ квадрату числа оборотовъ проволоки въ этой катушкѣ.

Присутствіе желѣзнаго сердечника сильно увеличиваетъ вліяніе самоиндукціи, но дѣлаетъ и самый коэффициентъ самоиндукціи величиной перемѣнной, зависящей отъ проницаемости желѣзнаго сердечника.

Болѣе подробныя свѣденія можно найти въ каждомъ учебникѣ электричества.



## ПРИБАВЛЕНИЕ Б.

### Приложение къ главѣ IV и V.

Вычисленіе возбуждающей силы, утечки и т. д.

*Объясненіе знаковъ, употребленныхъ въ текстъ.*

- N* — общее число магнитныхъ линій, проходящихъ черезъ магнитную цѣпь (въ единицахъ С. G. S. одна линія на квадратный сантиметръ представляетъ такую напряженность магнитнаго поля, что въ немъ на единицу магнитнаго полюса приходится одинъ динъ), иначе называемое *магнитнымъ потокомъ*.
- B* — число магнитныхъ линій силъ на кв. сантиметръ въ желѣзѣ; иначе называемое *индукціей*, или внутреннимъ намагничиваніемъ.
- B'* — число магнитныхъ линій на кв. дюймъ желѣза.
- H* — магнитная сила или напряженность магнитнаго поля, выраженная числомъ магнитныхъ линій на квадратный сантиметръ въ воздухѣ.
- H'* — магнитная сила, выраженная числомъ магнитныхъ линій на кв. дюймъ въ воздухѣ.
- $\mu$  — *проницаемость* желѣза и другихъ веществъ, т. е. магнитная проводимость или умножающая способность для магнитныхъ линій.
- A* — площадь поперечнаго сѣченія въ кв. сантиметрахъ.
- A'* — площадь поперечнаго сѣченія въ кв. дюймахъ.
- l* — длина въ сантиметрахъ.
- l'* — длина въ дюймахъ.
- S* — число оборотовъ въ намагничивающей обмоткѣ.
- i* — сила электрическаго тока, выраженный въ амперахъ.
- v* — коэффициентъ скидки для утечки, т. е. отношеніе всего магнитнаго потока къ полезной его части (это величина всегда большая единицы).

Соотношеніе между единицами.

1 дюймъ . . . . .	= 2,54 сантиметра.
1 сантим. . . . .	= 0,3937 дюйма.
1 кв. дюймъ. . . . .	= 6,45 кв. сантиметровъ.
1 кв. сантим. . . . .	= 0,1550 кв. дюйма.
1 кубич. дюймъ . . . . .	= 16,39 кубич. сантиметра.
1 кубич. сантим. . . . .	= 0,0610 куб. дюйма.

Вычисленіе В и В" изъ силы приставанія.

Если Р обозначаетъ силу, а А площадь, на которую она дѣйствуетуеъ, то можно пользоваться слѣдующими формулами (вытекающими изъ закона Максвелля).

$$B = 4965 \sqrt{\frac{P \text{ килогр.}}{A \text{ кв. сантим.}}}$$

$$B = 1316,6 \sqrt{\frac{P \text{ фунтовъ}}{A \text{ кв. дюймовъ.}}}$$

или

$$B'' = 8494 \sqrt{\frac{P \text{ фунтовъ.}}{A \text{ кв. дюймовъ.}}}$$

Вычисленіе поперечнаго сѣченія, необходимаго для приставанія съ данной силой.

Не слѣдуетъ употреблять силу приставанія болѣе чѣмъ 150 ф. на кв. дюймъ для сердечника изъ мягкаго кованнаго желѣза и 28 ф. на кв. дюймъ для сердечника изъ чугуна. Раздѣливъ вѣсъ груза, который долженъ поддерживать электромагнитъ на одно изъ этихъ чиселъ, получимъ величину поперечнаго сѣченія сердечника изъ кованнаго желѣза или изъ чугуна.

### Вычисленіе проницаемости изъ В или В"

Это вычисленіе можно сдѣлать, пользуясь числовыми таблицами (вродѣ таблицы III или IV'), или кривыми (какъ на фиг. 35 и 36), гдѣ приведены результаты измѣреній, сдѣланныхъ надъ образчиками желѣза тѣхъ сортовъ, которыми нужно пользоваться. Для двухъ сортовъ желѣза, къ которымъ относится таблица IV', значенія  $\mu$  могутъ быть *приблизительно* вычислены по слѣдующимъ формуламъ:

$$\text{Для отоженнаго, кованнаго желѣза } \mu = \frac{17000 - B}{3,5}$$

$$\text{Для сѣраго чугуна } \mu = \frac{7000 - B}{3,2}$$

Этими формулами не слѣдуетъ пользоваться для мягкаго желѣза въ томъ случаѣ, когда сила приставанія меньше 28 фун. на кв. дюймъ, а для чугуна, когда она меньше  $2\frac{1}{4}$  фун. на квадратный дюймъ.

Вычисленіе величины магнитнаго потока, который можно пропускать черезъ сердечникъ даннаго поперечнаго сѣченія.

Было уже показано, что не слѣдуетъ вести намагничиваніе дальше 100.000 линій на кв. дюймъ для мягкаго желѣза и дальше 42.000 линій на кв. дюймъ для чугуна. Это самыя большія величины, которыя можно брать при проектированіи электромагнитовъ. Величина всего магнитнаго потока получится, умноживъ выбранное число на число квадр. дюймовъ поперечнаго сѣченія.

Вычисленіе намагничивающей силы, необходимой для того, чтобы провести данное число магнитныхъ линій черезъ опредѣленное магнитное сопротивленіе.

Умножимъ число, представляющее магнитное сопротивленіе, на число магнитныхъ линій, которое нужно провести сквозь него.

Произведеніе будетъ величина магнитодвижущей силы. Если магнитное сопротивленіе было выражено въ единицахъ, въ которыхъ основной единицей длины служить сантиметръ, то, для того, чтобы получить необходимое число амперъ-оборотовъ намагничивающей силы, нужно полученную предыдущимъ способомъ магнитодвижущую силу раздѣлить на 1,2566 (т. е. на  $\frac{4\pi}{10}$ ). Если же магнитное сопротивленіе выражено въ системѣ, въ которой за единицу длины принять дюймъ, то вычисленная по предыдущему правилу магнитодвижущая сила, прямо даетъ число амперъ-оборотовъ.

### Вычисленіе магнитнаго сопротивленія желѣзнаго стержня.

а) *Случай, когда размеры даны въ сантиметрахъ.* Такъ какъ магнитное сопротивленіе прямо пропорціонально длинѣ, и обратно пропорціонально площади поперечнаго сѣченія и проницаемости, то формула будетъ слѣдующая:

$$\text{Магнитное сопротивленіе} = \frac{l}{A \cdot \mu}$$

Но величину  $\mu$  мы можемъ узнать изъ таблицы III только тогда, когда знаемъ величину В.

б) *Случай, когда размеры даны въ дюймахъ.* Въ этомъ случаѣ мы можемъ пользоваться коефициентомъ, въ который входитъ число, зависящее отъ перемѣны единицы (2,54) и въ то же время число  $\frac{4\pi}{10}$  (=1,2566) на которое нужно раздѣлить магнито движущую силу, чтобы получить число амперъ-оборотовъ. Такимъ образомъ получаемъ формулу:

$$\text{Магнитное сопротивленіе} = \frac{l}{A'' \mu} \times 0,3132.$$

*Примѣръ.* Найти магнитное сопротивленіе отъ одного конца до другаго въ желѣзной кованной полосѣ въ 10 д. длиною, поперечное сѣченіе которой равно 4 квадр. дюймамъ, предполагая, что сквозь нее пройдетъ магнитный потокъ въ 440000.

## Вычисленіе всего магнитнаго сопротивленія магнитной цѣпи.

Для того, чтобы получить величину этого сопротивленія надо вычислить магнитныя сопротивленія отдѣльныхъ частей цѣпи и сложить ихъ. Однако надо принять въ расчетъ и утечку. Потокъ раздѣляется и часть его проходитъ черезъ катушку, часть же по путямъ утечки, слѣдовательно тутъ играетъ роль и законъ развѣтвленій и сопротивленіе пути будетъ равно обратной величинѣ суммы обратныхъ величинъ сопротивленій двухъ этихъ развѣтвленій. Въ простѣйшемъ случаѣ магнитная цѣпь состоитъ изъ трехъ частей: 1) катушка, 2) воздухъ въ двухъ слояхъ, 3) сердечникъ магнита. Сопротивленіе этихъ трехъ частей могутъ быть вычислены отдѣльно, какъ показано на слѣдующей таблицѣ

	Един. длины сант.	Един. длины дюйм.
1. Катушка . . .	$\frac{l_1}{A_1 \mu_1}$	$\frac{l''_1}{A''_1 \mu_1} \times 0,3132$
2. Слои воздуха .	$2 \frac{l_2}{A_2}$	$2 \frac{l''_2}{A''_1 \mu_1} \times 0,3132$
3. Сердечники . .	$\frac{l_3}{A_3 \mu_3}$	$\frac{l''_3}{A''_3 \mu_3} \times 0,3132$

Если желѣзо катушки и сердечника одного качества и намагничено до той-же степени насыщенія, то  $\mu$  и  $\mu_3$  будутъ равны. Для воздушныхъ слоевъ  $\mu = 1$  и поэтому оно не написано.

Если бы не было утечки, то все сопротивленіе равнялось бы просто суммѣ этихъ трехъ, но благодаря ей оно уменьшается.

## Вычисленіе числа амперь-оборотовъ намагничивающей силы, необходимыхъ для того, чтобы провести желаемый магнитный потокъ сквозь сопротивленіе всей магнитной цѣпи.

а) Въ случаѣ, когда размѣры даны въ сантиметрахъ правило для вычисленія будетъ слѣдующее:

Число амперь-оборотовъ равняется магнитному потоку, умноженному на магнитное сопротивление цѣпи и раздѣленному на  $4/10 \pi$ , т. е. на 1,2566.

Отдѣльно три числа амперь-оборотовъ, требуемыхъ для трехъ главныхъ магнитныхъ сопротивленій цѣпи будутъ:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Число амперь-оборотовъ, нужныхъ, чтобы} \\ \text{провести } N \text{ линий черезъ желѣзо арматуры} \end{array} \right\} = N \times \frac{l_1}{A_1 \mu_1} : \frac{4 \pi}{10}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Число амперь-оборотовъ, нужное, чтобы} \\ \text{привести } N \text{ линий черезъ два воздушные слоя} \end{array} \right\} = N \times \frac{2 l_2}{A_2} : \frac{4 \pi}{10}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Число амперь-оборотовъ, нужное, чтобы} \\ \text{провести } v N \text{ линий черезъ желѣзный сердечникъ} \\ \text{магнита . . . . .} \end{array} \right\} = v N \times \frac{l_3}{A_3 \mu_2} : \frac{4 \pi}{10}$$

Складывая эти величины, получимъ:

$$\text{Общее число амперь-оборотовъ} = \frac{10}{4 \pi} N \left\{ \frac{l_1}{A_1 \mu_1} + \frac{2 l_2}{A_2} + \frac{v l_3}{A_3 \mu_2} \right\}$$

*b) Въ случаѣ, когда размеры даны въ дюймахъ, правило будетъ такое:*

Число амперь-оборотовъ равняется магнитному потоку, умноженному на магнитное сопротивление цѣпи, или по частямъ:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Число амперь-оборотовъ, нужныхъ, чтобы} \\ \text{провести } N \text{ линий сквозь желѣзо арматуры} \end{array} \right\} N \times \frac{l_1}{A''_1 \mu_1} \times 0,3132.$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Число амперь-оборотовъ, нужное, чтобы} \\ \text{провести } N \text{ линий черезъ два слоя воздуха} \end{array} \right\} N \times \frac{2 l''_2}{A''_2} \times 0,3132.$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Число амперь-оборотовъ, нужное, чтобы} \\ \text{провести } v N \text{ линий черезъ желѣзн. сердечн.} \\ \text{магнита . . . . .} \end{array} \right\} v N \times \frac{l''_3}{A''_3 \mu_3} \times 0,3132.$$

Складывая полученные числа, будемъ имѣть:

$$\text{Общее число амперь-оборотовъ} = 0,3132 N \left\{ \frac{l''_1}{A''_1 \mu_1} + \frac{2 l''_2}{A''_2} + \frac{v l''_3}{A''_3 \mu_3} \right\}$$

Замѣтимъ, что мы ввели сюда  $v$  — коэффициентъ для утечки. Какъ вычислять его, будетъ показано дальше. Пока замѣтимъ, что если приближительная величина  $v$  извѣстна заранее, то

можно упростить вычисления, взявши сердечникъ съ поперечнымъ сѣченіемъ въ  $v$  разъ большимъ, чѣмъ сѣченіе арматуры. Напримѣръ, если извѣстно, что число линій, которое теряется черезъ утечку, равно числу линій, которыя съ пользой проходятъ черезъ арматуру, т. е.  $v = 2$ , то нужно взять для сердечниковъ желѣзо съ сѣченіемъ вдвое бѣльшимъ, чѣмъ для арматуры. Въ этомъ случаѣ  $\mu_3$  будетъ приблизительно равно  $\mu_1$ .

### Вычисленіе коэффициента $v$ для утечки.

Коефициентъ  $v$  равенъ величинѣ всего магнитнаго потока, произведеннаго въ магнитѣ, раздѣленной на величину магнитнаго потока, который съ пользой проходитъ черезъ арматуру. Полезныя и потерянные магнитныя потоки пропорціональны проницаемости ихъ путей. Проницаемость или магнитная проводимость есть обратная величина магнитнаго сопротивленія. Назовемъ проницаемость полезнаго пути черезъ арматуру и слои воздуха черезъ  $u$ , а проницаемость путей въ разсѣянномъ полѣ  $w$ , тогда

$$v = \frac{u + w}{u}$$

Величина  $w$  находится по таблицѣ XIV или другимъ свѣдѣніямъ объ утечкѣ, но должна быть раздѣлена на 2, такъ какъ средняя величина магнитнаго потенциала на поверхности истеченія равна только приблизительно половинѣ величины потенциала на конечныхъ поверхностяхъ полюсовъ.

### Правила для опредѣленія магнитной утечки.

(Правила отъ I до III принадлежатъ проф. Форбесу).

I. *Проницаемость между двумя параллельными плоскостями, находящимися другъ противъ друга.* Пусть площади этихъ плоскостей будутъ  $A''_1$  и  $A''_2$  кв. дюймовъ, разстояніе же между ними  $d''$  дюймовъ, тогда:

$$\text{Проницаемость} = 3,193 \times \frac{1}{2} (A''_1 + A''_2) : d''$$

II. *Проницаемость между двумя равными смежными прямоугольными площадями, лежащими въ одной плоскости.* Положимъ, что

линии потока будут полукруги, и что даны расстояния  $d''_1$  и  $d''_2$  между ближайшими и дальними краями, а также и длина параллельных сторон  $a''$ , тогда

$$\text{Проницаемость} = 2,274 \times a'' \log_{10} \frac{d''_2}{d''_1}$$

III. Проницаемость между двумя параллельными равными площадями, лежащими в одной плоскости на некоторомъ разстояніи другъ отъ друга. Положимъ, что линии утечки будутъ четверти окружности, соединенныя прямыми линиями, тогда:

$$\text{Проницаемость} = 2,274 \times a'' \times \log_{10} \left\{ 1 + \frac{\pi (d''_2 - d''_1)}{2 d''_1} \right\}$$

IV. Проницаемость между двумя площадями, находящимися подъ прямымъ угломъ. Проницаемость въ случаѣ угла въ  $90^\circ$  равна двойной проницаемости случаевъ II и III.

Проницаемость въ случаѣ угла  $270^\circ$  равна  $2/3$  проницаемости случая II.

Если размѣры даны въ сантиметрахъ, то эти формулы становятся слѣдующими:

- I.  $1/2 (A_1 + A_2) : d$
- II.  $\frac{a}{\pi} \log_e \frac{d_2}{d_1}$
- III.  $\frac{a}{\pi} \log_e \left( 1 + \frac{\pi (d_2 - d_1)}{2 d_1} \right)$

V. Проницаемость между двумя параллельными цилиндрами неопредѣленной длины. Формула для вычисленія сопротивленія дана раньше (въ главѣ V). Проницаемость есть обратная величина этого сопротивленія. Таблица XIV облегчаетъ вычисленія.



# УКАЗАТЕЛЬ.

## А

	СТРАН.
Абданка, поляризованный звонок . . . . .	282
Абеля, изслѣдованія составовъ стали. . . . .	378
Адера, телефонный пріемникъ. . . . .	288
Ампера, изслѣдованія. . . . .	9
Амперъ оборотовъ, вычисленіе числа. . . . .	127, 191, 416
Андре, уравниваніе силы магнита . . . . .	268
Араго, изслѣдованія . . . . .	9
Арматуры, вліяніе, на постоянныя магниты. . . . .	204
»    вліяніе формы . . . . .	182
»    положеніе и форма . . . . .	173, 182
»    положеніе подъ угломъ къ линіи, соединяющей полюсы . . . . .	38
»    круглыя и плоскія . . . . .	182
Арона, способъ обмотки катушекъ . . . . .	357
Астатическія системы . . . . .	397
Айртона, распредѣленіе свободнаго магнетизма. . . . .	135, 136
Айртона и Перри, вольтметры . . . . .	259
»    «    трубчатые электромагниты . . . . .	262
»    «    о магнитныхъ развѣтвленіяхъ . . . . .	5

## Б

Барловъ, магнетизмъ въ длинныхъ полосахъ . . . . .	173
Барлово колесо . . . . .	9
Барретъ, рекалесценція . . . . .	378
Барусъ, изслѣдованія . . . . .	373, 375, 385
Батареи, соединеніе для наиболѣе быстроа дѣйствія . . . . .	217
»    сопротивленіе для наилучшаго дѣйствія . . . . .	218
»    употреблявшіяся Стурженомъ . . . . .	11
Белль (А. Г.) электромагнитъ съ желѣзной обкладкой . . . . .	53
»    телефонный пріемникъ . . . . .	53, 287
Бернулли, законъ приставанія . . . . .	124, 392
Бидвелль, электромагнитное ружье . . . . .	277
»    измѣренія проницаемости . . . . .	78
Бозанке, изобрѣтенія . . . . .	69, 70, 118, 384
»    магнитодвижущая сила . . . . .	69
»    измѣренія проницаемости . . . . .	69
Боковое приближеніе . . . . .	270, 341
Бреттъ, поляризованный магнитъ . . . . .	280
Бриссонъ, способъ обматыванія. . . . .	195
Броки-Пелль, дифференціальная катушка съ подвижнымъ стержнемъ . . . . .	257
Бруунъ и Вилліамсъ, механизмъ, дѣйствующій отталкиваніемъ . . . . .	276, 277
Брюгеръ, катушка съ подвижнымъ сердечникомъ . . . . .	249
Брѣшъ и Комп., магнитный сепараторъ . . . . .	296
Бюрнеттъ, уравниваніе силы магнита . . . . .	269
Бэнь, электрическіе маятники . . . . .	314
механизмъ съ подвижной катушкой . . . . .	287

## В

Вагнеръ, вибраціонный механизмъ . . . . .	300
Вагенеръ, электрическій звонокъ . . . . .	304
Валль, магнитный сепараторъ . . . . .	295
Вальмслей, магнитное сопротивление воздуха . . . . .	171
Ванъ деръ Виллигенъ, о Гаарлемскихъ магнитахъ . . . . .	381, 393
Ванъ Веттеренъ, дѣлавшій Гаарлемскіе магниты . . . . .	381, 393
Варлей, (С. F.) способъ обматыванія катушекъ . . . . .	356
» » электромагнитъ съ вѣшной желѣзной обкладкой . . . . .	53
» (С. А.) электромагнитъ . . . . .	206
» » поляризованные магниты . . . . .	280
Ватергузъ, вращающаяся арматура . . . . .	291
Васки, коэффициенты самоиндукціи . . . . .	220
Ваттъ, (см. единицы) . . . . .	400
Вибраторы . . . . .	308
Винцентъ, примѣненіе принципа магнитной цѣпи къ проектированію динамомашинъ . . . . .	4
Виллансъ, магнитное соединеніе . . . . .	298
Витстонъ, уравниватель для телеграфныхъ аппаратовъ . . . . .	272
Воздушнаго слоя, вліяніе—въ магнитной цѣпи . . . . .	84, 158
» » » на магнитное сопротивление . . . . .	158, 167
Вольтъ, діаграммы—для переменныхъ токовъ . . . . .	320, 322
Вольтъ, (см. единицы) . . . . .	400
Вязкій гистерезисъ . . . . .	105

## Г

Гаарлемскіе магниты . . . . .	381
Гайзера, электромагнитные арматуры . . . . .	263
Гальванометровъ, обмотка для » . . . . .	193
Ганкель, магнетизмъ длинныхъ полосъ . . . . .	175
» Работа катушекъ съ подвижнымъ стержнемъ . . . . .	247
Гармоническій телеграфный передатчикъ . . . . .	315
Гаусса, магнитныя измѣренія . . . . .	154
Геккера, законъ приставанія . . . . .	124
Гельмгольцъ, законы для прерывистыхъ токовъ . . . . .	211
Генри, единица самоиндукціи . . . . .	333, 410
Генри опыты . . . . .	17
» двигатели . . . . .	304, 338
Гиллемень, соленоидъ съ вѣшной желѣзной обкладкой . . . . .	247
Гипсъ, электрическіе часы . . . . .	314
Гистерезисъ . . . . .	95
» вязкій . . . . .	105
Гиршбергъ, электромагнитъ въ хирургіи . . . . .	360, 361
Глезенеръ, поляризованные магниты . . . . .	281
Гопкинсонъ: понудительная сила въ стали . . . . .	367
» кривая намагничиванія . . . . .	74, 77
» наибольшее намагничиваніе . . . . .	81
» измѣреніе проницаемости . . . . .	69, 74
Грове, протяженность дѣйствія . . . . .	235
Грэй (Андрю) объ уменьшеніи магнетизма . . . . .	384
Грэй (Элиза) гармоническіе передатчики . . . . .	315
Гуденъ, уравниватель . . . . .	269
Гукгамъ магниты постоянной силы . . . . .	388
Гэфъ, дуговая лампа . . . . .	254

## Д

Давенпортъ, двигатель . . . . .	340
Даль Negro, двигатель . . . . .	338
Д'Арлинкуръ, релэ . . . . .	292
Д'Арсонваль, гальванометръ . . . . .	287
» телефонный приѣмникъ . . . . .	288
Двигатели Бурбуза . . . . .	342
» Фромана . . . . .	341
» Генри . . . . .	338
» Хіорта . . . . .	341
» Иммиша . . . . .	343
» Якоби . . . . .	339
» Пажа . . . . .	340
» Ричи . . . . .	338
Де-ла Ривъ, плавучее кольцо и батарея . . . . .	9, 50
» магнитная цѣпь . . . . .	3
Депре, хронографъ . . . . .	228
» электрический молотъ . . . . .	347
» прерыватель для индукціонныхъ катушекъ . . . . .	310
Джоуль, опыты съ магнитами Стюржена . . . . .	31
» законъ взаимнаго притяженія . . . . .	28
» длины электромагнитовъ . . . . .	28
» магнетное насыщеніе . . . . .	28
» наибольшее намагничиваніе . . . . .	119
» наибольшая сила электромагнита . . . . .	31
» протяженіе движенія . . . . .	236
» изслѣдованія . . . . .	26
» результаты опытовъ надъ приставаніемъ . . . . .	31, 32, 119
» трубчатая сердечники . . . . .	177, 27
Дифференціальныя обмотки . . . . .	358
Дове, магнитная цѣпь . . . . .	5
Дубрава механпзмъ . . . . .	286
Дубъ, магнитная цѣпь . . . . .	3
» магнетизмъ длинныхъ полосъ . . . . .	141
» наилучшее положеніе катушекъ . . . . .	198
» плоскіе и заостренные полюсы . . . . .	131
» полюсныя утолщенія сердечниковъ . . . . .	140
» разстояніе между полюсами . . . . .	179
» сердечники различныхъ толщинъ . . . . .	248
Дуговыя лампы: Брокки-Пелля . . . . .	257
» Бреша . . . . .	296
» Вестона . . . . .	296
» Дюбоска . . . . .	270
» Гѣфа . . . . .	254
» Гюльшера . . . . .	300
» Кеннеди . . . . .	221
» Менжеса . . . . .	586
» Патерсона и Купера . . . . .	272
» Пильзень . . . . .	257
» Серрена . . . . .	270
» Томсонъ-Хустона . . . . .	272
Дюбоскъ, механизмъ для дуговой лампы . . . . .	270
Дю-Монсель, вліяніе выступовъ на полюсахъ . . . . .	143, 182
» вліяніе положенія арматуры . . . . .	182, 172
» электромагнитное ружье . . . . .	277
» наилучшее положеніе катушекъ . . . . .	193

Дю-Моисель опыты съ полюсными наконечниками . . . . .	183
» обь арматурахъ . . . . .	182
» подвѣшанная арматура . . . . .	209
» разстояніе между полюсами . . . . .	179
» трубчатые сердечники . . . . .	177
» хромой электромагнитъ . . . . .	208, 52
Деви (Е) способъ регулированія арматуры . . . . .	268
» (серъ Н) изслѣдованія . . . . .	9

## Е

Единицы . . . . .	400
-------------------	-----

## Ж

Желѣзо, магнитныя свойства электролитическаго— . . . . .	370
Желѣзо, измѣненія свойствъ—отъковки, прокатки и т. д. . . . .	386, 90
Желѣза, наибольшее намагничиваніе— . . . . .	81, 368
» проникаемость . . . . .	79, 75
» проникаемость сравнительно съ воздухомъ . . . . .	65
» магнитныя свойства . . . . .	65, 367
» остаточный магнетизмъ . . . . .	93, 367
Женсена электромагниты . . . . .	210

## З

Законъ квадратовъ разстоянія . . . . .	152
» Гельмгольца для кратковременныхъ токовъ . . . . .	211
» Максвелла для переменныхъ токовъ . . . . .	334
» Ома . . . . .	408
» приставанія . . . . .	111, 392
Закалываніе и отпусканіе стали . . . . .	371
Звонки электрическіе . . . . .	282, 300, 305, 304, 358

## И

Изогнутый подвижной сердечникъ и трубчатая катушка . . . . .	290
Искръ уничтоженіе . . . . .	307, 350

## К

Калибры проволокъ . . . . .	188
Камертоны электрическіе . . . . .	311
Кашъ, проектированіе динамомашинъ . . . . .	38
» наибольшее намагничиваніе . . . . .	81
Кеннеди, дуговая лампа . . . . .	261
» электромагниты для нагрѣванія . . . . .	386
Киргофъ, измѣренія проникаемости . . . . .	69
Крицкиъ, коническіе и цилиндрическіе сердечники . . . . .	252

## Л

Ламонъ, изслѣдованія распределеній . . . . .	134
» медленное уменьшеніе магнетизма . . . . .	34
Ламонъ законы электромагнитовъ . . . . .	384
Лангдонъ-Девисъ, способы уничтоженія искры . . . . .	358
Ленцъ и Якоби, законъ . . . . .	34
Ленцъ, магнетизмъ длинныхъ полосъ . . . . .	173
Леупольдъ, обмотки . . . . .	254
Линія силъ . . . . .	42, 424
Литтль, обмотка . . . . .	195

## М

Магнитное сдѣленіе . . . . .	294
Магнитные вѣсы Юза . . . . .	68
Магнитный тормазъ . . . . .	53, 299
Магнитный центръ тяжести . . . . .	154
Магнитная цѣпь . . . . .	111, 415
» » примѣненіе къ динамомашинамъ . . . . .	4
» » для наибольшаго приставанія . . . . .	119
» » формулы . . . . .	112, 416
» » различныхъ части . . . . .	167, 416
» » проводимость . . . . .	66
Магнитное поле, вліяніе его на маленькій шарикъ . . . . .	151, 258
Магнитный потокъ . . . . .	112, 414
Магнитная изолировка . . . . .	114
» утечка . . . . .	159, 416
Магнитной утечки вычисленія . . . . .	167, 416
» » линіи . . . . .	42, 65, 159, 418
» » измѣренія . . . . .	163
» » зависимость отъ силы . . . . .	116
Магнитная память . . . . .	93
Магнитные моменты . . . . .	177
» двигатели . . . . .	338
Магнитная проницаемость . . . . .	65, 413
Магнитные полюсы земли . . . . .	154
Магнитное сопротивленіе . . . . .	112, 414
» насыщеніе . . . . .	68
Магнитные экраны . . . . .	331, 398
» шунты . . . . .	292
» единицы . . . . .	400
Магнетизмъ, свободный . . . . .	133
» длинныхъ полосъ . . . . .	173
» постоянный . . . . .	93, 366
Магнитометръ . . . . .	69
Магнитодвижущая сила . . . . .	113
Майкова, отталкивательный механизмъ . . . . .	276
Марчъ, вибрирующий механизмъ . . . . .	304
Матеріалы для устройства электромагнитовъ . . . . .	59
Максвеллъ, гальванометръ . . . . .	287
» законъ электрической цѣпи . . . . .	49
» законъ приставанія . . . . .	116
» законъ магнитной проводимости . . . . .	4

Меркадь, электрический камертонъ . . . . .	311
Молль, опыты . . . . .	14, 129
Мирандь, изобрѣтатель электрическаго звонка . . . . .	305
Митисъ, металла-намагничиваніе . . . . .	81
Мордей, машина для переменнаго тока . . . . .	344
Мозлей, индикаторъ . . . . .	302
Мюльсръ, намагничиваніе длинныхъ полосъ . . . . .	173
» измѣреніе проницаемости . . . . .	68

## Н

Нагрѣваніе обмотокъ . . . . .	184
Насыщенія, кривая . . . . .	70
» вліянія на проницаемость . . . . .	66, 76
Намагничиваніе и магнитное приставаніе . . . . .	117, 392
» вычисленіе . . . . .	113
» опредѣленіе . . . . .	42, 163
» внутреннее . . . . .	40
« различныхъ матеріаловъ . . . . .	67
» удѣльное . . . . .	368
» поверхностное . . . . .	41, 133
» постоянныхъ магнитовъ . . . . .	367
Нобили, астатическая система . . . . .	399
Никльсъ, классификація магнитовъ . . . . .	50
» разстояніе между вѣтвями подковообразнаго магнита . . . . .	179
» магнитное сѣщеніе колеса и рельса . . . . .	294
» вліяніе полюсной поверхности на силу приставанія . . . . .	129
» трубчатый сердечникъ . . . . .	177
Нифъ, вибрирующій механизмъ . . . . .	350

## О

Обмотки электромагнитовъ . . . . .	184
Ома законъ . . . . .	112, 114, 211, 408
Огнеупорная изолировка . . . . .	63
Осмонда, изслѣдованія . . . . .	379
Остаточный магнетизмъ . . . . .	93, 317
Остаточность . . . . .	94, 367
Отпусканіе стали . . . . .	371
Отталкиваніе . . . . .	276, 515, 270

## П

Пачиноти, двигатель съ кольцевымъ электромагнитомъ . . . . .	342
Пажъ, электрический двигатель . . . . .	340
» электромагнитный молотъ . . . . .	258
» обмотка . . . . .	258
Перрень, составной стержень . . . . .	276
Постоянные магниты (отличіе отъ электромагнитовъ) . . . . .	202
» таблицы для нихъ . . . . .	367, 368
» пользованіе . . . . .	278, 361
Постоянное намагничиваніе . . . . .	380
Проницаемости, вычисленіе . . . . .	65, 413
» методы измѣренія . . . . .	68

Пермеаметръ . . . . .	79
Ифафъ, трубчатые сердечники . . . . .	177
Пуассонъ, о магнитной жидкости . . . . .	2
Поляризованные приборы для индикаторовъ	300
Полюсные наконечники . . . . .	137
Полюсы, плоскіе и заостренные . . . . .	131, 394
» вліяніе разстоянія между ними . . . . .	179
Присъ, самоиндукція въ реле . . . . .	220
» обматываніе катушекъ . . . . .	222
Переѣнныхъ токовъ, диаграмма-волнь . . . . .	320, 322
Переѣнными токами питаемые электромагниты . . . . .	319
Перегордками-обмотка съ . . . . .	144, 258
Пластинчатые электромагниты . . . . .	319
» постоянные магниты . . . . .	391
Подковообразные электромагниты . . . . .	51
» стальной магнитъ . . . . .	393
Полосовой электромагнитъ . . . . .	51
» стальные магниты . . . . .	369, 381
Поверхностный магнетизмъ . . . . .	135, 151
Постоянные времени электрической цѣпи . . . . .	220
Приставанія формулы для . . . . .	116
Приставаніе въ зависимости отъ вѣса магнита . . . . .	116, 392
Протяженность дѣйствія электромагнита . . . . .	234
Прерыватели для индукціонныхъ катушекъ . . . . .	308

## P

Радфордъ—электромагнитъ . . . . .	32
Рельевъ—электромагнитъ . . . . .	274
Равортъ, электромагнитная муфта . . . . .	297
Реллей (лордъ), электромагнитный камертонъ . . . . .	312
Ричи, электромагнитный двигатель . . . . .	338
» магнитная цѣль . . . . .	3
» стальные магниты . . . . .	176
» обмотка съ перегордками . . . . .	194
Робертсъ, электромагнитъ . . . . .	32
Робертсонъ, гальванометръ . . . . .	287
» пишущій телеграфъ . . . . .	275
Ролоффъ, электромагнитъ . . . . .	199
Ромерсгаузенъ, электромагнитъ . . . . .	53
Роуанъ, электромагнитные станки . . . . .	348
Роуландъ, аналогія между магнитной и электрической цѣпиями . . . . .	4, 112
» законъ магнитной цѣпи . . . . .	4, 112
» магнитная проницаемость . . . . .	65
» наибольшее намагничиваніе . . . . .	81
» измѣреніе проницаемости . . . . .	65
Румкорфъ, электромагнитъ . . . . .	54, 381
Рутсъ, закалка стали . . . . .	376

## C

Самоиндукція . . . . .	212, 333
» въ телеграфныхъ приборахъ . . . . .	222

Сиенсъ, дифференціальная катушка . . . . .	255
» реле . . . . .	222
» вращающаяся арматура . . . . .	291
Соединенія, вліянія ихъ на магнитныя сопротивленія . . . . .	87
Смитъ (Hallroyd) электромагнитъ съ подвижнымъ сердечникомъ . . . . .	262
» (Rev. T. I.) электромагнитъ для хронографовъ . . . . .	229
Снелль, электромагнитъ для хирургіи . . . . .	361
Спотисвудъ, быстродействующій прерыватель . . . . .	310
Сталь, закалка и отпусканіе ее . . . . .	371
» намагничиваніе . . . . .	67, 93
» проникаемость . . . . .	93, 369
Стефенсонъ, мнѣніе объ электрическихъ двигателяхъ . . . . .	234
Стевенсъ и Гарди, электромагнитъ . . . . .	260
Столѣтовъ, измѣреніе проникаемости . . . . .	69
Стругаль и Баррусь, закалываніе и отпусканіе . . . . .	373, 387
Стурженъ, опыты съ полосовымъ магнитомъ . . . . .	10
» » надъ утечкою . . . . .	162
» магнитная цѣпь . . . . .	3
» поляризованный приборъ . . . . .	280
» телеграфный приборъ . . . . .	280
» трубчатые сердечники . . . . .	177
» первые электромагниты . . . . .	3
Сифонный отмѣтчикъ . . . . .	287
Сопротивленіе магнитное . . . . .	113
» электромагнита и батареи . . . . .	196
» изолированныхъ проволокъ . . . . .	201
Стержни коническіе и цилиндрическіе . . . . .	251
» стальные и желѣзные . . . . .	238

## Т

Температура, вліяніе ее на магнетизмъ . . . . .	91, 389
Теорія магнетизма Юинга . . . . .	109
Томасъ, таблица калибровъ проволокъ . . . . .	187
Томпсонъ (Татамъ) электромагнитъ хирургическій . . . . .	362
Томсонъ (Elihu) электромагнитные опыты . . . . .	325
» (J. J.) вліяніе соединеній . . . . .	87
» (W) измѣрители тока . . . . .	259
» » поляризованные магниты . . . . .	280
» » протяженность дѣйствій . . . . .	235
» » правила для обматыванія электромагнитовъ . . . . .	193
» » сифонный отмѣтчикъ . . . . .	287
» » обматываніе катушекъ для гальванометровъ . . . . .	193
Торпе, семафоръ . . . . .	302
Тревъ, катушка съ обмоткой изъ желѣзной проволоки . . . . .	254
Тиндаль, протяженность дѣйствій . . . . .	235

## У

Удѣльное намагничиваніе . . . . .	368
Униполярные магниты . . . . .	396
Утечка магнитныхъ линий . . . . .	161, 163. 418
Ученіе о двухъ жидкостяхъ . . . . .	2



## Ф

Фарадей, линія силъ . . . . .	3
Вращенія постоянного магнита . . . . .	9
Фабрь, электромагниты съ вѣшной желѣзной обкладкой . . . . .	53
Фомъ-Кольке . . . . .	149
Форбесъ электромагнитный тормазъ . . . . .	229
» формулы для учетки . . . . .	418
Фолкнеръ, электромагниты съ вѣшной желѣзной обкладкой . . . . .	53
Фрелихъ, законъ намагничиванія . . . . .	34
Фроманъ, уравнители . . . . .	271
» вибрирующіе механизмы . . . . .	305
Фуко, прерыватель для индукціонныхъ катушекъ . . . . .	310

## Х

Хивезайдъ, магниты . . . . .	112
» магнитное сопротивленіе . . . . .	112
Химическій составъ постоянныхъ магнитовъ . . . . .	370
Хюрта, электромагниты . . . . .	235
» поляризованные магниты . . . . .	280
» двигатели . . . . .	341
Хронографовъ, электромагниты для . . . . .	226
Хунтъ, протяженіе дѣйствія . . . . .	334

## Ч

Чугунъ, намагничиваніе . . . . .	14, 75, 77, 367
----------------------------------	-----------------

## Ш

Швейгеръ, мультипликаторъ . . . . .	9
Шено, магнитный сепараторъ . . . . .	295
Шесманъ, закалка стали . . . . .	374
Шунтъ магнитный . . . . .	292

## Ю

Юзь, расстояние между полюсами . . . . .	110
» магнитные вѣсы . . . . .	68
» поляризованный магнитъ . . . . .	180, 283
» магниты, печатающіе телеграфы . . . . .	180, 283
Юннгъ, кривыя намагничиванія . . . . .	67
» гистерезисъ . . . . .	95
» методъ намагничиванія . . . . .	100
» наибольшее намагничиваніе . . . . .	386, 81
» измѣреніе проницаемости . . . . .	67
» вліяніе соединенія . . . . .	89
» теорія магнетизма . . . . .	109

# Я

Якоби, двигатель . . . . .	339
Якорь, вліяніе его на величину магнетизма . . . . .	145
» быстрое отрываніе . . . . .	250

# Э

Эвершеда амперметр . . . . .	289
Электрическіе звонки . . . . .	282, 300, 305, 304, 358
» » изобрѣтены Мирандомъ . . . . .	305
Электрическія и магнитныя единицы . . . . .	400
Электрическіе индикаторы . . . . .	300
» двигатели (см. двигатели). . . . .	340
Электромагнитъ Айртона и Перри . . . . .	263
» безъ желѣза. . . . .	207
» въ телефонъ Белля . . . . .	53
» Варлея . . . . .	53
» въ дуговой лампѣ Брѣша . . . . .	296
» впервые описанный . . . . .	3
» Гейзера . . . . .	263
» Гиллемена . . . . .	247
» Генри . . . . .	17
» Годройда-Смита . . . . .	262
» Дю-Монселя . . . . .	209
» Джоуля . . . . .	28
» для нагрѣванія . . . . .	336
» » быстрого дѣйствія . . . . .	180, 209, 211
» Женсена . . . . .	210
» изобрѣтенный въ 1825 г. . . . .	10
» съ внѣшней желѣзной обкладкой . . . . .	52, 144
» Какса . . . . .	206
» Полосовой . . . . .	51
» Подковообразный . . . . .	51
» Радфорда . . . . .	32
» Рикко . . . . .	206
» Робертса . . . . .	32
» Роллофа . . . . .	199
» Ромерсгаузена . . . . .	53
» Румкорфа . . . . .	54
» Смита . . . . .	262
» Стевенса и Гарди . . . . .	260
» Стюржена . . . . .	3
» сплошной и пустотѣлый . . . . .	177
» съ длинными и короткими вѣтвями . . . . .	115, 225, 243
» съ подвижнымъ сердечникомъ . . . . .	232
» Фабра . . . . .	53
» Фарадея . . . . .	36
» Фолькнера . . . . .	53
» хромой . . . . .	52
» для хирургіи . . . . .	360
» Хюрта . . . . .	235
» Юза . . . . .	180, 283

Электромагнитное сцѣпленіе . . . . .	294
Электромагнитныя муфты . . . . .	297
» машины . . . . .	240, 388
Электромагнитная инерція . . . . .	210
Электромагнитныя суставчатыя системы . . . . .	265, 274
Электромагнитные механизмы . . . . .	264
» вибраторы . . . . .	304
» двигатели . . . . .	338
» камертоны . . . . .	311
» маятники . . . . .	313
» сепараторы . . . . .	295
» станки . . . . .	348
Электромагнитное ружье . . . . .	277
» отталкиваніе . . . . .	258, 276
Электромагниты для дуговыхъ лампъ (см. механизмы дуговыхъ лампъ)	
» » наибольшаго протяженія дѣйствія . . . . .	206
» » » приставанія . . . . .	119, 205
» наименьшаго вѣса . . . . .	207
» для переменныхъ токовъ . . . . .	209, 318
» » подниманія . . . . .	119
Электромагнитовъ—формулы для . . . . .	116, 126, 412
Электромагниты—для быстрого дѣйствія . . . . .	181, 211
Электромагнитовъ нагрѣваніе . . . . .	102, 183
Электромагниты для приставанія . . . . .	119, 205
» въ телеграфныхъ приборахъ . . . . .	180, 220
Электромагнитовъ насыщеніе . . . . .	66
» раздѣленіе на классы . . . . .	50
Электромагниты для произведенія быстрыхъ колебаній . . . . .	226, 305
» съ желѣзомъ между слоями обмотки . . . . .	206
» длинными и короткими вѣтвями . . . . .	175
Эльфингстонъ (Лордъ) примѣненіе принципа магнитной пѣпи къ динамо- машинамъ . . . . .	4
Эмаль, употребленія ея для изолировки . . . . .	63
Эрштеда, открытіе . . . . .	9
Электромагнита уравниваніе силы . . . . .	268

## ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

---

Стр.	Строка.	Напечатано.	Должно быть.
27	8 снизу	не болѣе	болѣе
28	10 »	$M = E^2 W^2$	$M = C^2 W^2$
70	7 сверху	$\frac{Si}{e}$	$\frac{Si}{t}$
70	7 снизу	I	J
72	16 сверху	186	180
102	1 »	$B = 1800$	$B = 18000$
102	6 »	удерживающей	понудительной
116	5 снизу	раздѣлить	раздѣлить на
168	17 сверху	$\frac{2'' l_2}{A''_2}$	$\frac{2l''_2}{A''_2}$
248	6 »	числу	квадрату числа
349	4 снизу	1819	1889
388	11 снизу	Кукгамъ (Kookham)	Гукгамъ (G. Hookham).

---