

В. ЛЕБЕДЕВ

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО,
МАГНЕТИЗМ
И
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

**В ИХ ИСТОРИЧЕСКОМ
РАЗВИТИИ**

**ДОФАРАДЕЕВСКИЙ
ПЕРИОД**

В. ЛЕБЕДЕВ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО,
МАГНЕТИЗМ
И
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
В ИХ ИСТОРИЧЕСКОМ
РАЗВИТИИ

ДОФАРАДЕЕВСКИЙ
ПЕРИОД

Объединенное
научно-техническое издательство
НКТП СССР
Главная редакция
Технико-теоретической литературы
Москва 1937 Ленинград

Редакция *Якобсон*. Оформление *Н. Я. Костиной*.

Корректурa *М. А. Аксеновой*. Наблюдал за выпуском *В. Т. Тимофеев*.

Бум. л. 24,032. Сдано в производство 15/VIII 1935 г. Подписано в печать 5/II 1937 г.

Печ. л. 11. Печ. знак. в печ. л. 48.064. Уч. авт. л. 14,3. Тираж 8.000. Формат 62 × 94 1/16.

Тип. зв. в 1 бум. л. 105 984. Зак. № 976. Ред. общет. лит. № 194. Учетв. № 4210. Уполн. Главлита № Б-9162.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Прежде всего считаю необходимым подчеркнуть те основные задачи, которые я ставлю в своей работе.

1. Первой моей задачей было обратить особенное внимание на *проверку* того фактического материала, на каком обычно базируются авторы истории науки и техники. В результате, после довольно длительной работы, и была составлена та летопись, которая приводится в конце настоящей книги. Эта летопись в данной книге доведена до 1831 г.

Заметим, что в литературе имеется несколько сочинений летописного характера, например:

Darmstädter, Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, Berlin 1908.

Feldhaus, Lexikon der Erfindungen, Heidelberg 1904.

Auerbach, Geschichtstafeln der Physik, Leipzig 1910.

Составленная мною летопись отличается от только что названных тем, что она снабжена литературными указаниями для *каждой даты* в отдельности. Мало того, я старался по возможности уточнить летопись вплоть до *календарной даты*, т. е. установить, когда был произведен тот или иной опыт, взят патент, прочитан доклад, пущена та или иная техническая установка и пр.

На первый взгляд такая постановка работы может казаться излишней. Между тем только при помощи календарных дат удавалось часто установить ход мыслей того или иного ученого, например Ампера, Фарадея, Максвелла и др. Что касается самих указаний литературы и разных открытий, то в моей летописи обычно приводится только один автор; на самом же деле во многих случаях мы имели несколько подтверждений того или иного события. Один автор указывается лишь в целях экономии места.

Между прочим, в процессе моей работы пришлось обнаружить несомненные неправильности многих летописных дат у вышеупомянутых немецких авторов.

2. Другой, не менее важной для меня задачей было *найти объяснения* собранным фактам и событиям, так как я считаю недостаточным излагать историю науки в форме хронологического перечисления событий, как это часто делают иностранные авторы

Деятельность ученого и электротехника определяется как всем предшествующим историческим ходом развития науки и техники, так и той исторической эпохой, в которой живет и действует данный ученый. В работе по оптике* я уже показал, как история этой науки получает совершенно иное освещение, если связать оптику с историей стекла. Точно так же при изложении истории электротехники в дальнейших своих работах я стараюсь избежать обычной ошибки многих электриков-специалистов — рассматривать историю той или иной технической установки в узких рамках, например излагать историю динамомшины, не приняв во внимание развития других областей техники, например светотехники. Состояние последней в свою очередь зависит от свойств осветительного материала или от прогресса производства дуговых углей, от вакуумной техники и пр.

Как общее положение, следует указать, что *поводом* для той или иной теоретической работы являлись обнаруженные учеными различные противоречия или несоответствия в фактах, зафиксированных наукой. Основными же *причинами* развертывания теоретической мысли и науки были в конечном результате определенные социально-экономические заказы вновь восходящих классов в тот или иной период исторического развития, т. е. тех классов, которые являлись основными носителями развития производительных сил общества и двигали вперед развитие производства. Можно прямо сказать, как заявляет Энгельс, что „уже с самого начала возникновение и развитие наук обусловлено производством“... „Необходимо изучить *последовательное развитие* отдельных отраслей естествознания. — Сперва *астрономия* — уже из-за времен года абсолютно необходима для пастушеских и земледельческих народов. Астрономия может развиваться только при помощи *математики*. Следовательно, пришлось заняться и последней. Далее на известной ступени развития земледелия и в известных странах (поднимание воды для орошения в Египте), а в особенности вместе с возникновением городов, крупных построек и развитием ремесла, развилась и *механика*. Вскоре она становится необходимой также для *судоходства и военного дела*. И она нуждается в помощи математики и таким образом обусловливает ее развитие. Таким образом, уже с самого начала возникновение и развитие наук обусловлено производством“**... И „если после темной ночи средневековья вдруг наново возрождаются с неожиданной силой науки, начинающие развиваться с чудесной быстротой, то этим чудом мы опять-таки обязаны производству. Во-первых, со времени Крестовых походов промышленность колоссально развилась и добыла массу новых механических (ткачество, часовое дело, мельничное дело), химических (красильное дело, металлургия, алкоголь) и физических фактов (очки), которые доставили не только огромный материал для наблюдений, но также и совершенно иные, чем

* В. И. Лебедев, Оптика и стекло, „Северный печатник“, Вологда 1928.

** К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., Гос. соц. эк. изд. 1931, т. XIV, стр. 438.

раньше, средства для экспериментирования, и допустили построение *новых* инструментов. Можно сказать, что собственно систематическая экспериментальная наука стала возможной лишь с этого времени. Во-вторых, вся Западная и Центральная Европа, в том числе и Польша, развивается теперь во взаимной связи, хотя Италия, благодаря своей старинной цивилизации, продолжает стоять во главе. В-третьих, географические открытия — произведенные в погоне за барышом, т. е., в конечном счете, под влиянием интересов производства — доставили бесконечный, до того недоступный материал из области метеорологии, зоологии, ботаники и физиологии (человека). В-четвертых, появился *печатный станок**.

При неглубоком анализе событий в истории науки часто любят объяснять различные исторические события только „случайностью“ или „гениальностью исследователя“. Маркс в письме к Кугельману от 17 апреля 1871 г. по поводу „случайностей“ писал:

„Творить мировую историю было бы, конечно, очень удобно, если бы борьба предпринималась только под условием непогрешимо благоприятных шансов. С другой стороны, история имела бы очень мистический характер, если бы „случайности“ не играли никакой роли. Эти случайности входят, конечно, сами составной частью в общий ход развития, уравниваясь другими случайностями. Но ускорение и замедление в сильной степени зависят от этих „случайностей“, среди которых фигурирует также и такой „случай“, как характер людей, стоящих вначале во главе движения“**.

Отсюда видно, что Маркс придает весьма большое значение случайностям, к которым он относит и роль личности в развитии исторического процесса. Но было бы ошибкой и извращением марксизма сводить *все* исторические события, *весь* ход развития истории лишь только к „случаю“, объяснять *все* события в *истории науки* лишь „гениальностью“ того или иного ученого, хотя и несомненно, что в истории науки личности играют большую роль.

Все эти вопросы я стараюсь надлежащим образом осветить и конкретизировать в моей работе.

3. Наконец, третья задача, которую я ставлю себе, это — *наполнить* определенным *конкретным содержанием* и *оживить* те многочисленные летописные даты, которые собраны в моей работе.

На какого читателя рассчитана эта книга?

Прежде всего на *преподавателей* физики и электротехники.

Последние должны хорошо знать историю преподаваемых ими дисциплин, ибо разъяснить глубоко сущность того или иного научного понятия, той или иной научной теории можно только тогда, когда ясна эволюция этого понятия, когда известно, как возникла и как развивалась данная научная теория.

* „До сих пор хвастались лишь тем, что производство обязано науке, но наука бесконечно большим обязана производству“. (Сноска сделана Фр. Энгельсом.) К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., Гос. соц. эк. изд. 1931, т. XIV, стр. 439.

** К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., Гос. соц. эк. изд. 1931, т. XXVI, стр. 108.

Для того чтобы книга стала наиболее интересной, изложение в ней тех или иных научных вопросов сопровождается рядом оригинальных иллюстраций из имеющейся в моем распоряжении коллекции по истории техники.

Надеюсь, что эта книга окажется полезной и для *инженера-электрика*, и для *изобретателя* и для *учащегося*. Чтобы охватить большой круг читателей, считаю целесообразным введение двух шрифтов. То, что напечатано мелким шрифтом, не нарушая общей связи, может быть опущено недостаточно подготовленным читателем. Цифры в тексте означают ссылки на литературу в конце каждой главы.

4. В заключение считаю нужным подчеркнуть, что предлагаемая книга не может быть названа „Историей электротехники или историей учения об электричестве“; она не может также претендовать на марксистское обоснование затронутых в ней научных проблем и вопросов. Автор ставил себе весьма скромную задачу и сам рассматривает свою работу лишь как историческое дополнение к учебникам по электричеству и электротехнике. Вот почему в этой книге приводится много выдержек из оригинальных сочинений великих электриков. В наше время электричество — в науке и электротехника — в жизни и в производстве получили колоссальное преимущественное значение; поэтому и появление книги, где предлагается материал, который обычно не затрагивается в нашей учебной литературе, следует признать желательным.

В. И. Лебедев

Москва 19 декабря 1933 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие автора	3
Сокращенные обозначения, принятые в книге	10

Глава первая

ЧТО БЫЛО ИЗВЕСТНО ДРЕВНИМ КУЛЬТУРНЫМ НАРОДАМ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

Техника и организация труда в рабовладельческом государстве	11
Начало учения об электричестве	12
Литература	13

Глава вторая

КАКИЕ СВОЙСТВА МАГНИТА БЫЛИ ИЗВЕСТНЫ ДРЕВНИМ КУЛЬТУРНЫМ НАРОДАМ

О магните в сочинениях Аристотеля и Платона	14
Теория магнетизма Лукреция	—
Применение магнита у индусов и китайцев	16
Литература	17

Глава третья

ОТКРЫТИЯ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И МАГНЕТИЗМА В СРЕДНИЕ ВЕКА И В НАЧАЛЕ НОВОГО ВРЕМЕНИ

Период средних веков и летопись открытий по электромагнетизму в период V—XVI столетий	18
Средневековая техника	19
Арабы в VIII и IX столетиях	20
Зарождение экспериментального метода	21
Содержание „Магии“ Джамбаггиста делла Порты (1589)	23
Появление компаса в Европе	25
Литература	26

Глава четвертая

ПЕРВОЕ ПЕЧАТНОЕ СОЧИНЕНИЕ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ

Джильберт как физик	28
Содержание сочинения Джильберта	30

Глава пятая

ЭПОХА ДЖИЛЬБЕРТА

Англия в XVI и XVII столетиях. Издание сочинения Джильберта	36
Учение об электричестве в эпоху Джильберта	37
Влияние идей Ньютона	38
Опыты Грея	39
Опыты дю-Фей	41
Новая теория электричества	42
Книга по электричеству аббата Нолле	43
Литература	44

Глава шестая

ФРАНКЛИН И ЕГО СОВРЕМЕННОКИ

Бенджамин Франклин и его современники в области физики	45
Открытие лейденской банки и теория электричества Уатсона	—
Бенджамин Франклин и его теория электричества	48
Франклинова теория лейденской банки	51
Литература	52

Глава седьмая

ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ МОЛНИИ И НАЧАЛО
УЧЕНИЯ ОБ АТМОСФЕРНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

Опыты Франклина	53
Опыты Рихмана и Ломоносова по атмосферному электричеству	55
Литература	60

Глава восьмая

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ
И ИССЛЕДОВАНИЯ КУЛОНА

Открытие электричества „через влияние“	61
Опыты Кулона	64
„Теорема Кулона“ и значение исследований Кулона	68
Литература	69

Глава девятая

ИСТОРИЯ УЧЕНИЯ О ПОТЕНЦИАЛЕ

Роль потенциала в учении об электрических явлениях	70
Путаница в терминах	—
Элементарное учение о потенциале	71
Потенциал в механике	78
Исследования Пуассона по электростатике	—
Работы Грина	80
Значение Гаусса в истории учения о потенциале	82
Литература	84

Глава десятая

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Первые электрические машины	85
Электрическая машина Винклера и Эйлера	88
Машина Вильсова. Машины со стеклянным диском и „Машины-гиганты“	90
Машина Армстронга	91

Первые электрофорные машины	93
Электрофорная машина Теплера, машина Гольца 1865 г. и электрофорные машины других конструкций	97
Литература	99

Глава одиннадцатая

ОПЫТЫ ГАЛЬВАНИ И ВОЛЬТЫ

Опыты Гальвани	101
Исследования Александра Вольты	104
„Вольтов столб“	109
Теория Фаброни	113
Литература	114

Глава двенадцатая

ОТКРЫТИЕ ХИМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ТОКА

Химическое действие тока	115
Работы Дэви по химическому действию тока	116
Теория Гротгуса и электро-химическая теория Берцелиуса	121
Литература	125

Глава тринадцатая

ОТКРЫТИЕ СВЕТОВЫХ И ТЕПЛОВЫХ ДЕЙСТВИЙ ТОКА

Открытие „вольтовой дуги“ В. В. Петровым	126
Опыты Дэви по исследованию световых и тепловых действий тока	129
Литература	130

Глава четырнадцатая

ОТКРЫТИЯ ЯВЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

Магнитные действия молнии	131
Открытие Эрстеда и другие открытия 1820 г.	—
Закон Био и Савара	138
Открытие Араго 1820 г.	140
Страница из истории электромагнита	141
Работы Ампера по электромагнетизму	143
Теория Ампера и отношение к ней других физиков	149
Формула Ампера	150
Литература	154

Глава пятнадцатая

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ТЕОРИИ ТОКА В ПЕРВОЙ
ПОЛОВИНЕ XIX СТОЛЕТИЯ

Исследования Дэви по теории тока	155
Закон Ома и значение его исследований	156
Законы ветвления тока	161
Литература	163
Заключение	164
Летопись открытий, изобретений и событий по электричеству, магнетизму и электротехнике.	165

Сокращенные обозначения, принятые в книге

РУССКИЕ:

Брит. Энци. — Британская энциклопедия, изд. 9-е и 10-е.
П. Т. Ж. — Почтово-телеграфный журнал.
Эл-во — Электричество.

ИНОСТРАННЫЕ:

Ann. de Ch. et Ph. — Annales de Chimie et de Physique.
C. R. — Comptes rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences.
Crelle's Journ. — Journal für die reine und angewandte Mathematik, gegründet von A. L. Crelle 1826.
Coll. de Mém. — Collection de Mémoires relatifs à la Physique. Tomes I — V. [D] — *Ludwig Darmstädter*, Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, Berlin 1908.
Enc. Brit. — Encyclopaedia Britannica (Ed. 9 и 10).
E. T. Z. — Electrotechnische Zeitschrift.
Feldhaus Fitze. — *Fr. Mar. Feldhaus und Walt. H. Fitze*, Geschichtszahlen der Drahtlosen Telegraphie und Telephonie. Berlin 1925.
Feldhaus, Lex. — *Feldhaus*, Lexikon der Erfindungen und Entdeckungen, Heidelberg 1904.
Feldhaus, Tech. d. Vorz. — *F. M. Feldhaus*, Die Technik der Vorzeit der Geschichtlichen Zeit und der Naturvölker, Berlin 1914.
Gilb. Ann. — Annalen der Physik und Chemie, herausgegeben von *Gilbert*.
Journ. de Phys. — Journal de Physique théorique et appliquée.
Lieb. Ann. — Justus Liebig's Annalen der Chemie.
Mém. de l'Acad. — Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut de France.
Ostw. Klass. — Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften.
Phil. Mag. — The philosophical Magazine and Journal of Science, London.
Phil. Trans. — Philosophical Transactions of the Royal Society of London.
Pogg. Ann. — Annalen der Physik und Chemie, herausgegeben von *Poggendorff*.

ЧТО БЫЛО ИЗВЕСТНО ДРЕВНИМ КУЛЬТУРНЫМ НАРОДАМ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

ТЕХНИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА В РАБОВЛАДЕЛЬЧЕСКОМ ГОСУДАРСТВЕ

На современных электрических станциях мощные динамомашинны вырабатывают огромное количество электричества, которое, будучи передано по проводам, производит работу на местах. В наше время строятся громадные генераторы электрического тока мощностью гораздо выше, чем 200 000 kW.

Что же касается древнего мира, древнего Египта, Греции и Рима, то здесь сложных машин совершенно не было, работу производили рабы, применявшие только простые машины и механические приспособления.

Число рабов в этих государствах было огромное. В Греции, например, в IV в. до нашей эры на 21 000 свободных граждан приходилось 400 000 рабов¹, которые выполняли домашнюю работу, обрабатывали землю и занимались ремеслом. Свободные граждане считали занятие ремеслом недостойным свободного человека. Рабы-ремесленники на рынке ценились очень высоко. Часть их работала в одиночку, часть была сосредоточена группами на „заводах“ и „фабриках“. Такой „завод“ (металлический) был, например, у Софилла — отца знаменитого греческого трагика Софокла; у одного из вождей плебса — Клеона был кожевенный „завод“². Однако на этих „фабриках“ не было, конечно, ни машин, ни, как правило, мануфактурного *разделения труда*. Это была простая кооперация, где каждый раб выполнял одну и ту же работу, и коллективный характер труда выражался в объединении рабочих в одном помещении под одним руководством. Эти объединения рабского труда в рабовладельческом обществе нельзя ни в коем случае отождествлять и даже сравнивать с фабриками и заводами в капиталистическую эпоху, хотя бы ее начала. По существу совершенно неверно называть их даже „фабриками“ и „заводами“, или же если употреблять эти термины, то весьма условно, беря их в кавычки и вкладывая в них только то содержание, какое выше было упомянуто.

Как уже указывалось, рабы производили самую разнообразную работу. На море они заменяли современные паровые машины. Вместо экипажей древние культурные народы употребляли в городах носилки, на которых рабы переносили своих господ. Такие носилки

римляне называли „лектица“ (lecticae). Мускулами своих ног раб должен был вращать ступальные колеса, служившие для орошения полей, колеса в портах, при постройках и пр. При помощи таких примитивных машин из дерева он передвигал грузы и камни. Раб, как трудовая единица, расценивался очень низко.

В хозяйстве, основанном на рабском труде, не могло быть „экономических побуждений“ к тому, чтобы вносить какое-либо улучшение в технику различных ремесл и производств.

„В древних государствах, в Греции и Риме, — писал К. Маркс в своей статье: «Вынужденная эмиграция», — принудительная эмиграция, принимавшая форму периодического устройства колоний, составляла постоянное звено в общественной цепи. Вся система этих государств была построена на определенном ограничении количества народонаселения, которого нельзя было превысить, не подвергая опасности самого существования античной цивилизации. Но почему это так было? Потому, что им было совершенно неизвестно применение естественных наук к материальному производству. Только оставаясь в небольшом числе, они могли сохранить свою цивилизацию. В противном случае они стали бы жертвами того тяжелого физического труда, который тогда свободного гражданина превращал в раба. Недостаточное развитие производительных сил ставило граждан в зависимость от определенного количественного соотношения, которого нельзя было нарушать. Поэтому единственным выходом из положения была принудительная эмиграция“³.

На протяжении почти всей истории Греции и отчасти Рима, в течение нескольких веков, мы не замечаем какой-либо значительной эволюции в технике.

НАЧАЛО УЧЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

Начало учения об электричестве обычно связывают с именем *Фалеса* (640 — 550 гг. до н. э.), которого по мудрости ставили наравне с *Солоном*, известным составителем законов.

По преданию, Фалесу было известно⁴ свойство янтаря после трения притягивать легкие тела, а также свойство некоторых железных руд притягивать железо. При этом, по свидетельству *Аристотеля*, Фалес представлял себе, что в янтаре и магните есть „душа“, от которой исходит притяжение, так как по представлениям того времени только одушевленные предметы способны вызывать движение. Янтарь у древних народов, благодаря своему красивому цвету и блеску, служил для украшения. Из него делались, например, бусы. На таких янтарных бусах, должно быть, случайно и было замечено их свойство при натирании притягивать соломинки, кусочки тканей и т. п.

В обиходной жизни янтарь у греков назывался „электрон“ (*ἤλεκτρον*), отсюда впоследствии и произошло слово „электричество“.

Греки, повидимому, не заметили, что, кроме янтаря, другие тела также могут электризоваться при трении. Впрочем, *Теофраст* (371 — 286 гг. до н. э.) в своем сочинении: „О камнях“ называет,

кроме янтаря, еще один камень, который электризуется от трения, — линкуруион⁵. Что это за камень, нам неизвестно. Но по всей вероятности, это был один из драгоценных камней, так как именно среди них имеется несколько камней, обладающих свойством электризоваться при трении.

В Средиземном море водится рыба „электрический скат“ (*Torpedo marmorata*), а в бассейне Нила — „электрический сом“ (*Malapterurus electricus*). Эти рыбы отличаются присутствием у них электрических органов. Древние греки называли обеих рыб „наркэ“, что значит „парализующий“. Как выяснено в настоящее время, напряжение органов этих рыб доходит до 200 вольт⁶.

Римский врач *Скрибоний* (*Scribonius Largus*), живший во времена императора Клавдия (царствовал с 41 по 54 г. н. э.), использовал электрический скат при лечении подагры, головной боли и других болезней⁷. Разумеется, у древнего исследователя природы не было основания даже подозревать какую-либо связь между ударом рыбы „наркэ“ и действием наэлектризованного янтаря. На удар этой рыбы он смотрел как на особый яд.

Точно так же древние культурные народы не знали истинной природы молнии. Они питали страх перед ней, в особенности перед грозными раскатами грома. Древние греки и римляне думали, что это их главный бог (у греков — Зевс, а у римлян — Юпитер) „сердится“ и „мечет огненные стрелы“. Поэтому Зевса и Юпитера они величали „громовержцами“.

Мы увидим в дальнейшем, что притяжение натертым янтарем (электроном) легких тел, открытое Фалесом, и свойство рыбы „наркэ“ были единственными явлениями в области электричества, известными древним культурным народам, и вплоть до начала XVII в. не было сделано никаких новых наблюдений в этой области.

Даже у римского писателя *Плиния* в его многотомной „*Historia naturalis*“ („Естественная история“, 37 томов) все учение об электричестве в основном исчерпывается только этим фактом, известным еще Фалесу. Плиний говорит:

„Когда при натирании руками янтарь получает тепло и жизнь, тогда он притягивает кусочки соломы, сухие листья небольшого веса, подобно тому как магнит притягивает железо“⁸.

Плиний перечитал (как он сам говорит об этом) до 2 000 томов, прежде чем начать писать свою „Историю“. Таким образом, не может быть сомнения, что из области электричества древним грекам и римлянам было известно только это одно „фалесово явление“ и свойство рыбы „наркэ“.

Литература

¹ *Велишский*, Быт греков и римлян, М. 1879, стр. 321.

² *Ibid.*, стр. 346.

³ *К. Маркс* и *Ф. Энгельс*, Соч., Гос. соц. эк. изд. 1931, т. IX, стр. 278.

⁴ *Любимов*, История физики, СПб. 1892, т. I, стр. 261.

⁵ *Ibid.*, стр. 261. *Plinius*, *Historia naturalis*, libr. 37, 2, 13.

⁶ *Шенихен*, Физика жизни, СПб. 1912, стр. 112.

⁷ *Scribon, Larg.* *Compositiones*, *Ausg.* von Helmreich, Leipzig 1887, стр. 9.

⁸ *Historia naturalis*, libr. 30.

КАКИЕ СВОЙСТВА МАГНИТА БЫЛИ ИЗВЕСТНЫ ДРЕВНИМ КУЛЬТУРНЫМ НАРОДАМ

О МАГНИТЕ В СОЧИНЕНИЯХ АРИСТОТЕЛЯ И ПЛАТОНА

Мудрецу“ Фалесу, кроме свойства янтаря („электрона“), было известно также и свойство магнита. При этом, по свидетельству Аристотеля, он считал, что у магнита, так же как и у янтаря, существует душа. Древним грекам и римлянам не было известно свойство магнита указывать север и юг. Из всех свойств „магнитного камня“ в античных книгах упоминается лишь о явлении магнитной индукции.

В диалоге „Ион“ философа Платона (429—348 гг. до н. э.) мы читаем¹: „Этот камень притягивает не только железное кольцо, — он одаряет своей силой и само кольцо, так что оно в свою очередь может притягивать другое кольцо, и, таким образом, друг на друге могут висеть многие кольца и куски железа; это происходит только благодаря силе магнетизма камня“.

„Здесь божественная сила магнита, — пишет Платон, — передается от железа к железу, подобно тому как вдохновение музыки передается через поэта его рассказчику и слушателю“.

ТЕОРИЯ МАГНЕТИЗМА ЛУКРЕЦИЯ

О всех этих свойствах магнита, известных древним грекам, мы читаем и у Лукреция (99—55 гг. до н. э.) — замечательного римского поэта-эпикурейца в его книге: „О природе вещей“ („De rerum natura“):

„Мне остается сказать, по какому закону природы
То происходит, что камень притягивать может железо.
Камень же этот по имени месторождения магнитом
Назван был греками, так как он найден в пределах Магнетов.
Люди весьма удивляются камню такому. Он часто
Цепь представляет из звеньев, держащихся сами собою.
Можешь увидеть ты пять таких звеньев, порой даже больше.
Распределенные рядом, качаясь от легкого ветра,
Звенья такие свисают одно под другим, прилепившись.
Звено одно от другого всю силу и цепкость приемлет.
Вот как здесь действует этого камня текучая сила“².

Чтобы объяснить это явление, Лукреций представляет себе, что от всех тел отделяются материальные частицы.

„Прежде всего от любого предмета, какой мы встречаем,
Вечно должны истекать, отлетать, рассеяться повсюду
Тельца, которые режут глаза нам и трогают зренье.
Запахи также всегда от известных вещей истекают;
Холод от рек истекает, от солнца — тепло, а от моря —
Соли приток, разъедающий жадно прибрежные зданья;
И непрестанно по воздуху разные звуки несутся“³.

Свойства магнита притягивать железо Лукреций объясняет также отделением материальных частиц:

„Прежде всего, непременно от камня * того истекает
Телец первичных порыв, разгоняющий силой ударов
Воздуха столб, расположенный между железом и камнем.
Как только это пространство пустеет и место в середине
Опорожняется, тотчас первичные тельца железа
Внутрь пустоты той врываются вместе, притом происходит,
Что вслед за ними кольцо само тащится в целом составе.
Нет в мире вещи другой, состоящей из телец первичных,
Где бы частицы держались крепче взаимною связью,
Нежели в твердом железе, внушающем ужас холодный.
Значит, как прежде сказал я, тем менее нужно дивиться,
Если частицам железа нельзя в пустоту устремляться
Кучей большой без того, чтоб кольцо не тянулось за ними.
Так и бывает Кольцо приближается к камню, доколе
Не подойдет здесь вплотную, связуясь невидимой связью“⁴.

Но как объяснить, что магнит действует через другие тела?
Лукреций знал и это явление, так как мы читаем у него:

„Также бывает, что попеременно порода железа
Может от камня отскакивать или к нему привлекаться.
Также и то наблюдал я, как прыгают в медном сосуде
Самофракийские кольца железные или опилки
В случае, если под этим сосудом есть камень магнитный.
Вот до чего убежать от него они, видимо, жаждут!
Медь, находясь в середине, приводит здесь все в беспорядок
В силу того, несомненно, что токи от меди сначала
Овладевают путями, открытыми всеми в железе.
После того, когда поры в железе полны совершенно,
Токи несутся магнитные, но им нельзя уж проникнуть;
Стало быть, камень магнитный своим истеченьем толкает
Эти опилки железные и от себя отгоняет,
Если чрез медь он идет, а без меди он их поглощает.
В этом явлении остерегись удивляться, что токи
Камня-магнита влиять на другие тела несposобны.
Вещи одни, как-то золото, слишком устойчивы в силу
Тяжести их, а другие составом неплотны, и токи,
Не задевая их, не вызывая движенья, проходят“⁵.

* То-есть от магнита, В. Л.

Как мы видим, Лукреций объясняет притяжение магнита „материальными истечениями“. Происходит „борьба материальных истечений“. Медь „овладела путями“, т. е. токи от меди мешают проникнуть токам магнитным. „Медь приводит все в беспорядок“. От этого опилки и „самофракийские железные кольца“ и прыгают под влиянием магнита в медном сосуде.

Одно только железо обладает свойством притягиваться к магниту, потому что из прочих тел, по мнению Лукреция, слишком тяжелые и плотные противостоят токам; слишком мягкие имеют скважины, через которые токи проходят беспрепятственно.

В этом примитивном материалистическом объяснении магнитного влияния уже можно отметить прогрессивные элементы — это как бы атомистические представления автора о строении вещества и значительно более смутные, весьма примитивные представления о поле и силовых линиях.

В своей поэме Лукреций объясняет нам, откуда произошло слово „магнит“ и „магнетизм“. Он производит это слово от города Магнезии в Лидии (недалеко от нынешней Смирны), где, по преданию, найдены первые магниты.

Иначе объясняет название „магнит“ другой римский писатель Плиний (23—79 гг. н. э.) в „Естественной истории“ („*Historia naturalis*“), содержащей 37 томов и представляющей собой сборник, написанный под влиянием чтения греческих философов. Повидимому, при чтении Плиний интересовался преимущественно „чудесным“ и „сверхестественным“, и поэтому его очень интересует действие магнитного камня. Он рассказывает, что магнит получил наименование по имени пастуха *Магнесса*, заметившего будто бы, что гвозди его обуви и кончик палки в некоторых местах пристают к горе Иде (на о. Крите). Индия всегда считалась „страной чудес“, поэтому нет ничего удивительного, что Плиний рассказывает о двух горах близ реки Инда, из которых одна будто бы обладала свойством притягивать железо, а другая отталкивала его. Человек, носивший подбитую железом обувь, стоя на первой горе, не был в состоянии поднять ногу, между тем вторая гора отталкивала такую обувь с ужасающей силой. Крайне опасно было приблизиться к первой горе на корабле, так как гвозди вытягивались из досок корабля, и корабль рассыпался. Таковы были легенды о магните.

В заключение нашего обзора сведений, известных древне-римским естествоиспытателям о свойствах магнита, заметим, что во времена Плиния знали о свойствах железа сохранять магнитные свойства *долгое время* („*sola haec materia ferri vires a magnetis lapide accipit retinetque longo tempore*“).

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТА У ИНДУСОВ И КИТАЙЦЕВ

У древних греков и римлян магнит не получил какого-либо применения, он вызывал только удивление. Зато в древней Индии магнит использовался в медицине⁶. Так, о магните упоминается в сочинении „*Ayur veda*“ (500 г. до н. э.) одного индусского врача

Suçruta, который рекомендует пользоваться магнитом для вытаскивания железных наконечников стрел, в особенности когда они воткнулись в тело неглубоко.

Ни римлянам, ни грекам, ни египтянам, ни индусам не было известно, что магнит может служить для указания севера и юга, т. е. служить в качестве „компаса“. Это открытие было сделано *китайцами*.

О времени этого открытия в Китае среди специалистов этого вопроса и знакомых с китайской литературой существуют разногласия.

Так, будто бы еще в эпоху китайской династии Чжоу (Tscheu), т. е. около 1160 г. до н. э., строились особые „югоуказатели“, представлявшие собой маленькую с вытянутой рукой человеческую фигурку, прикрепленную к могущему вращаться магниту.

Такой „югоуказатель“ был подарен, между прочим, царем *Чэн-Ваном* послам из Тонкина, чтобы облегчить им возвращение домой⁷.

Однако, такой специалист по истории компаса, как *Фельдхаус* (Feldhaus), считает это неверным⁸.

Довольно неясно сказано также о компасе и в китайском сочинении II в. н. э. — в знаменитом словаре *Шо-вэнь*; о магните в этом произведении мы читаем: „Магнит — камень, который может дать направление“⁹. Только с известной натяжкой можно подразумевать в таком определении „плавающую бусоль“, т. е. иглу, помещенную на соломинку, которая действительно „указывает направление“.

Однако, мы можем сказать с уверенностью, что в Китае существовали „югоуказатели“ в 235 г. н. э.¹⁰

Как мы увидим из последующих глав, Европа заимствовала компас у китайцев через *арабов*.

Литература

¹ *Feldhaus und Fitze*, *Geschichtszahlen der drahtlosen Telegraphie*, Berlin 1925, стр. 7.

² *Тит Лукреций Кар*, *О природе вещей*. Перевод Рачинского. ОГИЗ, 1933; книга VI, стр. 179, строфы 905 — 915.

³ *Ibid.*, книга VI, стр. 179; строфы 920 — 925.

⁴ *Ibid.*, книга VI, стр. 181—182; строфы 999 — 1013.

⁵ *Ibid.*, книга VI, стр. 182—183; строфы 1039 — 1057.

⁶ *Darmstädter*, *Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und Technik*, Berlin 1908, стр. 9.

⁷ *Urbanitzky*, *Electricität im Altertum*, Wien 1887. Такого же мнения *Darmstädter*, *Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik*, Berlin 1908, стр. 4.

⁸ *Feldhaus*, *Technik der Vorzeit*, 1914, стр. 678.

⁹ *Wittstein*, *Klaproth's Schreiben an Humboldt*, Leipzig 1885, стр. 2 — 3.

¹⁰ *Feldhaus*, *Ibid.*, стр. 678.

ОТКРЫТИЯ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И МАГНЕТИЗМА В СРЕДНИЕ ВЕКА И В НАЧАЛЕ НОВОГО ВРЕМЕНИ

ПЕРИОД СРЕДНИХ ВЕКОВ И ЛЕТОПИСЬ ОТКРЫТИЙ ПО ЭЛЕКТРОМАГ- НЕТИЗМУ В ПЕРИОД V—XVI СТОЛЕТИЙ

С упадком греко-римской (античной) культуры начинается новый период европейской истории, называемый *средними веками*, когда руководящую роль стали играть народы Западной Европы — германо-романские: итальянцы, французы, немцы и англичане.

Период этот обнимает целое тысячелетие (V—XV столетия). Если мы заглянем в летопись истории техники, то в области электричества мы не найдем вплоть до 1600 г. ни одного открытия; в области магнетизма их также немного. Вот хронологический перечень этих открытий.

820 г. *Гебер (Абу-Муза-Джабир)* заметил, что магнит может терять свои свойства со временем. *Видеман* в „*Annal. d. Phys. und Chemie*“, *Neue Folge*, IV, 320, указывает на одну интересную цитату, заимствованную им из „*Книги милосердия*“, приписываемой Геберу:

„У меня был кусок магнитной руды, поднимавший 100 диргемов железа. Я дал ему полежать некоторое время и поднес к нему другой кусок железа. Магнит его не поднял. Я подумал, что второй кусок тяжелее 100 диргемов, которые он прежде поднимал, и взвесил его. В нем оказалось всего 80 диргемов. Значит, сила магнита ослабела, величина же его осталась прежней“¹.

850 г. Около этого года арабы начинают пользоваться при мореплавании *компасом*; на это указывает работа исследователя *Jakob'a*: „*Oest. Kult. im Abendland*“, Berlin 1902².

1068 г. Одна норвежская летопись сообщает, что при ориентации в шахтах употреблялась магнитная стрелка.

1195 г. Англичанин *Александр Нескам (Neskam)* в своей рукописи под заглавием: „О природе вещей“ указывает впервые, что сталь можно намагнитить, а в главе 98 этой рукописи³ описывает „компас“ (кусочек магнитной руды на поплавке).

1269 г. Француз *Петр Перегрин* из Марекюра (*Petrus Peregrinus de Marécourt*) производит ряд исследований по магнетизму. Ему известно существование двух противоположных полюсов у магнита, притяжение разноименных полюсов и отталкивание одноименных. Перегрину попытка использовать магнит для того,

чтобы построить вечный двигатель, т. е. машину, работающую даром без затраты энергии⁴.

1492 г. Колумб (Christopher Columbus) замечает 13 сентября 1492 г. в 300 милях к западу от Ferro* отклонение магнитной стрелки от меридиана. Кроме того ему принадлежит следующее любопытное наблюдение над склонением магнитной стрелки:

„Всякий раз, когда, покидая берег Испании, я направлялся к Индии, я замечал, как только отъеду на 100 миль к западу от Азорских островов, необычайную перемену в движении небесных светил, в температуре воздуха и стоянии моря. С великим тщанием наблюдая эти перемены, я нашел, что магнитная стрелка, склонение которой доколе было к северо-востоку, перешла к северо-западу“⁵.

1544 г. Гартман (Georg Hartmann) открывает наклонение магнитной стрелки. В письме к прусскому герцогу Альбрехту он пишет:

„Кроме того я нахожу, что магнитная стрелка уклоняется не только от полуночи к востоку, но также и вниз. Это можно показать следующим образом. Я подвешиваю стрелку длиной в палец так, чтобы она могла оставаться горизонтальной на острие. В таком случае ни один из концов не наклоняется к земле. Но как только я натираю один ее конец (магнитом), она не остается уже горизонтальной, а больше или меньше наклоняется вниз на несколько градусов. О причине этого я не могу ничего сообщить вашему королевскому высочеству“⁶.

1576 г. Английский моряк (компасный мастер) Норман (Norman) исследует вопрос о наклонении еще подробнее, измерив его для Лондона в $71^{\circ}50'$ ⁷.

Приведенная здесь хроника открытий по электромагнетизму показывает нам следующее:

1. Арабам сделался известен компас еще в IX в. В европейских сочинениях впервые говорится об этом приборе в XI в.

2. За тысячелетний период были произведены лишь случайные наблюдения, и притом в области земного магнетизма открыты явления, связанные с магнитной стрелкой.

3. По электричеству не сделано ни одного открытия.

Как же объяснить подобные явления?

СРЕДНЕВЕКОВАЯ ТЕХНИКА

Отсутствие открытий и изобретений в области электричества и магнетизма в эпоху феодализма, примерно совпадающего во времени с так называемыми средними веками, объясняется общим низким уровнем техники, — не предъявлявшей к науке никаких новых требований и не дававшей ей никаких технических средств к постановке серьезного научного эксперимента, — и слабым развитием науки в смежных прикладных областях. И поскольку ручному способу производства в ремесле и сельском хозяйстве с ручным ткацким станком и плугом не мешал общий строй производственных

* Отклонение магнитной стрелки было известно еще китайцам в IX в. н. э.

отношений: замкнутость цехов, слабость торговых связей и изолированность производителей друг от друга, — феодальное общество медленно развивалось, и в недрах этого общества плохо развивалась техника, слабо развивалась наука, медленно развивались и представления об электричестве и магнетизме.

Низкий уровень техники в феодальном обществе весьма сильно отразился на бытовых условиях населения. Жилища были грязные, даже в городах: без стекол, полов и печей, часто с соломенными крышами. Утварь и посуда были по преимуществу деревянные; например тарелки и чашки были обычно из дерева. Вилки и ножей не употребляли. Чулок также не знали. Подушки на постелях считались мотовством, равно как употребление салных свечей. Мылом не пользовались. Вместо этого были благовонные масла, которые совершенно непригодны для оттирания грязи от тела. Разные болезни зачастую опустошали целые города. Книг было крайне мало, и они считались редкостью. Даже в более позднюю эпоху средневековья библиотека в 100 книг считалась очень большой, так как купить „список Ливия“ стоило столько же, сколько приобрести целое поместье. В общественных библиотеках средних веков книги обычно привязывались на цепь, чтобы их нельзя было унести с собой⁸.

В средние века изолированность и разобщенность производителей часто вели к гибели изобретения, уже сделанные.

„Только от развития сношений зависит то, сохранится ли или нет для дальнейшего развития достигнутый в какой-нибудь местности уровень производительных сил, в особенности сделанные в ней изобретения. Пока сношения ограничиваются ближайшим соседством, всякое изобретение должно делаться особняком в каждой местности; достаточно было простых случайностей, вроде вторжения варварских народов или даже обыкновенных войн, чтобы довести какую-нибудь страну с развитыми производительными силами и потребностями до необходимости начинать все сначала. В первоначальной истории каждое изобретение должно было делаться ежедневно наново и в каждой местности независимым образом“⁹.

При такой разобщенности производителей в эпоху феодализма особенно положительную роль должны были сыграть народы с развитой торговлей.

В истории средних веков можно наметить два периода: первый период — период забвения технических навыков древних, затем вторая половина и конец средневековья, когда уже начинают довольно широко развиваться торговые связи.

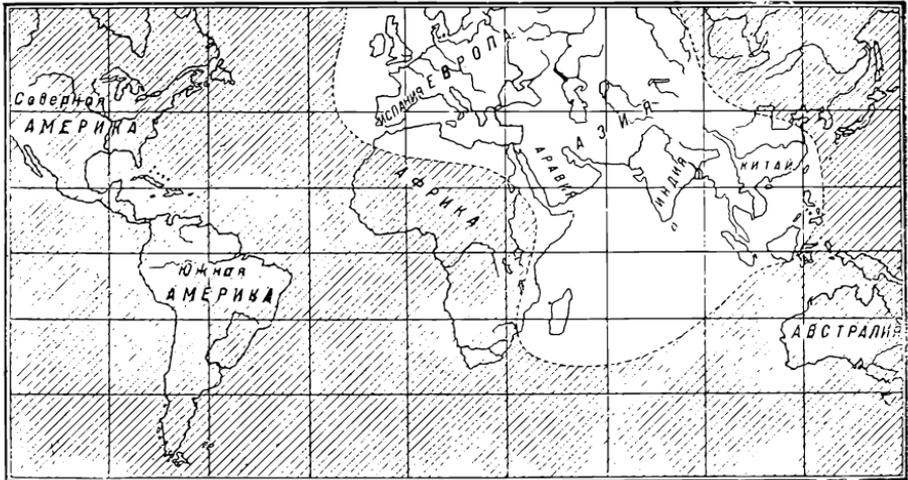
В средние века, в ранний период истории науки и техники, сыграли большую роль арабы или, вернее, арабские купцы.

АРАБЫ В VIII И IX СТОЛЕТИЯХ

В начале средних веков, с победой христианства, возникло и враждебное отношение к древней языческой науке.

Положительную роль в сохранении античной культуры сыграли арабы. В VIII и IX вв. арабы держали в своих руках ключ к между-

народной торговле — торговый путь от Атлантического океана до Китая; арабский язык являлся международным языком для торговых сношений, а торговый арабский флот обслуживал все Средиземное море и рынки Азии. К блестящему двору пышных халифов стекались со всех сторон богатства; сюда прибывали также ученые и художники; вырос интерес к науке. Широкие торговые сношения арабов, их связь со всем известным тогда миром помогли усвоению ими самых разнородных культур. На прилагаемой здесь карте наглядно показано, в каких странах побывали арабские корабли.



Карта, показывающая, куда заходили арабские корабли в VIII и IX вв.
Заштрихована область, неизвестная арабам.

У китайцев арабы позаимствовали умение изготовлять порох и бумагу и применение *компас* для мореплавания, у индусов они позаимствовали *цифры*, у египтян — *элементы химии и медицины*.

Благодаря арабам западная культура, помимо греческой и римской учености, усвоила также многое из древней восточной культуры.

Впоследствии европейцы переняли от арабов *компас*, начали делать *порох, бумагу* и пр.

ЗАРОЖДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДА

Обычно принято приписывать „открытие“ опытного метода исследования какому-нибудь определенному лицу. Чаще всего называют *Галилея* (Galileo Galilei, 1564 — 1642) или *Бэкона Верлуамского* (Francis Bacon, 1561 — 1626).

В действительности же развитие экспериментального метода связано с широким развитием ремесел и с возникновением ряда новых научных вопросов и научных методов исследования в различных

ремеслах и областях знания того времени, в первую очередь в алхимии, которая к этому времени уже собрала много конкретного материала, конкретных фактов для научного исследования. Много новых вопросов было поставлено также в механике, в фармации и в разнообразнейших ремеслах, связанных с развитием вышеуказанных областей знания.

Можно сказать, что знания алхимиков, врачей, первых арабских фармацевтов и ремесленников опирались в известной мере на эксперимент. Великолепное понимание роли эксперимента для приобретения точного знания мы уже находим у *Леонардо да Винчи* (1452—1519), художника и естествоиспытателя, жившего на 100 лет

раньше Галилея и Бэкона. В его записной книжке мы читаем*:

„Опыт никогда не обманывает“.

„Не слушай учения тех мыслителей, доводы которых не подтверждаются опытом“.

„Кто требует, чтобы опыт дал то, чего он дать не может, тот удаляется от разума“.

Во времена Галилея опыт уже прочно проник в науку. Об этом свидетельствуют такие работы, как сочинение по магнетизму англичанина Гильберта или, как чаще называют его у нас, Джильберта (Gilbert William, 1554—1603), современника Галилея. Подробный разбор сочинения Джильберта будет дан в следующей главе.

Все первые экспериментаторы были практиками: Леонардо да Винчи — инженер, Галилей — оптик и механик, Джильберт —

врач. И это не случайно, ибо сама практика, конкретная практическая работа этих ученых в той или иной области научного знания заставляла их производить опыты, искать новые формы и методы научного исследования, в результате чего и создавался новый научный экспериментальный метод исследовательской работы.

Джамбаттиста дела Порта (1541—1615), написавший „Натуральную магию“, проверяет уже в 1583 г. денно и ночью с большими для себя издержками „все вычитанные им факты из книг на опыте“. Если просмотреть содержание этой книги, то окажется, что, наряду

* В 1935 г. вышли „Избранные произведения“ Леонардо да Винчи в двух томах, изд. „Academia“ 1935 г. Мы пользовались прекрасной книгой: *Габриель Сеайль*, Леонардо да Винчи как художник и ученый, СПб. 1898. Цитаты взяты из этого сочинения, стр. 116 и др.



Джамбаттиста дела Порта (1541—1615). Портрет на титульном листе английского издания „Натуральной магии“.

с катоптрикой, пневматическими опытами, учением о магните и пр., здесь имеются главы о приготовлении фейерверков, о кузнечном деле, о перегонке, о лекарствах, о выращивании новых растений и т. д.

Такую же связь между физикой и техникой, какая ярко выражена в работах Дж. делла Порты, мы находим и в работах других ученых этого периода.

Рассмотрим „Натуральную магию“ Дж. делла Порты подробнее.

СОДЕРЖАНИЕ „МАГИИ“ ДЖИАМБАТТИСТА ДЕЛЛА ПОРТЫ (1589)

Это сочинение характеризует состояние науки того времени и указывает, какие вопросы в области естествознания больше всего интересовали образованных людей конца XVI в.

Как свидетельствует сам Порта в предисловии ко второму изданию, переработанному в 20 книгах и появившемуся в 1589 г., он „не только перечитал древних авторов, но в путешествиях по Италии, Франции, Испании посещал библиотеки, входил в сношения с учеными и мастерами, переписывался с теми, с кем не имел личных свиданий, всюду собирая секреты и стараясь проверить их собственным опытом денно и нощно, с большими издержками“¹⁰.

Нас должна особенно интересовать седьмая глава этого сочинения: „О магнетизме“. В этой главе Порта является не только собирателем сведений, но и *экспериментатором*.

„От драгоценных камней,—говорит Порта,—перейдем к «главе камней» — удивительному магниту, в котором наиболее проявляется величие природы. Приступаем тем с большею охотою, что древние почти ничего, достойного памяти, нам тут не оставили. Мы же в немного дней или, лучше сказать, часов, отданных этому предмету, нашли столько вещей, что могли сделать из них двести интересных заметок“.

Какие же это „интересные заметки“?

Дж. делла Порта говорит здесь о свойстве подвешенного магнита располагаться от юга к северу, о притяжении и отталкивании полюсов, о невозможности получить магнит с одним полюсом при разламывании, о намагничивании, о проникновении магнитного действия через все тела, кроме железа (т. е. магнит действует через бумагу, дерево и пр.), о движении железных опилок и вообще железа на доске, под которой скрыт магнит, о приготовлении стрелок для компаса, о возможности применения магнитного склонения к определению долготы места, об утрате магнетизма через сильное нагревание.

О „наклонении“ магнитной стрелки, известном Гартману (1544), в книге Дж. делла Порты (1589) ничего не говорится.

Интересна теория магнетизма Дж. делла Порты¹¹.

„Какая естественная причина магнетизма притяжения?“— спрашивает Дж. делла Порта. И отвечает: хотя о притяжении магнита написаны целые книги, однако все высказанное— не более, как слова и пустые измышления.

MAGIA NATURALIS

SIVE

De miraculis rerum naturalium

LIBRI XX.

J. Baptiste Porta, Neapolitano, auctore.

- I. De mirabilium rerum causis.
- II. De variis animalibus gignendis.
- III. De novis plantis producendis.
- IV. De augenda supellectili.
- V. De metallorum transmutatione.
- VI. De gemmarum adulteriis.
- VII. De miraculis magnetis.
- VIII. De portentosis medelis.
- IX. De mulierum cosmetice.
- X. De extrahendis rerum essentiis.
- XI. De myropoeia.
- XII. De incendiariis ignibus.
- XIII. De raris ferri temperaturis.
- XIV. De miro conviviorum apparatu.
- XV. De capiendis manu feris.
- XVI. De invisibilibus litterarum notis.
- XVII. De catoptriciis imaginibus.
- XVIII. De staticis experimentis (seu de gravis et levis).
- XIX. De pneumaticis.
- XX. Chaos

Перевод содержания. I. О производящих удивительные действия причинах вещей. II. О разведении различных животных. III. О выращивании новых растений. IV. О домашнем хозяйстве. V. О превращении металлов. VI. О приготовлении искусственных драгоценных камней. VII. О чудесах магнита. VIII. О лекарствах. IX. О женской косметике. X. О перегонке. XI. О приготовлении духов. XII. О приготовлении фейерверков. XIII. О кузнечном деле. XIV. О кулинарном искусстве. XV. О ловле животных. XVI. О шифрованном письме. XVII. О катоптрике. XVIII. О равновесии. XIX. О пневматических опытах. XX. Хаос.

Дж. дела Порта останавливается на мнении *Анаксагора*, считавшего магнит одушевленным камнем и объяснявшего его действия существованием у него души. Он описывает также то объяснение, которое дается магниту Эпикуром, и которое передано Галеном и Лукрецием.

С гипотезой Лукреция Дж. дела Порта не согласен.

Собственная его теория сводится к следующему:

„Магнит есть некоторая смесь камня и железа, так что его можно назвать железным камнем или каменным железом. Но не надо думать, что камень превратился в железо, потеряв свою природу, или что железо так погрузилось в камень, что утратило свои особенности. Но они стремятся один подчинить себе природу другого, и из борьбы этой происходит притяжение железа“.

В заслугу Дж. дела Порты следует поставить то, что он имеет о магните более здоровое понятие, чем, например, имел *Кирхер* (1601—1680), писавший позже и издавший в 1641 г. обширный трактат о магнетизме: „*Magnes, sive de arte magnetica opus tripartitum*“.

Взгляды Кирхера проникнуты мистицизмом, и он часто оперирует неверными или вымышленными фактами. Кирхер говорит, что магнит „любит красный цвет“, и, обернутый в красную фланель, он лучше сохраняет силу, чем без такого „одеяния“. Дальше Кирхер утверждает, что „магнит не любит чеснока и лука“, и что „гроб Магомета магнитною силою держится в воздухе“.

Дж. дела Порта все подобные предрассудки, конечно, совершенно отвергает, и свои сведения о магните он подкрепляет определенными *опытами*. В своих исследованиях Дж. дела Порта не отстает от передовых ученых своего времени. В XVI в. экспериментальный метод уже настойчиво пробивает себе дорогу в науке.

Со стороны содержания учение о магнетизме и электричестве представляло вплоть до начала XVII в. лишь собрание сведений, разбросанных в виде отрывков в сочинениях различных авторов. Только с появлением книги Джильберта „*De Magnete*“ (см. главу четвертую) в истории учения об электрических и магнитных явлениях наступает перелом.

ПОЯВЛЕНИЕ КОМПАСА В ЕВРОПЕ

Определение момента появления компаса в Европе занимало многих исследователей по истории физики.

Как мы уже указывали, компас, по всей вероятности, заимствован арабами у китайцев и привезен в Европу около 850 г.

Среди историков, однако, высказывается взгляд, что европейцам компас был известен уже в IV в. нашей эры, так как „исследования многих сотен церквей“ показали, что средневековый архитектор при постройке ориентировался уже в IV в. не по солнцу, а по компасу.

„Применение компаса при постройке являлось секретом архитекторов, и еще в 1516 г. архитектор *Лакер* (*Lacher*) открывает

этот секрет своему сыну, когда последний собирается строить хоры для церкви¹².

Однако научно все это было пока совершенно не обосновано.

Из ученых впервые описывает компас (кусок магнитной руды на поплавке) Некэм (Neskam) в книге: „О природе вещей“ („De naturis rerum“, глава 98), написанной в 1195 г.

Самое раннее изображение компаса мы имеем в рукописи Петра Перегринуса 1269 г. — самого раннего автора книги о магнетизме, копии с которой имеются почти во всех столицах Европы.

Содержание этого сочинения следующее¹³.

Первая часть

- Глава 1. Задачи, которые ставит себе автор.
- „ 2. Качества экспериментатора.
- „ 3. Характеристика хорошего магнитного камня.
- „ 4. Как найти полюс в магните.
- „ 5. Как узнать, где северный и южный магнитные полюса.
- „ 6. Как один магнит притягивает другой.
- „ 7. Как повертывается кусок железа, когда до него касаются магнитом.
- „ 8. Как магнит притягивает железо.
- „ 9. Почему северный полюс магнита притягивает южный, и наоборот.
- „ 10. Несколько исследований о природе и свойствах магнита.

Вторая часть

- Глава 1. Конструкция прибора для измерения азимута.
- „ 2. Конструкция более удобного прибора для той же цели.
- „ 3. Как построить вечный двигатель.

Упоминание о магнитной стрелке мы встречаем у целого ряда писателей XII и XIII вв.: у *Раймонда Луллы* (1286), у французского поэта XIII в. *Гюйо де Прованс* (Guyot de Provins) (1205) и др.*.

Таким образом, медная статуя в Италии, изображающая неаполитанского мореходца начала XIV в. из г. Амальфи — *Флавио Джойя* (Flavio Gioja), как изобретателя компаса, была поставлена без всяких оснований¹⁴.

Склонение компаса в Европе стало известно благодаря Колумбу (1492), а наклонение много лет спустя обнаружил Гартман (1544); некоторые подробности этих открытий мы приводим в нашей летописи.

Литература

¹ *Розенбергер*, История физики; изд. ОНТИ, 1934, ч. 1, разд. II. История физики в средние века, § 1. Период арабской физики, стр. 83—85.

² *Jakob*, Oest. Kult. im Abendland, Berlin 1902, стр. 13.

* В рукописи Guyot de Provins говорится, что если коснуться иглой темного камня, затем положить ее на соломинку и пустить в сосуд с водою, то иголка направится к северу. (*Любимов*, История физики, вып. 2, стр. 171).

- ³ *Neckam*, De naturis rerum, гл. 98, стр. 183.
- ⁴ „Epistola Petri Peregrini de magnete“, Augsburg 1558.
- ⁵ *Гумбольдт*, Космос, т. II (1847), стр. 300.
- ⁶ „Neudruck zur Meteorologie“, Berlin 1904, № 10, П. Т. Ж., 1892, стр. 914.
- ⁷ *Norman*, The newe attractive, London 1581.
- ⁸ *Paul Lacroix*, Sciences & lettres au moyen âge.
- ⁹ *К. Маркс и Ф. Энгельс*, Архив К. Маркса и Ф. Энгельса, ГИЗ, Москва 1928, т. I, стр. 236.
- ¹⁰ *Porta*, Natural Magick, London 1653. Предисловие.
- ¹¹ *Ibid.*, гл. II (англ. изд., стр. 191).
- ¹² *Feldhaus*, Die Technik der Vorzeit, стр. 674.
- ¹³ *Partain and Walsch*, Makers of Electricity, New York 1909, стр. 18.
- ¹⁴ *Poggendorff*, Geschichte der Physik, стр. 98.

ПЕРВОЕ ПЕЧАТНОЕ СОЧИНЕНИЕ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ
И МАГНЕТИЗМУ

ДЖИЛЬБЕРТ КАК ФИЗИК

Джильберт* (William Gilbert, 1544—1603) своим сочинением „О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле“, 1600 г. („De magnete magneticis que corporibus et de magno magnete tellure, physiologia nova“, London 1600) открывает новую главу в истории учения о магнетизме. В этом сочинении впервые дана довольно полная теория магнитных явлений и, таким образом, заложено основание целой новой отрасли физики, получившей широкое развитие в наши дни.

Сочинение это замечательно еще и потому, что при его чтении (оно написано свыше 300 лет тому назад) чувствуется, что автор этого произведения—уже физик, глубокий ученый, который рядом искусных опытов впервые показывает на примере, как надо производить исследования.

Джильберт в первых строках своего труда подчеркивает важность опыта для истинного знания. В понимании экспериментального метода и его связи с философией он близко подходит к Бэкону. Он отвергает чисто умозрительное знание; всякую гипотезу он считает верной только тогда, когда она проверена на опыте. Процесс образования философских обобщений он понимает как нахождение все более и более общих связей между данными опыта. В предисловии к своему сочинению: „О магните“ Джильберт пишет:

„В открытии тайн и исследовании скрытых причин вещей от точных опытов** и доказанных положений получают более прочные выводы***, нежели от вероятных догадок и мнений рутинных философов. Поэтому, для лучшего понимания совершенно неизвестной доселе славной субстанции великого магнита — всеобщей матери Земли и превосходных, выдающихся сил сего шара, мы поставили себе задачу начать с обыкновенной магнитной материи, каменной и железной, а также с ближайших магнитных тел и частей Земли, которые можно трогать руками и воспринимать чувствами, а затем уже идти далее чрез очевидные магнитные опыты и впервые

* У нас принято называть автора первого сочинения по магнетизму „Джильбертом“. Более правильно произносить „Гильберт“.

** Курсив мой. В. Л.

*** Курсив мой. В. Л.

проникнуть в сокровенную глубь Земли... Этот труд наш не оказался праздным или бесполезным, ибо *при ежедневных опытах* * нам выяснялись новые и неслыханные свойства, и из прилежного рассмотрения предмета настолько возросла философия, что мы решили изъяснить на основаниях магнетизма внутренность земного шара и собственную его субстанцию, показать людям Землю —



Вильям Джильберт (1544—1603).

всеобщую мать — и *при помощи точных демонстраций* ** и ясно представляющихся чувствам опытов как бы указать на нее пальцем“ ***.

Джильберт также весьма близко подходит к пониманию того положения, что наше познание должно отразить свойства самих вещей, все время прибегая и возвращаясь к опытным данным, проверяя и уточняя их. Вот что по этому поводу писал Джильберт:

„К вам только, мужи разума и истинной философии, *ищущие науку не в книгах только, но и в самых вещах*, обращаю я эти основания магнитной науки, добытые новым родом философство-

* Курсив мой. В. Л.

** Курсив мой. В. Л.

*** Взято у Любимова, История физики, т. III, стр. 211

вания. Если кто и не признает возможным согласиться с высказанными мнениями и некоторыми парадоксами, то пусть усмотрит все-таки великое обилие опытов и открытий (а ими главным образом процветает вся философия), кои достигнуты и доказаны многими трудами нашими, неустанностью и издержками. Ими будьте довольны и пользуйтесь, если можете, к лучшему употреблению“.

Являясь современником Галилея, Джильберт оказался для учения о магнетизме тем, чем был великий Галилей для механики.

СОДЕРЖАНИЕ СОЧИНЕНИЯ ДЖИЛЬБЕРТА

Сочинение Джильберта состоит из шести книг.

В *первой и второй* книгах он дает обзор того, что было известно до него. Он начинает с заметки о том, что знали о магните древние и более поздние писатели, а также указывает на то, в каких странах имеется руда. Джильберт отмечает следующие свойства магнита:

Первое свойство. Магнит обладает в различных частях различной притягательной силой; на полюсах эта сила наиболее заметна (кн. I, гл. 3).

С этим свойством магнита легко ознакомиться при помощи железных опилок. Погружая магнит в железные опилки, мы наблюдаем скопления их на полюсах.

*Второе свойство. Магнит имеет два полюса: северный и южный**; они различны по своим свойствам (кн. I, гл. 4).

Джильберт указывает приемы, как найти эти полюсы. Самый простой: обмотать в различных направлениях естественный магнит железной проволокой. Последняя займет положение по магнитному меридиану — большому кругу, направленному от одного полюса к другому. Отметив на камне направление этих линий, мы в месте встречи найдем полюсы.

Другой способ: поместить магнит на деревянную подставку, а эту последнюю на воду, — тогда магнит обратится одним концом к северу.

Третье свойство. Разноименные полюсы притягиваются, а одноименные отталкиваются (кн. I, гл. 5).

С этим свойством магнита мы легче всего можем познакомиться, пользуясь магнитной стрелкой и магнитом.

Четвертое свойство. Магнит, подвешенный на нитке, располагается определенным образом в пространстве, указывая север и юг (кн. I, гл. 12).

Это свойство, как мы видели, было открыто давно (см. гл. 3).

Пятое свойство. Невозможно получить магнит с одним полюсом (кн. I, гл. 13).

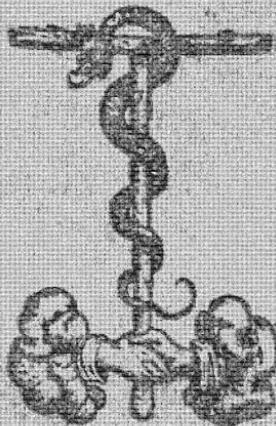
Действительно, разламывая магнит на части, мы получаем опять магнит с двумя полюсами (см. верхний рис. на стр. 32).

Шестое свойство. Земной шар — большой магнит (кн. I, гл. 17).

* Названия „северный“ и „южный“ ввел Гартман в 1544 г.

G V I L I E L M I G I L
B E R T I C O L C E S T R E M
S I S, M E D I C I L O N D I
N E N S I S,

D E M A G N E T E, M A G N E T I
C I S Q V E C O R P O R I B Y S, E T D E M A G
n o m a g n e t e t e l l u r e, P h y s i o l o g i a n o n
pharmacis & argumentis, & expe-
rientis demonstrata.

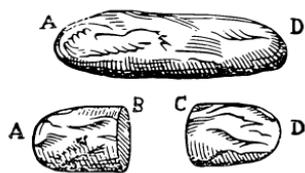


L O N D I N I

E X C U D E B A T P E T R V S S M O K T A N N O
M D C.

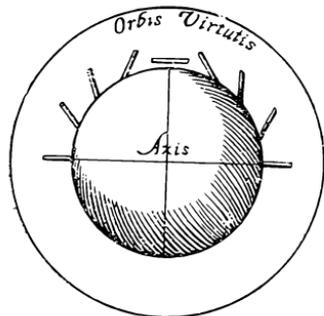
Титульный лист сочинения Джильберта: „О магните“, 1600 г.

Еще Норман низвел точку притяжения магнитной стрелки с неба (сюда ее помещали прежде) во внутренность Земли. Джильтберт пошел дальше и принял Землю за большой магнит, причем он полагал, что магнитные полюсы Земли совпадают с географическими полюсами. Чтобы доказать верность своей теории, Джильтберт вырезал из естественного магнита шар так, что в нем получилось два полюса в двух диаметрально противоположных точках. Этот шарообразный магнит он назвал „терреллой“, т. е. маленькой Землей. Приближая к ней небольшую, легко подвижную магнитную стрелку, Джильтберт мог наглядно показать те разнообразные положения магнитной стрелки, которые она принимает в различных точках земной поверхности (см. нижний рис. на этой странице).



Невозможно получить магнит с одним полюсом. При делении магнита *AD* получаются снова два магнита: *AB* и *CD* (рисунок из соч. Джильтберта: „О магните“).

Исходя из положения, что „Земля — большой магнит“, Джильтберт объясняет, почему магниты устанавливаются в положении меридиана, и даже указывает, как необходимое следствие, на изменчивость „наклонения“ стрелки. Так, например, из теории: „Земля — большой магнит“ Джильтберту, как мы увидим ниже, нетрудно было предсказать, что на экваторе величина наклонения стрелки равна нулю, т. е. стрелка расположена строго горизонтально, у полюсов — наклонение равно 90° .



Опыт Джильтберта с „терреллой“, показывающий, что должно существовать наклонение магнитной стрелки (рисунок из соч. Джильтберта: „О магните“).

Кроме этих перечисленных свойств магнита, Джильтберт открыл, что „земной шар может намагнитить сталь“.

Уже во времена Дж. делла Порты было известно, что можно намагнитить кусок стали путем натирания. Джильтберт тоже говорит об этом приеме (кн. II, гл. 25). Но, кроме того, он показал, что сталь можно намагнитить действием земного магнетизма. Ему было известно, что если держать железный брусок вблизи южного полюса магнита, то и сам брусок обращается в магнит, причем на конце, обращенном к южному полюсу, появляется северный полюс, а на другом конце бруска — южный. Совершенно так же действует и земной шар; поэтому железный стержень, имеющий направление стрелки компаса, вследствие действия земного магнетизма становится магнитным.

Исследования магнетизма привели Джильтберта к электрическим явлениям (кн. II, гл. 2). В отличие от своих предшественников, он, кроме янтаря, называет еще целый ряд тел, способных при трении „электризоваться“: алмаз, сапфир, аметист, опал, горный хру-

сталь. Неспособными электризоваться он признает жемчуг, мрамор, кость, металлы*.

Наэлектризованные тела притягивают почти все твердые тела, и в этом Джильтберт видит различие между электрической и магнитной силами. Вновь открытую силу природы Джильтберт назвал „электрической силой“, производя это слово от „электрон“ — *янтарь*.

Джильтберт при своем искусстве экспериментировать предполагал существенную разницу между магнитной и электрической силами; эту разницу он характеризовал следующим образом:

1. Электрическая сила происходит только от трения, между тем как магнитная сила — довольно постоянное свойство железа.

2. Электричество „уничтожается от влажности“; магнит действует даже через твердые тела.

3. Магнит притягивает лишь немногие тела; электричество действует почти на все вещества.

4. Магнит поднимает тела значительной тяжести, электричество — одни легкие тела.

Указывая на эту разницу между обеими силами, Джильтберт и выделил электрическую силу как особую, в отличие от магнитной.

Чрезвычайно интересно, что Джильтберту уже известно было, как свойство пламени разряжать наэлектризованное тело, так и то, что электризация тел зависит от погоды.

Кроме этих основных фактов, мы находим у Джильтберта еще целый ряд второстепенных. Так, он выяснял много нового относительно естественных и искусственных магнитов.

Он нашел, например, что магнит притягивает чистое железо сильнее, чем руду (кн. I, гл. 16). Для естественных магнитов Джильтберт ввел железную *арматуру*, показав, что она усиливает действие (кн. II, гл. 19); на опыте он исследовал роль формы при изготовлении искусственных магнитов (кн. II, гл. 31, 32) и пр. У Джильтберта мы находим описание многих интересных опытов.

Джильтберт жил в такое время, когда не были известны еще законы динамики, когда еще не было выдвинуто понятие „силы“, как одно из основных понятий физики. Описывая компас, он раз-

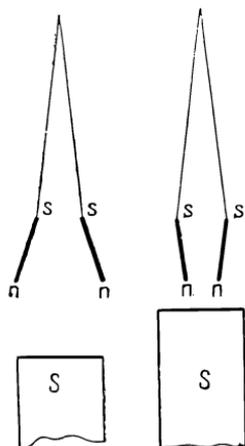


Путемковки куска железа, помещенного в направлении с севера (Septentrio) на юг (Auooster), можно намагнитить его (рисунок из соч. Джильтберта: „О магните“).

* В настоящее время, как известно, металлы тоже можно наэлектризовать трением, но их предварительно нужно изолировать.

личает пять разных магнитных движений: *притяжение* (coitio), *направление* (directio), *склонение* (variatio), *наклонение* (declinatio) и *круговое движение* (motus circularis seu revolutio).

Вторая книга сочинения Джильберта: „О магните“ посвящена как раз „притяжению“, третья — „направлению“. Причину „притяжения“ Джильберт видит в земле. Поясняя, почему мягкое железо в земном поле проявляет магнитные свойства, он описывает свой, ставший классическим, опыт с двумя повешенными рядом кусочками железной проволоки, которые, как только к ним подносят магнит, расходятся, отталкиваясь друг от друга (см. рис. на данной стр. 34).



Опыт Джильберта: при приближении магнита к двум повешенным железным полоскам последние расходятся в нижней части, так как намагничиваются через влияние. При дальнейшем приближении магнита полоски в нижней части снова сойдутся.

По мнению Джильберта, склонение магнитной стрелки неизменно на всей поверхности Земли (variatio uniuscujus que loci constans est).

На своей модели Земли — „террелле“ — Джильберт мог, как мы уже говорили, показать наглядно изменяемость *наклонения* магнитной стрелки с широтой места (см. нижний рис. на стр. 32). Необходимо заметить, что во времена Джильберта наклонение было измерено только в Лондоне; на террелле Джильберт обнаружил все особенности этого явления. Он настолько увлекся своей теорией, что даже предполагал возможным определять по наклонению высоту полюса и широту данного места. Джильберт рекомендует морякам этот способ (кн. V, гл. 8) при облачном небе (aëre caliginoso).

В третьей книге, известной под заглавием: „О направлении“, Джильберт излагает *теорию* тех явлений, которые были им открыты на опыте.

Электрические явления он объясняет „истечениями“, подражая в этом отношении древним авторам. Воздух он считает „истечением земли“. При электризации тончайшая жидкость вследствие трения с другими телами „выливается из тела“. Эта „жидкость“ является посредником при электрическом притяжении легких тел, подобно воздуху, который, по представлению Джильберта, заставляет приближаться к центру земли тела, у которых отнимают опору. „Магнетизм“ Джильберт рассматривает как особую силу, напоминающую „силу одушевленного существа“ („vis magnetica animata est, aut animam imitatur“; кн. V, гл. 12).

Четвертая книга озаглавлена: „О склонении“, пятая — „О наклонении“.

Чтобы объяснить „склонение“ магнитной стрелки, Джильберт указывает, что „вода не обладает магнитными свойствами“, и потому отклонение от географического меридиана происходит от неравномерного распределения

Шестая книга, посвященная „большому магниту — Земле“, содержит, между прочим, следующие главы: „География Земли и терреллы“ (гл. 8), „Об экваторе Земли и терреллы“ (гл. 9), „Параллели“ (гл. 11) и пр. Для объяснения явлений земного магнетизма Джи́льберт использует все свойства „магнита-терреллы“.

Рассматривая Землю как большой магнит, он представляет себе, что она „вращается за счет своей магнитной энергии“. Луна вращается около земли вследствие магнитных взаимодействий. К этому вопросу Джи́льберт возвращается в своем другом сочинении: „De Mundo Nostro“ („О нашем мире“), где мы у него читаем:

„До Земли достигают излитые Луной силы и действуют на жидкие тела. В свою очередь *магнитные силы Земли обливают Луну*; обе соединяются во взаимодействия и согласуются в пропорции и соответствии движения, но преобладает Земля, преодолевающая массу“ *.

В объяснении притяжения между планетами в зависимости от массы Джи́льберт является предтечею *Ньютона*, открывшего закон всемирного тяготения. В течение всего XVII столетия „De Magnete“ Джи́льберта являлась настольной книгой для всех, изучающих явления электричества и магнетизма.

* Приводим дословно это место в сочинении Джи́льберта:

„Perveniant ad tellurem effusae vires lunares, fluidaque corpora agunt; cerinde magneticae virtutes telluris Lunam circumfundunt; ambo utrarum que conactu conveniunt, censetiunt que motuum proportione et conformitate; magis tamen imperat tellus vincente mole“.

ЭПОХА ДЖИЛЬБЕРТА

АНГЛИЯ В XVI И XVII СТОЛЕТИЯХ. ИЗДАНИЕ СОЧИНЕНИЯ
ДЖИЛЬБЕРТА

Эпоха Джильберта обнимает собою почти весь XVII в. „De Magneto“ было издано в 1600 г. и затем в течение XVII в. выдержало несколько изданий¹. Кроме Англии, по ней учились и в Италии, и в Германии, и в Голландии.

В XVII в. латинский язык продолжал быть международным научным языком. Поэтому книга Джильберта, напечатанная в Англии, очень скоро была прочтена всеми европейскими учеными XVII в.; ее, между прочим, читал Галилей (1564—1642). Однако при первых шагах „магнитной науки“ „новое было внесено главным образом английскими физиками“. Заметим, что в XVII в. еще не существовало специальной науки „физики“, равно как не было „исследователей по физике“. То, что в наше время принято называть „физикой“, в Англии, например, носило название „натуральной философии“. Почему же, однако, учение о магнетизме интересовало главным образом англичан? Чем характерна эта эпоха?

Англия в это время ведет решительную борьбу сперва с Испанией, а затем с Францией за мировое господство, преимущественно за господство на море. Эта борьба сопровождалась колоссальным захватом колоний, громадным ростом морской торговли, увеличением торгового и военного флота Англии.

В истории своих завоеваний и в развитии своей торговли и промышленности Англия выступала прежде всего как морская и колониальная держава. В силу этих причин, а также по своему географическому положению, ей приходилось более, чем какой-либо другой стране, заботиться об усиленном развитии мореплавания и вместе с тем заниматься „компасным делом“.

Ввиду того что на севере небо почти всегда крайне облачно, в результате чего мореплавателям бывает очень затруднительно и подчас даже невозможно ориентироваться в своих путешествиях на море по небесным светилам, — англичанам, как мореплавателям Севера, приходилось более, чем какому-нибудь другому народу, прибегать к компасу. Отсюда понятно, почему все основные открытия в области электричества и магнетизма, сделанные англичанами в XVI и XVII вв., связаны непосредственно с компас-

ным делом, ибо в развитии и в усовершенствовании *компас* англичане были весьма заинтересованы, так как компас был их основным орудием в мореплаваниях, расширявших и военное и торговое господство Англии на море. Вот почему в развитии науки о магнетизме в XVII и даже в XVIII вв. играют главную роль англичане.

Геллибранд (Henry Gellibrand, 1597—1636), профессор Греггамского колледжа, впервые обратил внимание, что „Берроус измерил в 1580 г. склонение Лондона — $11^{\circ} 15' E$; в 1622 г. Эдмунд Гюнтер определил его уже $6^{\circ} 13' E$; в 1634 г. оно оказалось $4^{\circ} E$ “².

Это открытие заинтересовало оксфордского астронома, друга Ньютона—Эдмунда Галлея (Edmund Halley, 1656—1742). В 1698—1702 гг. Галлей предпринимал на военном судне три путешествия по Атлантическому океану для определения направления компасной стрелки в возможно большем числе мест. Свои наблюдения Галлей опубликовал в форме *карты склонений*, т. е. карты, на которой места с одинаковыми склонениями были соединены линиями³.

Способ Галлея сохранился и до настоящего времени.

УЧЕНИЕ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ В ЭПОХУ ДЖИЛЬБЕРТА

В других странах книга Джильберта вызвала интерес главным образом к явлениям *электричества*. У Джильберта вскоре нашлись подражатели.

Кабео (Niccolo Cabeo, 1585—1650)— италийский иезуит, выпустил в 1639 г. сочинение: „*Philosophia magnetica*“, по своему содержанию мало отличающееся от сочинения Джильберта.

Новостью в этой книге была теория притяжения легких тел наэлектризованным телом. По представлениям Кабео, из пор наэлектризованного тела выбрасывается особая „жидкость“, расталкивающая и сжимающая перед собой воздух; в тех местах, где давление этого последнего превзойдет известный предел, воздух возвращается струйками по направлению к наэлектризованному телу и увлекает за собой легкие тела, которые, таким образом, как бы притягиваются наэлектризованным телом⁴.

Эта теория, напоминающая собой в некотором отношении теорию Лукреция об истечении материальных частиц и „теорию вихрей“ *Декарта*, пользовалась известным успехом до тех пор, пока не было обнаружено, что существуют „два рода электричества“, и пока Ньютоном не была дана „новая механика“, объясняющая подобного рода явления „силами“.

Первые экспериментаторы очень скоро обнаружили, что наэлектризованные тела не изменяются в весе: одно и то же тело может электризоваться тысячи раз подряд, не терпя никакого „ущерба“. Отсюда, повидимому, делалось заключение, что эта „жидкость-эманация“, испускаемая телом, должна „возвращаться обратно“.

Диджи (Kenelm Digby, 1603—1665) сравнивал „возвращение эманации к телу“ с конденсацией пара, возвращающегося в жидкое состояние.

Другие физики описывали „эманацию“ как вихрь вокруг наэлектризованного тела в картезианском смысле.

Мы уже указывали, что книга Джильберта была несколько раз издана в Германии. Из всех ее читателей наибольший интерес она вызвала у *Герике* (Otto von Guericke, 1602—1686), изобретателя воздушного насоса.

Прочтя книгу Джильберта, Герике заинтересовался главным образом электрическими явлениями. Стараясь ознакомиться с опытами Джильберта и желая получить более сильные действия, Герике построил „электрическую машину“. Это была *первая* машина подобного рода (см. рис. на стр. 85).

Шар из серы, величиною с детскую голову, был насажен на железную ось и утвержден на деревянном штативе. При помощи ручки он вращался и натирался ладонями руки.

Производя опыты со своей электрической машиной, Герике заметил, что пушинка не только притягивается натертым шаром, но через некоторое время отталкивается им. Явление это долгое время не получало объяснения.

В темноте Герике видел слабое свечение шара. Книга, в которой описаны все эти опыты, появилась в 1672 г. ⁵.

ВЛИЯНИЕ ИДЕЙ НЬЮТОНА

В „Оптике“ Ньютона есть намек на гипотезу Джильберта.

„Если кто-нибудь спросит, — пишет Ньютон, — каким образом среда может быть такой разреженной, то пусть он мне скажет, каким образом воздух в верхних частях атмосферы может быть более чем в сто тысяч раз разреженнее золота. Пусть он мне скажет также, каким образом электрическое тело может при трении испускать столь редкое и тонкое и, однако, столь могущественное выдыхание; это испускание не вызывает заметного уменьшения веса электрического тела и распространяется по сфере с диаметром более двух футов; оно способно, однако, двигать и уносить листочек меди или листочек золота на расстоянии более фута от электрического тела. И каким образом истечения магнита могут быть настолько разреженными и тонкими, что проходят через стеклянную пластинку без всякого сопротивления или уменьшения их силы, и, однако, столь могущественными, что они вращают магнитную стрелку за стеклом“ ⁶.

„Оптика“ Ньютона была издана впервые в 1704 г. Его „Принципы“ появились еще раньше — в 1687 г.

Одним из первых сочинений по „натуральной философии“, где проводилась ньютоновская точка зрения на свет и „силы“, была книга с'Гравезанда (Willem s'Gravesande, 1688—1742). Она вышла из печати в 1721 г. в Лейдене и носила название. „Математические элементы физики, подкрепленные опытом, или введение в философию

Ньютона“ („Physices elementa mathematica experimentis confirmata, sive Introductio ad philosophiam Newtoniam“). Это была первая книга, где было употреблено слово „физика“ в современном смысле. Книга с'Гравезанда оказала несомненное влияние и сыграла огромную роль в истории электричества.

С'Гравезанд, подобно Ньютону, представлял себе свет состоящим из „корпускул“, летящих от светящегося тела в глаз, причем, согласно астрономическим наблюдениям, с'Гравезанд приписывал им значительную скорость.

Так как многие тела, например металлы, делаются светящимися, когда они нагреваются, с'Гравезанд заключил, что всякое вещество *обладает природным множественным корпускулами*, которые испускаются, когда тело нагрето до каления; обратно, корпускулы также могут перейти в тело; это случается, например, когда оно находится на пути лучей света. Кроме того, так как теплота, которая таким образом приобретает телом, скоро распространяется по всему телу, с'Гравезанд заключил, что корпускулы могут проникать через всякое вещество, как бы твердо и плотно оно ни было.

Таким образом, с'Гравезанд отождествлял корпускулы света с корпускулами тепла и, следовательно, представлял себе *тепло как вещество*. Необходимо заметить, что в рассматриваемое нами время „*световые корпускулы*“ значились в списке химических элементов.

Под влиянием идей с'Гравезанда материальная теория тепла начинает быстро развиваться. Однако вскоре с открытием того факта, что лучи света могут быть пропущены через тело, в то время как лучи тепла поглощаются, стало очевидным, что невозможно световые корпускулы отождествлять с тепловыми. Поэтому теплота была признана химическим элементом под названием „калорий“. Нагревание тела считалось, согласно этой теории, химическим взаимодействием между элементами тела и элементами тепла.

В XVIII и начале XIX вв. калория понималась как „нечто, располагающееся между молекулами тела“. Эта идея подтверждалась наблюдениями, что тела расширяются при нагревании.

Увеличение объема воды при замерзании объяснялось „химическим процессом“ между телом и калорией.

Вначале сомневались, весома ли калория, но впоследствии было доказано, что повышение температуры не влияет на вес тела.

Таким образом, теплота стала рассматриваться как вещество, притом „невесомое вещество“!

Новые открытия, сделанные *Греем* и *дю-Фей*, способствовали тому, что и электрические явления начали рассматриваться с точки зрения „невесомых жидкостей“.

ОПЫТЫ ГРЕЯ

Английский перевод книги с'Гравезанда, о которой мы говорили выше, вне всякого сомнения, был знаком Стефану Грею (Stephen Gray, род. около 1670 г., умер в 1736 г.). Последний своими опытами, произведенными в 1729 г., влил новую струю в учение об электричестве.

Грей показал, что „электрическая способность стеклянной трубки притягивать легкие тела может быть передана другим телам“.

При своих опытах Грей пользовался трубкой в $3\frac{1}{2}$ фута длиной (около 1 м) и около 2 дюймов шириной, при этом, чтобы защитить ее от пыли, он закрыл отверстие трубки пробкой. Вот описание опытов Грея*:

„Однажды Грей, потеряв по обыкновению свою трубку шерстью, заметил, что пушинка притягивалась и отталкивалась одинаково хорошо пробкой, нисколько не хуже, чем стеклом. Тогда, естественно, он предположил, что электричество передалось здесь вследствие соприкосновения. Ему захотелось узнать, играет ли роль в этом явлении положение пробки или вещество, из которого она сделана. Для этого он взял еловую палочку в 4 дюйма длины и, прикрепив к ней шарик из слоновой кости, воткнул ее в одну из пробок, закрывших отверстие трубки; потом он натер стекло и приблизил к шарiku несколько легких тел; последние сейчас же притянулись“.

„Грей начал удлинять еловую палочку, заменив ее камышевой в 3 и 4 м длиной; притяжение шариков нисколько не уменьшалось. Он повесил затем свою палочку на пеньковую веревку, привязав ее к трубке, и взобрался на балкон своего дома. Стекло было натерто, и шарик, отстоя на 26 футов от трубки (8,5 м), продолжал притягивать легкие тела, как и прежде. Грей удлинил веревку и взобрался на второй этаж; притяжение продолжалось попрежнему. Он взобрался на крышу, — тот же результат. Дойдя до такого пункта, Грей не мог продолжать свой опыт в том же направлении. Взять более длинную веревку было легко, но где поместиться самому? Ему нужно было бы, как Галилею для опытов с падением тел, знаменитую башню в Пизе, откуда его проводник электричества мог бы спускаться вертикально до земли, не касаясь стен здания. Но, к счастью, он сообразил, что опыт не зависел от того, направлена ли нитка вертикально и строго по прямой или нет, и потому он натянул свой шнур в зале, прикрепив его к гвоздям на стенах и потолке пеньковым шнуром. Когда все было приготовлено, он натер стеклянную трубку и приблизил к шарiku несколько легких тел. Однако притяжения не обнаружилось. Очевидно, ток прекратился или потерялся. Но где? Как? Грей не мог угадать и решил прибегнуть к помощи своего друга, физика Уилера (Wheeler), который также занимался электрическими явлениями. Они повторили вместе первые опыты, которые удались снова; но когда стали производить эксперименты с горизонтальным шнуром, подвешенным при помощи пеньковых шнуров, опыт, повторенный несколько раз, не дал никаких результатов“.

„Однажды оба физика решили сделать последнюю попытку. Был взят шнур только 80 футов длиной (24, 4 м)“.

* По сочинению *Arthur Maugin, Le feu du ciel* (1861). Опыты Грея опубликованы в „*Phil. Trans.*“, 1731 и 1732.

„Уилер предложил заменить для подвеса пеньковые нитки шелковыми. Каково было их удивление и радость, когда на конце обнаружилось притяжение легких тел!“

„На другой день они возобновили свои опыты уже с более длинным шнуром (147 футов, 124 фута). Переход электричества снова обнаруживался“.

„Наконец 3 июля 1729 г., когда все было готово для опыта, случайно одна из шелковых ниток оборвалась; можно было ее заменить новой, но из боязни, чтобы она опять не оборвалась, Уилер предложил *шелковую* нить заменить *металлической* проволокой“.

„Притяжения не обнаружилось. Грею и Уилеру стало ясно, что все зависит от вещества, при помощи которого подвешен шнур. Пеньковая и металлическая нити обладали свойством проводимости, тогда как шелковая таким свойством не обладала...“

После этого Грей и Уилер начали изучать свойства различных веществ по отношению к проводимости электричества и, между прочим, в кругу своих друзей произвели интересный опыт, показавший, что человеческое тело является хорошим проводником электричества.

Эксперименты Грея дали первое указание, что *все тела можно разделить на „проводники“ и „непроводники“* электричества, или на „хорошие“ и „дурные“ проводники, хотя это и не было еще вполне ясно высказано самим Греем.

ОПЫТЫ ДЮ-ФЕЙ

Грей был членом Королевского общества, и потому его исследования были напечатаны в *Philosophical Transactions* (1731 и 1732), которые в то время читались во всех ученых обществах Европы. Благодаря этому сведения об опытах Грея получили большое распространение и вызвали дальнейшие исследования. Однако лишь немногим удалось открыть новые явления в области электричества.

Следующим физиком, которого следует отметить, излагая историю учения об электричестве, является дю-Фей (*Charles François du Fay*, 1698—1739).

Дю-Фей показал, что „*существуют два рода электричества*“.. Вот как он описывает свои опыты:

„Я открыл очень простой принцип, который объясняет большую часть неправильностей и, так сказать, капризов, которые, по видимому, сопровождают большинство опытов по электричеству“.

„Этот принцип заключается в том, что наэлектризованные тела притягивают тела ненаэлектризованные и сейчас же их отталкивают, как только они наэлектризуются вследствие соседства или соприкосновения с наэлектризованными телами.“

„Так, например, листок золота был сначала притянут при контакте с наэлектризованной стеклянной трубкой и сейчас же ею отброшен“.

„Пока он сохраняет электричество, он не притягивается стеклянной трубкой; но, в то время как он находится в воздухе, случается, что, соприкасаясь с другими телами, он теряет электричество и сейчас же притягивается стеклянной трубкой, которая, сообщив ему новый заряд электричества, отталкивает его во второй раз, и это отталкивание продолжается до тех пор, пока трубка сохраняет свой заряд. Прилагая этот принцип к различным опытам по электричеству, можно объяснить множество фактов“.

Только что описанный опыт дю-Фей был впервые произведен изобретателем электрической машины Отто фон-Герике; главное же открытие дю-Фей заключается в следующем:



Французский физик дю-Фей (1698—1739), открывший, что существуют два рода электричества. (Из сочинения Фигье.)

„Случай помог мне, — пишет дю-Фей, — открыть другой принцип, более общий и более замечательный, чем предыдущий, который проливает новый свет на электрические явления. Этот принцип состоит в том, что существует электричество двух родов, в высокой степени отличных один от другого: один род я называю „стеклянным“ электричеством, другой — „смоляным“ Первое электричество получается при натирании стекла, горного хрусталя, драгоценных камней, шерсти животных и др.; второе — при натирании смолы, янтаря, копаловой камеди“.

„Особенность этих двух родов электричества: *отталкивать однородное с ним и притягивать противоположное*. Так, например, тело, наэлектризованное стеклянным электричеством, отталкивает все тела со стеклянным электричеством и, обратно, оно притягивает тела со смоляным электричеством. Точно так же смоляное отталкивает смоляное и притягивает стеклянное. Можно, пользуясь этим принципом, получить объяснение большого числа других явлений, и возможно, что он приведет нас к открытию новых явлений“⁷.

НОВАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

После открытия Грея и дю-Фей уже невозможно было довольствоваться старой теорией „истечения электричества“: эта теория была рассчитана только на объяснение притяжения легких тел.

Стало ясно, что „электрическое истечение“ имеет какое-то независимое существование от тела, раз может переноситься с одного проводника на другой.

Поэтому вскоре вошел в обращение термин „электрическая жидкость“ по образцу „тепловой жидкости“. Новая жидкость, как „теплород“ или „светотвор“, была внесена в список химических элементов. Заметим, что „невесомость“ этих жидкостей не являлась помехой для внесения их в список „химических элементов“, так как закон сохранения вещества не был известен. Возникал только вопрос, есть ли эта жидкость „*sui generis*“, или, как многие думали, она есть только особый вид тепловой жидкости.

Приверженцы второй теории указывали, что как та, так и другая—обе жидкости возникают при трении; обе они могут создать горение; обе переходят с одного тела на другое; лучшие проводники электричества суть лучшие проводники и тепла и пр.

С другой стороны, было известно, что электризация тела не повышает температуры; наконец, один интересный опыт Грея (1729) показал еще большее различие.

Грей приготовил два дубовых куба, один—сплошной, другой—пустой, и показал, что они, будучи наэлектризованы одинаково, проявляют одно и то же свойство. Отсюда Грей заключил, что в электрических явлениях играет роль только поверхность тела; в то время как теплота распространяется во всем теле, электрическая жидкость находится вблизи поверхности. Тело как бы „окутывается электрической атмосферой“.

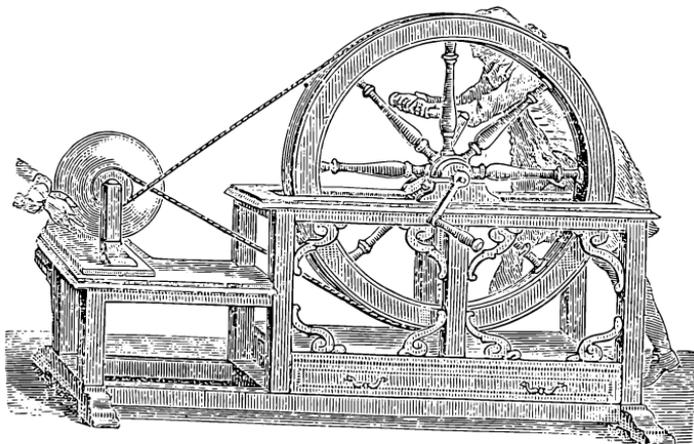
Для объяснения сущности самих явлений по электричеству даже в середине XVIII в. продолжает господствовать картезианская теория. Ознакомиться с нею можно по книге французского физика, аббата Нолле (*l'abbé Jean Antoine Nollet*, 1700—1770).

КНИГА ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ АББАТА НОЛЛЕ

Книга Нолле вышла в 1747 г. Мы даем рисунок из нее (стр. 44). Это была *первая книга*, посвященная специально электричеству, где автор собрал все сведения, известные в его время об этом предмете.

Во многих отношениях книга эта крайне любопытна, и при ее чтении сильно чувствуется влияние той эпохи. Книга аббата Нолле представляет собою курс электростатики, где еще нет никаких формул. В *первой* части даются главным образом указания по методике эксперимента, например, указания, как изготовить электрическую машину типа Отто Герике, которая бы при электризации натиралась руками; как изолировать тело при помощи резиновых подставок, шелковых шнурков; как узнать, наэлектризовано ли тело, и пр. Во *второй* части этой книги ставятся вопросы теоретического характера, например: есть ли разница между электризацией при трении и электризацией „путем сообщений“? Есть ли электричество „понятие абстрактное“ или „невидимая материя, которая находится вокруг наэлектризованного тела“? Автор считает электричество „веществом“, так как „оно издает запах и свет“.

Нолле объяснял электрические явления движением в двух противоположных направлениях очень тонкой и невоспламеняющейся жидкости, которая находится во всех телах и при всевозможных обстоятельствах. Когда возбуждается электричество при трении, часть этой жидкости выходит из пор, образуя „*вытекающий по-*



Электрическая машина трения 1747 г. Стекланный шар электризуется трением о ладони рук (из первого сочинения по электричеству, написанного Нолле в 1747 г.).

ток“; этот недостаток восполняется потом „*входящим потоком*“. Легкие тела, находясь поблизости и будучи пойманы в один из этих потоков, притягиваются или отталкиваются наэлектризованным телом в зависимости от того, в какой поток они попадают⁸.

Как мы видим, теория Нолле представляла собой смесь картезианских и джильбертовских идей о магнетизме с идеями невесомой жидкости. Однако вскоре новые открытия в области электричества поколебали и эту теорию французского ученого.

Л и т е р а т у р а

- ¹ *Feldhaus*, Die Begründung der Lehre von Magnetismus und Electricität, durch Dr. William Gilbert, Heidelberg 1904, стр. 10 и 11.
- ² *Cajori*, A History of Physics, New York 1914, стр. 94.
- ³ „Nature“, May, 23, 1895.
- ⁴ *Gerland*, Geschichte der Physik, München 1913, стр. 311.
- ⁵ „Experimenta nova“, Amsterd. 1672, стр. 142.
- ⁶ *Ньютон*, Оптика. Русск. пер. С. И. Вавилова. Гиз. 1927, стр. 274. Вопрос 22.
- ⁷ „Mém. de l'Acad. de Paris“, 1733, стр. 464.
- ⁸ *Nollet*, Essai sur l'électricité des corps, 1747,

ФРАНКЛИН И ЕГО СОВРЕМЕННОКИ

БЕНДЖАМИН ФРАНКЛИН И ЕГО СОВРЕМЕННОКИ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ

Франклин Бенджамин (1706—1790)—американский общественный деятель, один из главных руководителей при восстании американской колонии против метрополии и организатор США, в то же время знаменитый ученый, своими открытиями и теорией электричества составивший эпоху в истории учения об электричестве.

Из русских ученых его современниками являются *Рихман* (1711—1753) и *Ломоносов* (1711—1765). Оба они продолжали исследования по атмосферному электричеству, так же как *Лемонье* (1717—1799) и *де-Рома* (1713—1776). О работах этих исследователей мы будем говорить в следующей главе.

Другие современники Франклина: *Гаузен* (1693—1743), *Винклер* (1703—1770), *Эйлер* (1707—1783), *Бозе* (1710—1761) и *Планта* (1727—1772) известны главным образом своими усовершенствованиями электрической машины. О них мы также будем говорить в особой главе.

Имена *Клейста* (1700—1748), *Мушенбрека* (1692—1761) и *Уатсона* (1715—1787) связаны с открытием и усовершенствованиями „лейденской банки“. В настоящей главе будет уделено очень много места этому физическому прибору, оказавшему большое влияние на развитие учения об электричестве.

Из других франклиновых современников наиболее известны: *Кантон* (1718—1772), открывший „электричество через влияние“, и *Эпинус* (1724—1802), петербургский академик, разработавший теорию этого явления.

Вождем эпохи является, однако, Франклин, влияние идей которого мы ощущаем и теперь, спустя почти 200 лет после того, как они впервые были высказаны этим замечательным ученым.

ОТКРЫТИЕ ЛЕЙДЕНСКОЙ БАНКИ И ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА УАТСОНА

В январе 1746 г. Реомюр в Париже получил письмо на латинском языке из Лейдена от профессора философии и математики Мушенбрека (Musschenbroek, 1692—1761). Вот что говорилось в этом письме*:

*Письмо приведено в книге *Louis Figuier, Les Merveilles de la science, т. I, стр. 461.*

одним словом, я думал, что пришел конец... Если поставить сосуд на металлическую подставку, помещенную на деревянном столе, и коснуться металла кончиком пальца, извлекая искру другой рукой, то также получается очень сильный удар“.

Опыт Мушенбрека, получивший впоследствии название *опыта с лейденской банкой**, произвел сенсацию, как среди физиков, так и в широкой публике. Многие любители, заинтересовавшись опытом, занялись изучением электричества. Среди физиков изобретение лейденской банки приветствовалось как великое открытие**.

Французский аббат Нолле, содержание которого мы привели в прошлой главе, повторил опыт в присутствии короля в Версале, образуя цепь из 180 гвардейцев, взявшихся за руки, причем „первый держал в свободной руке банку, а последний извлекал искру. Удар почувствовался всеми в один момент; было курьезно видеть разнообразие жестов и слышать мгновенный вскрик, исторгаемый неожиданностью у большей части получающих удар“¹.

В Англии опыты делались в таких больших размерах, что возбудили даже удивление самого Мушенбрека.

Мушенбреку известны были и опыты Уатсона над лейденской банкой. Об этих опытах он пишет Уатсону (William Watson, 1715—1787): „Magnificentissimis tuis experimentis superasti conatus omnium“***.

Дело в том, что Уатсон добился того, что электричество пробежало расстояние в 12000 футов, причем задачей его было определить скорость распространения электричества.

Уатсон был хранителем физического кабинета в Royal Society. Ему были обязаны дальнейшими исследованиями в области явлений с лейденской банкой.

Уатсон нашел, что „банка“ заряжается тем сильнее, чем лучше отведена ее внешняя поверхность к земле. Это навело на мысль английского физика-врача *Бевиса* обкладывать наружную поверхность банки сначала тонкими свинцовыми пластинками, а потом листами станиоля (оловянная фольга).



Одно из первых изображений опыта Мушенбрека в 1746 г. с „лейденской банкой“ (со старинной гравюры).

* Мушенбрек впервые произвел этот опыт в Лейдене, отсюда и название „лейденская банка“.

** Немецкий ученый Клейст еще в 1745 г. сделал доклад Берлинской академии об опытах с „медицинской банкой“, но они тогда как-то ускользнули из поля зрения ученых.

*** „Своими великолепнейшими опытами ты превзошел всех“.

Далее опыты показали, что род жидкости, которым наполняли банки, не имеет влияния на ее качества, даже можно наполнить лейденскую банку дробью. Наконец Уатсон придал ей тот вид, который она имеет теперь. Он покрывал внутреннюю и внешнюю поверхности банки фольгой, прикрепив на нижнем конце металлической палочки небольшую металлическую цепочку, которая доходила до дна банки. Таким образом, жидкость оказалась излишней. Банка стала „сухой“.

При своих опытах с лейденской банкой Уатсон заметил, что наблюдатель чувствует удар ни в каких других частях тела, как только в руках и груди.

Отсюда он сделал заключение, что в явлении разряда имеется налицо перенос „чего-то“, какого-то особого вещества — *электрического эфира*, которое при разряде выбирает себе самый короткий, т. е. лучше всего проводящий путь. Этот „перенос“ казался Уатсону похожим на входящий поток. В докладе, читанном в Королевском обществе в октябре 1746 г., Уатсон изложил теорию, согласно которой „электрические действия обусловлены присутствием *электрического эфира*“; при разряде лейденской банки электрический эфир переносится; „он не создается и не уничтожается“².

„Я объясняю, — пишет Уатсон, — электричество как действие очень тонкой эластичной жидкости, которая заполняет все тела, находящиеся на земле. В естественном состоянии плотность ее везде одинаковая. Стекло и другие тела мы называем „наэлектризованными“ только благодаря некоторым операциям, которые отнимают эту жидкость от одного тела и сообщают другому в количестве, достаточном для того, чтобы действовать на наши чувства. Кроме того, при известных условиях возможно создать более разряженное электричество, чем в естественном состоянии, и также, наоборот, сделать электричество более плотным, передавая его другим телам“³.

Такова была теория Уатсона.

БЕНДЖАМИН ФРАНКЛИН И ЕГО ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

В тот год, в который была предложена теория английского физика Уатсона, некий Спенс (Dr. Spence) приехал в Америку (в Бостон) из Шотландии и демонстрировал здесь ряд электрических опытов. Среди его слушателей был Бенджамин Франклин (Benjamin Franklin, 1706—1790), которому суждено было сыграть огромную роль в истории электричества.

На Франклина опыты Спенса произвели большое впечатление. „Опыты Спенса, — пишет Франклин в своей автобиографии, — хотя были показаны не совсем удачно, но касались предмета, совершенно незнакомого мне: они поразили меня и заинтересовали“⁴.

Выписав из Англии электрические приборы, Франклин с увлечением принялся за работу и уже в письме, написанном Коллинсону (Collinson) в июле 1747 г., т. е. через год после того, как впервые познакомился с явлениями электричества, он описывает ряд опытов, произведенных со стеклянной трубкой, причем уже делает

некоторые выводы, составляющие так называемую „франклинову теорию электричества“.

Проф. Московского университета *Ив. Двигубский* в своей „Физике“ (1814 г.) следующим образом описывает эту „франклинову теорию электричества“: „Франклин и его последователи полагают: 1) что во всей вселенной разлита особая чрезвычайно упругая, тонкая жидкая материя, производящая все явления, называемые электрическими; 2) что частицы сей жидкости сами себя отталкивают, а привлекают все другие тела; 3) что все тела имеют в себе известное количество сей материи, зависящее от их сродства с нею, и в сем случае не показывают никакого знака электричества; почему и говорится, что они находятся в своем естественном состоянии; 4) что они бывают в состоянии *положительном*, когда приобретут более сей материи, и 5) в состоянии *отрицательном*, когда потеряют несколько сей материи собственной; 6) что электрические явления приметными делаются, когда материя сия переходит из одних тел в другие или разделяется“.

В примечании проф. Двигубский говорит: „Франклинова мнения придерживаются: Эпинус, Эркслебен, Кавалло и некоторые другие, которыми сделаны в оном перемены“.

Теория Франклина в том виде, как ее создал сам автор, изложена им в письме к Коллинсону (11 июля 1747 г.). Вот что говорит Франклин ⁵:

1. „Если один человек стоит на смоле (*wax*) и натирает трубку (стеклянную. *B. A.*), а другой, также стоя на смоле, извлекает из этой трубки огонь (*the fire*), и если при этом они не касаются один другого, то оба для третьего лица, стоящего на полу, оказываются наэлектризованными. Это третье лицо может и от того и от другого, приблизив сустав пальца, извлечь искру“.

2. „Но если оба лица, стоя на смоле, касаются один другого во время опыта с трубкой, то ни тот ни другой не окажутся наэлектризованными“.



Бенджамин Франклин (1706—1790). Гравюра из французского издания „Писем“ Франклина 1817 г.

3. „Если они коснутся друг друга после электризации трубки и извлекут огонь (the fire), как выше указано, то между ними будет более сильная искра, чем между каждым из них и человеком, стоящим на земле.“

4. „После такой сильной искры ни тот ни другой не обнаруживают присутствия электричества.“

„Мы предполагаем, что электрический огонь (electrical fire) есть обыкновенный элемент * (a common element), который до того, как



Опыт Франклина, приведший его к „унитарной теории“ электричества. Экспериментирующие стоят на смоляном диске. При первом опыте они зарядятся противоположным электричеством, при втором (внизу)—одноименно.

другое количество электричества. Когда *A* и *B* прикасаются друг к другу, искра получается сильнее, потому что разница между ними больше. После того как они дотронулись, между ними и *C* нет искры, потому что электрический огонь принял первоначальную величину (the original equality).“

„Если они дотронутся друг друга во время электризации, тогда равенство электрического огня не нарушится.“

начались какие-либо манипуляции с трубкой, имеется у каждого из трех вышеупомянутых лиц в равной доле (equal share). *A*, который стоит на смоле и натирает трубку, собирает электрический огонь из самого себя (from himself) на стекло, и его сообщение с общим запасом (common stock) пресекается при помощи смолы; поэтому его тело вновь электричеством не пополняется. *B*, который также стоит на смоле, приближая свой сустав к трубке, получает огонь, который собрался на стекле от *A*, и его сообщение с общим запасом подобным же образом отрезано (cut off), и он сохраняет полученную им порцию.“

„Для *C*, стоящего на земле, оба кажутся наэлектризованными по той причине, что он имеет среднее количество электрического огня (the middle quantity of fire) и получает искру, приблизившись к *B*, который имеет избыточное количество (an over quantity), но отдает его *A*, который имеет

* Как мы видим, Франклин представлял себе электричество чем-то вроде химического элемента.

„Таким образом можно установить некоторые новые термины: *B* — наэлектризован положительно, *A* — отрицательно, или короче: *B* наэлектризован „плюсом“ (+), *A* — „минусом“ (—). И в наших опытах мы электризуем тело либо плюсом, либо минусом“.

Такова теория Франклина.

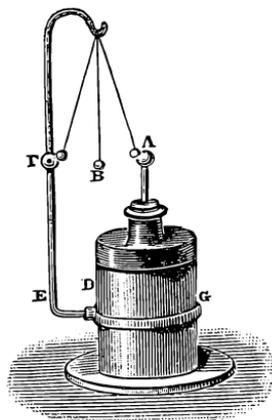
Как мы видим, рассматривая природу электричества, Франклин придерживался тех же самых идей, как и его современники: он представлял себе электричество как нечто, напоминающее „химический элемент“ („a common element“), состоящий, подобно газу, из „частиц чрезвычайно тонких, что давало им возможность проникать в обычное вещество, даже и твердые металлы, с такой легкостью и свободой, что они не встречали заметного сопротивления“*.

ФРАНКЛИНОВА ТЕОРИЯ ЛЕЙДЕНСКОЙ БАНКИ

Современники оценили теорию Франклина, так как она дала возможность просто объяснить действие лейденской банки. Это объяснение Франклин изложил в третьем письме к Коллинсону (1 сентября 1747 г.).

Открыв, что обе обкладки заряженной банки заряжены противоположным электричеством, Франклин объясняет процесс заряжания банки следующим образом⁶: „Электричество с одной обкладки не может проникнуть через стекло к другой, но может „влиять“ через него отталкивающим образом на электричество другой обкладки. Так, когда электричество сообщается внутренней обкладке банки, оно отталкивает равное количество электричества с наружной обкладки в землю. Поэтому внутренняя обкладка становится наэлектризованной положительно, а наружная — отрицательно“.

Франклин построил особый аппарат, который очень наглядно обнаружил электрическое состояние обкладок в заряженной лейденской банке (см. рис. на данной стр.). Шарик *A* лейденской банки заряжен тем же электричеством, что и внутренняя обкладка банки. Если приблизить к этому шарiku бузиновый шарик *B*, подвешенный на шелковинке, то он притянется им; после же соприкосновения отталкивается и сейчас же притягивается шариком *Г*, соединенным с внешней обкладкой. После соприкосновения он оттолкнется последней и сейчас же притянется шариком банки *A* и т. д. Ясно, что бузиновый шарик начнет колебаться между шариком *A* и *Г*,



Опыт Франклина: постепенный разряд лейденской банки путем металлического шарика, подвешенного на шелковинке.

* Эти слова Франклина приводит известный американский физик Милликэн в своей „Нобелевской речи“, произнесенной в 1924 г. для того, чтобы показать, что электронная теория „имеет давность свыше 150 лет“ („Успехи физ. наук“, 1924, стр. 13). Милликэн позабывает однако, что современный электрон *весом*, тогда как, по теории Франклина, электричество — „невесомая жидкость“.

каждый раз перенося часть электричества с одной обкладки на другую. Таким образом *можно разрядить банку постепенно*. Маятник успокоится, когда произойдет разряд банки.

Исходя из своей теории, Франклин впервые показал, что банку можно зарядить „наоборот“. Для этого достаточно ее поставить на изолятор и, касаясь пальцем шарика, соединенного с внутренней обкладкой, заряжать электричеством внешнюю обкладку. И в этом случае, если внешняя обкладка электризуется положительно, то внутренняя — отрицательно. Наконец Франклин выяснил на опыте, что вся сила банки и ее способность давать сотрясения лежат в самом стекле, и что электричества, сообщаемые и уводимые помощью обкладок, *находятся также в стекле*.

Этот опыт Франклина удобно производить помощью банки с подвижными обкладками. Если сложить такую банку, зарядить ее и потом разобрать, то обкладки через прикосновение руки потеряют электричество. Между тем, вновь собрав банку, получаем из нее искру.

Особенное впечатление произвели опыты Франклина по атмосферному электричеству.

Опыты Франклина по атмосферному электричеству являются началом новой эпохи в истории учения об электричестве, так как впервые обнаружилось, что изучение „электрических жидкостей“ имеет огромное практическое значение: путем громоотвода можно найти защиту от молнии.

Эти открытия Франклина мы рассмотрим в следующей главе.

Л и т е р а т у р а

¹ „Lettres sur l'électr.“, Paris 1753, V, стр. 83.

² „Phil. Trans.“, (1750), т. 45, стр. 62 и 77.

³ Ibid., (1748), т. 44, стр. 718.

⁴ *Franklin*, Autobiography.

⁵ *Franklin*, New Experiments and observations on Electricity, Letter II.

⁶ „New Experim.“, 1750, § 32.

ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ МОЛНИИ И НАЧАЛО УЧЕНИЯ ОБ АТМОСФЕРНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

ОПЫТЫ ФРАНКЛИНА

Идея, что молния есть не что иное, как разряд электричества, начала укрепляться в науке, как только была открыта электрическая искра. Мысль эта проскальзывает у Уолла, Грея, Нолле, Винклера ¹, в сочинениях почти всех физиков, писавших об электричестве; однако на опыте показал это впервые Франклин.

В его записной книжке от 7 ноября 1749 г. мы читаем:

„Общие свойства электрической жидкости и молнии: давать свет одинаковый по цвету; направляться зигзагами; мгновенно двигаться; издавать шум или треск взрыва; расщеплять тела, через которые они проходят; убивать животных; плавить металлы; издавать серный запах“ ².

Франклин дал прямое доказательство тождества этих явлений, показав средство извлекать электричество из облаков. Средство это основано на свойстве остриев.

В чем же заключается это свойство?

„Укрепим, — говорит Франклин, — свинцовый шар 3 или 4 дюймов в диаметре в отверстие чистой и сухой бутылки. Над ним повесим на длинной тонкой шелковой нити маленький пробковый шарик так, чтобы он прилегал сбоку к свинцовому шару. Как только шар наэлектризован, пробковый шарик отталкивается и удаляется, например, дюйма на 4 или на 5. Тогда приблизим на расстоянии 6 или 8 дюймов от свинцового шара кончик тонкого и острого шила. Отталкивание тотчас прекратится, и шарик упадет обратно на свинцовый шар. Тупое тело надо приблизить на дюйм и извлечь искру, чтобы произвести то же действие... Приближая острие в темноте, можно на нем заметить сияние, подобное свету иванова червячка... Чтобы показать, что острия так же легко испускают электричество, как отнимают его от других тел, укрепим на свинцовом шаре острую иголку: шар никак нельзя будет наэлектризовать в такой степени, чтоб он оттолкнул пробковый шарик“ ³.

Пользуясь свойством остриев, Франклин предложил следующие опыты для разрешения вопроса об электричестве облаков:

„Чтобы разрешить, — говорит он, — вопрос, наэлектризованы ли грозовые облака или нет, я хочу предложить опыт, который можно сделать на местах, где к тому представляются удобства. Поставим на вершине высокой башни подмосток или будку такой величины, чтоб она могла вместить человека и электрическую скамейку (т. е. изолированную). От середины скамейки проведем, выгнув его через отверстие двери, вертикально в высоту железный шест футов в 20 или 30 длиною, с заостренным на верхушке концом (см. ниже приведенный рис. на этой стр.). Если будем заботиться, чтобы скамейка была



Опыт Франклина: электризация человека от облаков. (Рисунок из сочинения Франклина).

чиста и суха, то человек, стоящий на ней, наэлектризуется во время низко проходящих облаков и станет давать искры, ибо шест приведет „электрический огонь“ из облаков. Если желаем предохранить наблюдателя от опасности, — в чем, полагаю, не будет надобности, — то сделаем так, чтобы он стоял не на скамейке, а на полу будки, и помощью сургучной ручки приближал от времени до времени к шесту проволоку кольцеобразно-загнутым концом, тогда как другой конец ее прикреплен к проводящим телам. Когда шест наэлектризуется, из него будут выскакивать искры к проволоке, минуя наблюдателя“⁴.

В 1751 г. книга Франклина: „Письма об электричестве“ была переведена на французский язык священником *Далибаром*, который жил в местечке Марли близ Парижа. Под влиянием книги Франклина Далибар решил произвести опыт, непосредственно показывающий, что молния есть электрический разряд.

Для этого Далибар поставил у себя в садике высокую железную жердь, изолировав ее конец при помощи четырех бутылок.

„10 мая 1752 г. Далибар был в Париже, как вдруг он увидел, что на юго-западе собираются тяжелые свинцовые тучи. Предвидя грозу, Далибар сейчас же спешит домой, в Марли, но гроза его опережает, и плотник Куафье бежит в садик священника, где был установлен шест, и, не дожидаясь своего патрона, начинает при помощи железного прута, вставленного в бутылку, извлекать из согнутого колена шеста искры.“

„Под дождем и градом, в сопровождении целой толпы своих прихожан, заинтригованных и испуганных поспешным бегом их священника, Далибар прибегает в свой сад, выхватывает из рук Куафье разрядник и продолжает его опыты. Грома не было слышно в это время, но Далибару всетаки удалось, пока грозовые тучи не разошлись, получить из шеста несколько длинных голубых искр. Один из разрядов попал ему в руку и произвел впечатление удара кнутом; прихожане заметили кроме того, что от их священника распространялся острый запах.“

„Радость Далибара не поддается описанию, и, в самом деле, его опыты были большим шагом в науке; имя его этими опытами было сделано бессмертным“⁵.

Далибар, сообщая об этих опытах Парижской академии наук, восклицает: „Материя грома неоспоримо та же, что и электричество. Идея, высказанная Франклином, перестает быть догадкой и сделалась достоверным фактом“.

Ничего не зная об опытах Далибара, Франклин произвел еще более интересный опыт, который собственно и является несомненным доказательством того, что в туче, извергающей молнию, действительно находится электричество. Это был опыт со змеем.

Вот как он сам рассказывает о нем, предлагая повторить каждому сомневающемуся⁶:

„Сделайте крест из двух деревянных полос, которого ветви такой длины, что достигают четырех концов большого, но тонкого шелкового платка, если его растянуть. Концы платка прикрепите к концам креста: получится змей... На верхнем конце змея надо укрепить острие из проволоки, выходящее из него на фут и более. К концу веревки, ближайшему к руке, привяжите шелковую тесьму. В этом месте, где веревка соединяется с шелковой тесьмой, можно вставить ключ“.

С таким змеем вместе со своим сыном Франклин и произвел свой знаменитый опыт.

Когда дождь смочил змей и веревку, последняя легче стала проводить электричество; из ключа при приближении суставов пальца Франклин получил искру. Затем от ключа он зарядил лейденскую банку и произвел ряд опытов, показавших полное сходство электричества и молнии.

Франклин обнаружил, что облака в большинстве случаев заряжены отрицательно, редко — положительно. Опыты Франклина были повторены в других странах.

В том же году (1752) Л. Лемонье нашел, что атмосфера всегда наэлектризована, даже когда небо безоблачно⁷.

ОПЫТЫ РИХМАНА И ЛОМОНОСОВА ПО АТМОСФЕРНОМУ ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

Русский академик, друг Ломоносова, профессор Рихман (1711—1753), при своих опытах по атмосферному электричеству был убит молнией.

В истории учения об атмосферном электричестве Рихман должен быть отмечен как первый исследователь, который ввел в употребление измерительный прибор по электричеству. Этот прибор Рихман назвал „электрическим указателем или электрическим гномом“ (см. рис. на стр. 56).

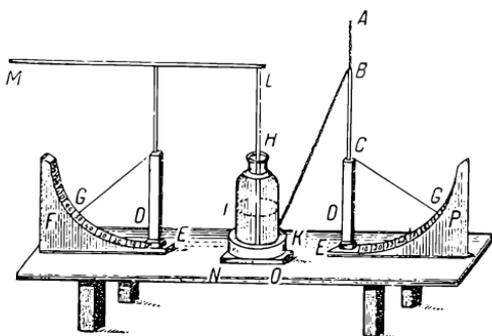
Он представлял собой льняную нить в $2\frac{1}{2}$ лондонских дюйма длиной и в $\frac{1}{2}$ аптекарских грана весом, которая была укреплена подле широкой и вертикальной линейки *AC* и повешена к верхней части линейки у ее узкой стороны. Под ней помещался деревянный квадрант *DEFG* немного большего радиуса, чем длина нити, таким

образом, чтобы ее точка прикрепления была центром квадранта, и плоскость его находилась в одной плоскости с вертикальным сечением линейки. Если такая линейка приведена в связь с наэлектризованным телом, то, будучи сама наэлектризована, отталкивает наэлектризованную нить, которая сверх того притягивается ненаэлектризованным деревянным квадрантом. Чем более нить отходит от линейки, тем, значит, сильнее возбужденное электричество. Этот прибор Рихмана является родоначальником электрометров*.

Опыты Рихмана по атмосферному электричеству описаны в „Петербургских ведомостях“ за 1752 г. (№ 50).

„Понеже в разных ведомостях, — читаем мы здесь, — объявлено важнейшее изобретение, а именно: что электрическая материя одинакая с материей грома, то здешний профессор физики экспери-

ментальной, г. Рихман, удостоверил себя о том и некоторых зрителей следующим образом. Из середины дна бутылочного выбил он иверень, сквозь бутылку продел железный прут длиною от 5 до 6 футов, толщиною в один палец и заткнул горло бутылки коркою. После велел он из верхушки кровли вынуть черепиц и пропустил туда прут, так что он от 4 до 5 футов высунулся, а дно бутылки лежало на кирпичках.



„Электрический указатель“ Рихмана
1753 г. — первый электрометр.

К концу прута, который под кровлю из-под дна бутылочного высунулся, укрепил он железную проволоку и вел ее до среднего апартаменту все с такою же осторожностью, чтобы проволока не коснулась никакого тела, проводящего электрическую силу. Наконец, к крайнему концу проволоки приложил он железную линейку, так что она перпендикулярно вниз висела, а к верхнему концу привязал шелковую нить, которая с линейкою параллельно, а с широчайшею стороною линейки в одной плоскости висела. Описание сих приготовлений к опыту читал он при исследовании объявленного отдаления грома от строения в начале сего июля месяца в академическом собрании членам и начал уже сначала оногo месяца по вся дни следовать, отскочит ли нить от линейки и произведет ли потому какую электрическую силу, токмо не приметил ни малейшей перемены в нити. Чего ради с великою нетерпеливостью ожидал грома, который 18 июля в полдень и случился. Гром, повидимому, был не близко от строения, однакож он после первого удара тотчас приметил, что шелковая нить от линейки

* О смерти Рихмана Watson писал в „Phil. Mag.“ статью, где и описывал его электрометр.

отскочила, и материя с шумом из конца линейки в светлые искры рассыпалась и при каждом осязании причиняла ту же чувствительность, какую обыкновенно производят электрические искры. У некоторых, державших линейку, шло потрясение по всей руке... Посему не надобно к сему опыту ни электрической машины, ни электризованного тела, но гром совершенно служит вместо электрической машины... Итак, совершенно доказано, что электрическая материя одинакова с громовою материею, и те раскаиваться будут, которые преждевременными маловероятными основаниями доказывать хотят, что обе материи различны“.

В следующем году (1753) Рихман возобновил свои изыскания.

О результатах новых наблюдений Рихмана мы читаем в „Петербургских ведомостях“ за 1753 г. (№ 56).

„Сего месяца 11 числа, во время случившегося пополудни грому, господин профессор Рихман примечал в 5 часов на повешенной своей нити оказывающееся электрическое действие. Сими примечаниями отчасти подтверждены были прежние, отчасти усмотрены некоторые новые действия, которые прежде примечать ему не случалось. Электрическое действие началось с 5 часов и продолжалось до 7 часов, а во все время было так сильно, что нитка на указателе электрической силы всегда стояла между 28 и 29 градусами, хотя иногда через несколько минут не было ни молнии, ни грому. Иногда электрическое действие без грому и без молнии умножалось, а иногда без грому и молнии уменьшалось“.

Трагическая кончина Рихмана следующим образом описывается в „С.-Петербургских ведомостях“:

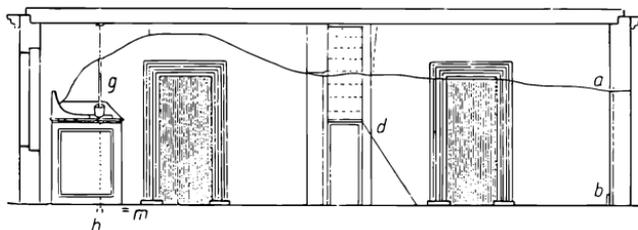
„О скоропостижной смерти господина профессора Рихмана, который публикациями неоднократно в здешних ведомостях опытов о громе и молнии довольно знаемым себя учинил, сообщается следующее обстоятельное известие. А именно: 26-го числа прошедшего июля месяца в начале 1-го часа пополудни хотел он при академическом гридовальном мастере Иване Соколове, учиня к тому свои приготовления, примечать электрическое действие громовой тучи, восставшей от севера при ясном солнечном сиянии. Оные приготовления учинены им были в сенях, которые шириною были на 4, а длиною на 13 шагов, и где на север находились двери, а к югу окно, которое оторвано ли было или нет, о том заподлинно известиться не можно было. Недалеко от сего окна стоял шкаф вышиною в 4 фута, на котором учреждена была машина для примечания электрической силы, называемая „указатель электрической“, с железным прутком толщиною в палец, а длиною в 1 фут, которого нижний конец опущен был в наполненный отчасти опилками хрустальный стакан. К сему прутку с кровли около дому проведена была сквозь сень под потолком тонкая железная проволока.“

„Когда господин профессор, посмотревши на указателя электрического, рассудил, что гром еще далеко отстоит, то уверил он гридовального мастера Соколова, что теперь нет еще никакой опасности, однако когда подойдет очень близко, то где может быть опасность. Вскоре после того как господин профессор, отстоя на

фут от железного прута, смотрел на указателя электрического, увидел упомянутый Соколов, что из прута без всякого прикосновения вышел бледносиневатый огненный клуб с кулак величиною, шел прямо ко лбу господина профессора, который в самое то время, не издав ни малого голоса, упал назад на стоящий позади его сундук. В самый же тот момент последовал такой удар, будто из малой пушки выпалено было, от чего гридовальный мастер упал наземь и почувствовал на спине у себя некоторые удары, о которых после усмотрено, что оные произошли от изорванной проволоки, которая у него на кафтане с плеч до фалд оставила знатные горелые полосы.“

„У хрустального стакана, который употребляем был вместо мушенбрекова стеклянного сосуда, отшиблена была половина, а медные опилки разбросаны, железная же проволока изорвана на мелкие части“.

Расположение приборов квартиры Рихмана видно на ниже-следующем рисунке.



Комната в квартире Рихмана, где была установлена его „громовая машина“: *a* — проволока от „электрической стрелы“; *g* — железная линейка, нижний конец которой опущен в стакан с опилками, а к верхнему подвешена шелковая нить (указатель); *h* — место, где стоял Рихман в момент смерти, *m* — место, где стоял гридовальный мастер Соколов. (Рисунок из сочинения Ломоносова).

Величайший русский ученый и писатель М. В. Ломоносов также производил опыты по атмосферному электричеству. У него в доме, как и у Рихмана, была поставлена „громовая машина“.

Ломоносов в день смерти Рихмана также производил наблюдения над электрической силой и в сходных условиях, но остался невредимым.

Свое тяжелое впечатление о смерти Рихмана Ломоносов излагает в письме к графу Шувалову⁸:

„Я вижу, что господина профессора Рихмана громом убило в тех же точно обстоятельствах, в которых я был в то же самое время. Сего июля, 26-го числа, в первом часу пополудни поднялась громовая туча от норда. Гром был нарочито силен, дождя ни капли. Выставленную громовую машину посмотрев, не видел я ни малого признаку электрической силы. Однако, пока кушанье на стол ставили, дождался я нарочитых электрических из проволоки искр, и к тому пришла жена моя и другие, и как я, так и они беспрестанно до проволоки и до привешенного прута дотыкались за тем,

что я хотел иметь свидетелей разных цветов огня, против которых покойный профессор Рихман со мною споривал. Внезапно гром чрезвычайно грянул в самое то время, как я руку держал у железа, и искры трещали. Все от меня прочь побежали. И жена просила, чтобы я прочь шел. Любопытство удержало меня еще две или три минуты, пока мне сказали, что щи простынут, а притом и электрическая сила почги перестала. Только я за столом просидел несколько минут, внезапно дверь отворил человек покойного Рихмана, весь в слезах и в страхе, запыхавшись. Я думал, что его кто-нибудь по дороге бил, когда он ко мне был послан. Он чуть выговорил: профессора громом зашибло. В самой возможной скорости, как сил было можно, приехав, увидел, что он лежит бездыханен. Бедная вдова и ее мать таковы же, как он, бледны. Мне и минувшая в близости моя смерть, и его бледное тело, и бывшее с ним наше согласие и дружба, и плач его жены, детей и всего дома столь были чувствительны, что я великому множеству сошедшегося народу не мог ни на что дать слова или ответа, смотря на то лицо, с которым я за час сидел в конференции и рассуждал о нашем будущем публичном акте. Первый удар от привешенной линии с ниткою пришел ему в голову, где красно-вишневое пятно видно на лбу; а вышла из него громовая электрическая сила из ног в доски. Ноги и пальцы сини, и башмак разодран, а не прожжен. Мы старались движение крови в нем возобновить затем, что он еще был тепл; однако голова его повреждена, и больше нет надежды“.

„Итак, он плачевным опытом уверил, что электрическую громовую силу отворотить можно, однако, на шест с железом, который должен стоять на пустом месте, в которое бы гром бил, сколько хочет.“

„Между тем умер господин Рихман прекрасною смертью, исполняя по своей профессии должность. Память его никогда не умолкнет“.

Так писал Ломоносов о своем друге Рихмане. М. В. Ломоносов, так же как Рихман, очень интересовался тогдашним злободневным вопросом физики — природой молнии. И, как нам удалось установить, Ломоносов во многом предугадал открытие Франклина и сделал новые важные наблюдения в области атмосферного электричества.

В письме Ломоносова к И. И. Шувалову (от 31 мая 1753 г.) мы читаем:

„...Приметил я у своей громовой машины 25-го сего апреля, что *без грому и молнии** (чтобы слышать или видеть можно) нитка от железного прута отходила и за рукой гонялась, и в 28-е число того же месяца, при прохождении дождевого облака, без всякого чувствительного грому и молнии, происходили от громовой машины сильные удары, ... что еще нигде не примечено...“

Об этом своем открытии Ломоносов докладывал Академии 26-го ноября 1753 г. в речи „О явлениях воздушных, от электрической силы происходящих“⁹.

* Курсив мой. В. А.

М. В. Ломоносов, кроме того, предложил другой способ защиты зданий от молнии, отличный от франклинового. Он предлагал при помощи специальных установок защищать от молнии всю местность, а не отдельные здания, считая, очевидно, опасным для живущих защищать только один дом. Так, в той же речи М. В. Ломоносов указывал:

„Такие стрелы (т. е. громоотводы. — В. Л.) на местах, от обращения человеческого по мере удаленных, ставить за небесное полезное дело почитаю, дабы ударяющая молния больше на них, нежели на головах человеческих и на храминах силы свои изнуряла“.

Первый громоотвод в Европе был поставлен на Эдистонском маяке в 1760 г. На примере этой установки была обнаружена вся польза защиты зданий от молнии, вся польза громоотвода.

Л и т е р а т у р а

- ¹ Wall, „Phil. Trans.“, abridg. т. 4, стр. 275.
Winkler, Electr. Kraft des Wassers, 1746, стр. 137.
Nollet, Leçons de phys., т. 4, стр. 34.
- ² Cajory, A. History of Physics, New York 1914, стр. 122.
- ³ Franklins Works, т. V (1837), стр. 181.
- ⁴ Ibid., т. V (1837), стр. 236 и 237.
- ⁵ Franklins Works, т. V, стр. 288—293; „Lettres sur l'élect.“, 1753, стр. 9.
- ⁶ Franklins Works, т. V, стр. 295.
- ⁷ „Phil. Trans.“, т. 47 (1752), стр. 551.
- ⁸ Б. Н. Менишуткин, Михаил Васильевич Ломоносов, 1911, стр. 77.
- ⁹ Речь напечатана в Собр. соч. Ломоносова, 1803, ч. III, стр. 48.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ КУЛОНА

ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА „ЧЕРЕЗ ВЛИЯНИЕ“

Теория Франклина, о которой мы говорили в 6-й главе, вскоре встретила огромные затруднения и противоречия при дальнейших работах самого же ее автора.

Франклин предполагал у „электрического газа или огня“ (electric fire) отталкивательную способность. Каково же было его удивление, когда он обнаружил, что этой способностью обладают также тела, имеющие „недостаток электрического огня“, т. е., как мы теперь называем, „отрицательно заряженные тела“.

Об этом открытии, совершенно необъяснимом, если исходить из теории Франклина, он докладывал в Королевском обществе 18 декабря 1755 г. Любопытно, что этот факт был уже известен физику дю-Фей (см. стр. 41, 42).

Вскоре, кроме того, были сделаны новые открытия, которые привели к новым дополнениям к теории Франклина.

Эти открытия были сделаны *Вильке* и *Эпинусом*. Академик С.-Петербургской академии наук Эпинус (Aepinus, 1724—1802) является основателем „теории действия на расстоянии“ („actio in distans“). Эта теория изложена в его сочинении: „Опыт электрической и магнитной теории“ („Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi“), появившейся в 1759 г. Сочинение это составило эпоху в истории учения об электричестве¹.

Уже Франклину было известно, что стекло в лейденской банке „непроницаемо для электричества“. Эпинус и его сотрудник Вильке (I. K. Wilke, 1732—1796) обобщили эту идею, установив закон, что все непроводники „непроницаемы“ для электрической жидкости. Что это можно приложить даже к воздуху, они доказали, построив прибор, аналогичный лейденской банке, в которой воздух заменял стекло и являлся средою между двумя заряженными противоположным знаком поверхностями. Успех этого опыта заставил Эпинуса совершенно отрицать присутствие электрической жидкости кругом заряженного тела.

Своей теорией Эпинус совершенно устранил из учения об электричестве представления об истечении, поставив на их место философию Ньютона „actio in distans“ (действие на расстоянии). Он представлял себе, что вокруг наэлектризованного тела нет

никакой „атмосферы“, кроме прилегающего воздуха. Слово „атмосфера“ Эпинус заменяет словом „сфера электрического действия“.

При построении своей теории Эпинус, как и Франклин, пользуется, однако, одной жидкостью.

„Если приблизить, — говорит Эпинус, — к положительно наэлектризованному телу другое, то первое отталкивает из второго электрическую жидкость (см. нижеслед. рис., стр. 62), содержащуюся нормально во всяком наэлектризованном теле. Если отнять прикосновением ко второму телу его электричество, то по удалении его от первого в теле оказывается недочет электричества, т. е. оно становится отрицательно-электрическим“ *.

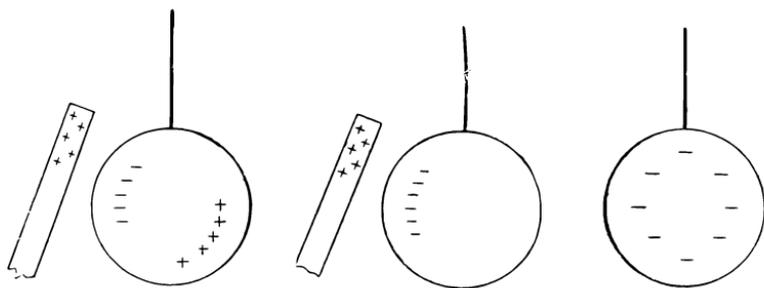


Схема опыта Эпинуса в 1753 г. 1-е. — Подносим к изолированному металлическому шару положительно наэлектризованную палочку. Вследствие возникновения электричества через влияние в нем появляются на противоположных сторонах разнородные электричества. 2-е. — Не отнимая палочки, дотронемся до шара рукой и таким образом уведем положительное электричество в землю. 3-е. — Удалим наэлектризованную палочку. Шар окажется наэлектризованным отрицательно.

Только что изложенная теория Эпинуса объясняла довольно хорошо открытое еще раньше Кантоном (John Canton, 1718—1772) и сотрудником Эпинуса, Вильке, так называемое „электричество через влияние“.

Кантон впервые заметил, что пробковые шарики построенного им электроскопа начинают расходиться уже при одном приближении к наэлектризованному телу совершенно без соприкосновения с ним; с удалением же от тела шарики снова сходятся².

Вильке в своей диссертации прибавил к исследованиям Кантона еще ряд наблюдений и опытов:

Опыт 1. Если подносить острое к изолированному проводнику, находящемуся вблизи наэлектризованного тела, и затем удалить острое и наэлектризованное тело, то проводник окажется наэлектризованным отрицательно.

* Эта цитата взята из речи (напечатана отдельным оттиском), произнесенной Эпинусом в Петербургской академии наук 7 сентября 1758 г. на тему: „Речь о сходстве электрической силы с магнитною“. Свою теорию Эпинус развил, исходя из аналогии между магнетизмом и электричеством.

Опыт 2. Если поставить или подвесить два проводника на изолирующих подставках или шнурах один за другим и подносить к концу первого натертую трубку (см. верхний рис. на стр. 63), то пробковый шарик на шелковинке, находясь между этими проводниками, тотчас приходит в качание, прикасаясь то к одному, то к другому проводнику. Если мы оставим трубку на неизменном расстоянии, движение шарика мало помалу прекратится. Оно возобновится на некоторое время, если мы удалим трубку.

Эпинусу, построившему „теорию действия на расстоянии“, новые явления, открытые Кантоном и Вильке, можно было легко объяснить.

Эпинус показывал основные законы электричества через влияние на следующем опыте³:

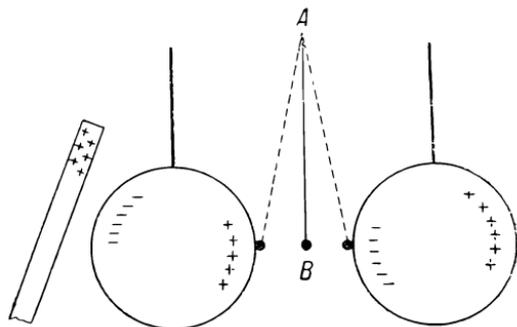
„На стеклянных подставках кладется металлическая полоса AB около фута длиною (см. нижний рис. на стр. 63). На концах A и B этой полосы кладутся металлические гирьки GL и gl около полутора пальца длиною каждая и с колечком наверху; к колечку гирьки привязывается шелковая нить: к гирьке GL — нить MN , к гирьке gl — нить mn . Затем к AB приближают стеклянную положительно наэлектризованную трубку IK и держат ее на расстоянии приблизительно пальца от конца A полосы AB . Затем гирька GL поднимается помощью шелковой нити и переносится на стеклянную подставку NO . Гирька оказывается наэлектризованною и притом отрицательным электричеством (противоположным с электричеством трубки)“.

Если бы мы сняли гирьку gl , то она оказалась бы наэлектризованной положительно.

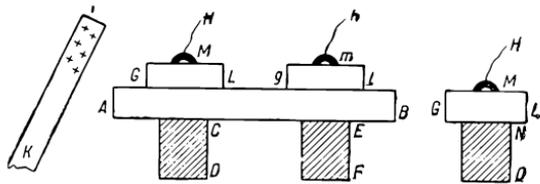
Как мы уже сказали, Эпинус, построив теорию действия на расстоянии, стоял, однако, на точке зрения теории Франклина.

Но эта теория встретила большие затруднения.

В самом деле, если предположить, что „электрический огонь“ Франклина обладает способностью отталкивания, — ибо так ведут себя два тела, содержащие „избыток электрического огня“, — то, наоборот, два тела, имеющие „недостаток электрического огня“, должны были бы вести себя иначе. Между тем они также отталкиваются.



Опыт Вильке: между двумя изолированными проводниками находится подвешенный на шелковой нити бузиновый шарик. Последний приходит в качание, как только мы подносим наэлектризованное тело.



Опыт Эпинуса, раскрывающий законы электричества через влияние. (Рисунок из сочинения Эпинуса 1759 г.)

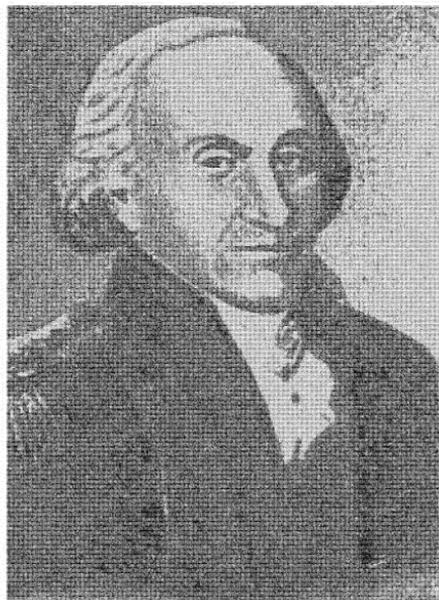
Поэтому нет ничего удивительного, что вскоре восторжествовала так называемая „дуалистическая теория“, наиболее полно разработанная Робертом Саймером в 1759 г.⁴ и признающая оба рода электричества качественно совершенно различными.

„Мое мнение,— говорит Саймер,— таково, что действие электричества не зависит от одной положительной силы, как это полагают обыкновенно, но от двух положительных, деятельных сил, которые, взаимодействуя между собой, и производят различные электрические явления. Поэтому, когда говорят, что тело наэлектризовано положительно, это не значит, что оно обладает большей долей электрической жидкости, чем в естественном состоянии, или когда говорят, что тело наэлектризовано отрицательно, — меньшей долей; нет: тело в первом случае обладает некоторой долей деятельной силы, во втором — тело обладает тоже деятельной силой, но другой“.

„Тело не наэлектризовано при равновесии этих двух сил“. Укреплению теории Саймера в науке много способствовал Кулон, который один из первых стал ее сторонником.

ОПЫТЫ КУЛОНА *

Своими работами Кулон завершил открытия в области статического электричества, применив к электрическим явлениям измерительные приборы.



Кулон (1736—1806).

До Кулона, если исключить наблюдения Рихмана, электрические явления исследовались только с качественной стороны.

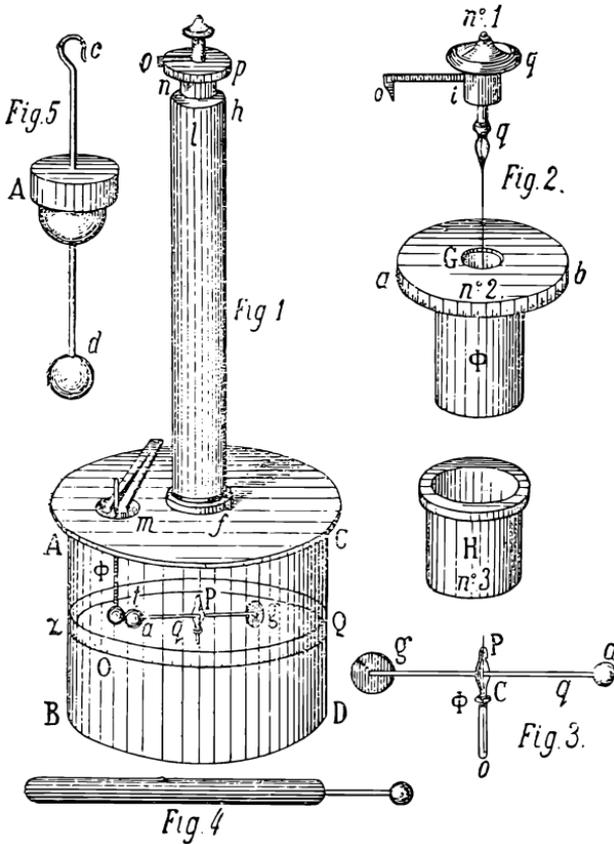
Для установления закона электрических взаимодействий Кулон построил особые „крутильные весы“ (см. рис. на стр. 65). Этот измерительный прибор Кулон изобрел в связи со своими работами по изучению законов закручивания шелковых и волосяных нитей, а также металлических проволок. Кулон установил закон, что „сила кручения пропорциональна углу закручивания“. Пользуясь крутильными весами, Кулон вывел связь между силой электрического взаимодействия, с одной стороны, и массой и расстоянием, с другой.

В одном из своих мемуаров: „Об электричестве и магнетизме“,

* В настоящей главе мы рассмотрим только опыты, касающиеся электростатики. О других исследованиях Кулона мы будем говорить в другом месте.

появившихся в 1785 — 1789 гг. *, Кулон описывает свои крутильные весы следующим образом ⁵:

„Стекланный цилиндр *ABCD* (см. рис. на данной стр. 65) в 12 дюймов (32,48 см) диаметром и 12 дюймов высоты покрыт стеклянным кругом в 13 дюймов диаметром, в котором имеются два круглых отверстия диаметром 20 линий (4,51 см); одно из них нахо-



Крутильные весы Кулона. (Рисунок из мемуара Кулона 1785 г.)

дится в середине круга *f*; над этим отверстием прикреплен цилиндр в $2\frac{1}{2}$ дюймов (64,97 см) высоты, вверху которого помещен микрометрический круг (устройство его можно видеть на рисунке). Верхняя его часть представляет головку *b* с указателем *io* и клеммой *q* для подвешивания проволоки. Эта часть входит в отверстие *G* круга *ab*, разделенного на 360 частей и прикрепленного к цилиндру Φ , который входит в трубку *H*; последняя представляет конец трубки *fh*.

* Кулон напечатал всего семь мемуаров по электричеству и магнетизму в „Mém. de l'Acad. de Paris“: первые три — в 1784 и 1785 гг., четвертый — в 1786 г., пятый — в 1787 г., шестой — в 1788 г. и седьмой — в 1789 г.

Клемма q (Fig. 1) в конце представляет собой нечто вроде пера для черчения, которое при помощи винта P может сжать тонкую серебряную нить. Другой конец этой проволоки несет на себе род стрелки из соломинки, покрытой сургучом, на концах которой — бузиновый шарик a и вертикальный бумажный кружок g , служащий для уравнивания качания. При производстве опыта головка, на которой повешена нить, повертывается так, что нить без кручения устанавливает стрелку в направлении нуля делений бумажной ленточки, наклеенной на цилиндр Q на высоте стрелки. Далее через отверстие в крышке вводим маленький цилиндр, нижняя часть которого сделана из шеллака, с бузиновым шариком на конце, так, чтобы он коснулся шарика стрелки. Затем „электризуем маленький кондуктор, который представляет собой булавку с большой головкой, воткнутую в конец сургучной палочки; вводят булавку в отверстие m и касаются неподвижного шарика t , находящегося в соприкосновении с подвижным a . Булавку удаляют; оба шарика оказываются наэлектризованными одноименным электричеством и отталкиваются взаимно на расстоянии, которое нетрудно определить, смотря на деление шкалы по направлению нити и центра шарика. Вертя головку нити, применяют силу, пропорциональную углу кручения и стремящуюся приблизить оттолкнутый шарик к неподвижному. Наблюдают этим способом, на какое расстояние различные углы кручения сближают шарики, и, сравнивая силы кручения с соответствующими расстояниями, определяют закон отталкивания“.

В одном из опытов Кулона первое отклонение после наэлектризования было 36° ; когда головка была повернута на 126° , шарик стрелки приблизился к неподвижному и остановился на расстоянии 18° . Сила закручивания осилила отталкивание.

Когда нить была закручена на 567° , шарики сблизились до $8\frac{1}{2}^\circ$. Как известно, сила кручения пропорциональна числу градусов поворота стрелки, и поэтому мы, уменьшая или увеличивая расстояние между шариками путем преодоления силы отталкивания между ними силой закручивания, получаем таблицу, устанавливающую связь между силой отталкивания и расстоянием. Эта связь видна уже из данных нашего опыта.

Дуга, изменяющая расстояние между двумя шариками	Число градусов поворота головки	Отталкивательная сила, пропорциональная числу градусов	Примечание
36°	0°	36°	$18^\circ + 126^\circ = 144^\circ$. Как мы видим, отталкивательная сила возросла вчетверо ($36 \times 4 = 144$), в то время как расстояние между шариками уменьшилось вдвое.
18°	126°	144°	
$8\frac{1}{2}^\circ$	567°	576°	$567^\circ + 8\frac{1}{2}^\circ = 575\frac{1}{2}^\circ$. Отталкивательная сила возросла в 16 раз ($36 \times 16 = 576$), в то время как расстояние уменьшилось в 4 раза.

электричества, r — расстояние между ними, k — коэффициент пропорциональности.

Наука об электричестве обязана Кулону введением понятия „количество электричества“.

При помощи тех же крутильных весов Кулон исследовал „плотность“ или, как он говорил, „напряженность“ электричества в данном месте проводника, снимая „пробной пластинкой“ его заряд.

Кулон, как мы видим, не принял теорию одной жидкости Франклина и Эпинуса, а предпочел теорию Роберта Саймера, которая появилась в печати еще в 1759 г.¹

„ТЕОРЕМА КУЛОНА“ И ЗНАЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ КУЛОНА

Под „теоремой Кулона“ Вильям Томсон подразумевает⁶ следующее предложение:

„Электрическая сила H в точке, лежащей бесконечно близко к поверхности проводника, окруженного воздухом, направлена нормально к поверхности и равна $4\pi\sigma$, где σ — поверхностная плотность электризации“.

На самом деле Кулон в шестом мемуаре своих исследований показал только на опыте, что электрическая сила в какой-либо точке, находящейся почти на поверхности проводника, перпендикулярна к этой поверхности и пропорциональна плотности электричества в этой точке.

Мы увидим, что это предложение вытекает из формулы Грина (см. главу 9-ю). Однако в вышеизложенных положениях Кулона — что электрическая сила в какой-либо точке на поверхности проводника перпендикулярна к этой поверхности и пропорциональна плотности электричества — уже содержится элементарное доказательство формулы, называемой теоремой Кулона. Это можно показать на примере с шаровой поверхностью.

Пусть r — радиус шара, e — величина его заряда и σ — поверхностная плотность заряда.

Как известно, весь заряд расположится на поверхности проводника, и мы можем написать:

$$e = 4\pi r^2\sigma.$$

В теории тяготения доказывается, что материальная сфера, как и шар, притягивает так, как будто бы вся ее масса была сосредоточена в центре. Поэтому в точке, отстоящей на расстоянии x от центра шара, будет действовать направленная по радиусу сила: $F = \frac{e}{x^2}$. При $x = r$, $F = H = \frac{e}{r^2}$.

Подставляя значение $e = 4\pi r^2\sigma$, имеем:

$$H = \frac{4\pi r^2\sigma}{r^2}, \text{ т. е. } H = 4\pi\sigma.$$

В этом и состоит „теорема Кулона“.

Главное значение исследований Кулона в истории учения об электричестве кроется как раз в этой его теореме и в формуле Кулона, выражающей закон взаимодействия наэлектризованных тел (см. формулу Кулона, стр. 67).

Этими своими работами Кулон начинает новую эпоху в истории электростатики. Дальнейшее развитие в области электричества без более широких обобщений, охватывающих всю массу эмпирических закономерностей и отдельных законов, и без математической разработки теории электрических и магнитных явлений было уже весьма затруднено. Эти обобщения и математическая разработка теории электричества и были даны в начале XIX столетия при помощи высшего анализа — введением понятия *потенциал*.

Л и т е р а т у р а

- ¹ Уэвелль, История индуктивных наук, т. III.
- ² „Phil. Trans.“, т. 43 (1754), стр. 350.
- ³ *Aepinus*, Tentamen electricitatis, Rostock 1759.
- ⁴ *Symmer*, An two distinct. powers in electr., „Phil. Trans.“, 1759.
- ⁵ „Mém. de l'Acad. de Paris“, 1785, стр. 569.
- ⁶ „Papers on Electricity“, стр. 24.

ИСТОРИЯ УЧЕНИЯ О ПОТЕНЦИАЛЕ

РОЛЬ ПОТЕНЦИАЛА В УЧЕНИИ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ

Потенциал играет большую роль в явлениях электростатики. Необходимость нового понятия видна уже из простых опытов. На простых опытах можно убедиться, что электроскоп с золотыми листочками не является измерителем (по степени расхождения листочков) ни количества электричества, ни плотности.

Чтобы убедиться в том, что электроскоп не измеряет плотности заряда на проводнике, для этого достаточно взять цилиндрический или конический проводник (на них плотность заряда в различных точках неодинакова) и соединять с электроскопом различные точки проводника. Угол расхождения листочков электроскопа *будет постоянный*. Следовательно, электроскоп не измеряет плотности.

Точно так же, если бы мы взяли два проводника различной величины и сообщили им *одно и то же количество электричества*, то угол расхождения листочков электроскопа был бы *больше* при соединении с *меньшим* проводником. Таким образом, электроскоп не измеряет также и количества электричества.

Итак, что же показывает электроскоп, если его показания не относятся ни к количеству, ни к плотности электричества? Теперь мы говорим, что электроскоп (или электрометр) *показывает „потенциал“* проводника.

ПУТАНИЦА В ТЕРМИНАХ

Знаменитый итальянский физик *Вольт* первый почувствовал необходимость введения в учение об электричестве нового понятия. В письме из Комо к Соссюру (от 20 августа 1778 г.) он пользуется понятием „напряжение“, а затем в другом своем письме (1797) точно указывает, что под этим понятием он подразумевает нечто, что измеряет его электрометр¹.

Мы увидим впоследствии, что это новое понятие — „напряжение“ — дало возможность Вольту установить законы электризации от соприкосновения разнородных металлов.

Однако до середины XIX столетия для большинства электриков это понятие, введенное очень отчетливо Вольтой, носит различные названия, и в связи с этим получается путаница в терминах. Например, *Ом* в 1827 г. — сочинение которого: „Die galvanische Kette“ мы довольно подробно разбираем в 15-й главе — пользуется для обозначения одного и того же понятия следующими терминами: „электроскопическая сила“², „электрическая разность“ („electrische Verschiedenheit“)³ наряду с термином: „электрическое напряжение“, введенным Вольтой.

Впервые термин „потенциальная функция“ был введен Грином в 1828 г. Затем в 1840 г. *Гаусс* в сочинении: „Resultate aus den Beobacht. d. magn. Vereins“ пользуется термином „потенциал“⁴. Но, как у Грина, так и у Гаусса, понятие „потенциал“ носит очень обобщенный математический характер; это — функция точки.

Затем в 1841 г. *Погендорф*⁵, а далее в 1845 г. Нейман⁶ вводят термины: „электродвижущая сила“, „электродвижущая сила индукции“. Эти авторы рассматривают электричество как „невесомую жидкость“, поэтому должна быть сила, которая бы двигала электричество.

У *Гельмгольца* (в 1847 г.) понятие „потенциал“ приравнивается понятию „живая сила“⁷, а у *Максвелла* в его посмертном элементарном учебнике по электричеству (1879) дается следующее неверное определение потенциала:

„Электрическим потенциалом в какой-либо точке называется работа, которую нужно затратить, чтобы тело, заряженное единицей электричества, с бесконечно большого расстояния перенести в данную точку“⁸.

Здесь делается такая же ошибка, как если бы мы сказали:

„Скоростью называется пространство, пройденное точкой в единицу времени“.

Заметим, что путаница терминов существует и в современных учебниках физики*.

В дальнейшем, чтобы несколько облегчить понимание истории чения о потенциале, мы даем здесь дополнительный параграф. Элементарное учение о потенциале“.

ЭЛЕМЕНТАРНОЕ УЧЕНИЕ О ПОТЕНЦИАЛЕ

Мы уже сказали, что в работах Грина и Гаусса *потенциал есть некоторая функция* точки. Оказывается, если в какой-либо точке *A* пространства имеется заряд *e*, то в точке *B*, находящейся на расстоянии *r* от *A*, можно рассматривать некоторую величину

$$V = \frac{e}{r}.$$

Очевидно, что эта величина *V* есть функция, т.е. зависит от положения точки *B*.

* См., например, *Берлинер*, Курс физики, ГТТИ, 1932, ч. 2, стр. 11. Потенциал определен как „работа“.

Электростатика

Теплота

Электровозбудительная сила, стремящаяся перемещать положительно наэлектризованные тела от места высшего потенциала к низшему.

Проводящее тело.

Положительно наэлектризованная поверхность проводника.

Отрицательно наэлектризованная поверхность проводника.

Положительно наэлектризованное тело.

Отрицательно наэлектризованное тело.

Поверхность равнопотенциальная.

Линия или нить индукции.

Течение тепла вследствие проводимости от мест с высшей температурой к местам с низшей.

Проводник тепла.

Наружная поверхность проводника, через которую тепло проникает в тело.

Наружная поверхность проводника, через которую тепло исходит из тела.

Источник тепла.

Место, в котором теплота исчезает из тела.

Изотермическая поверхность.

Линия, или нить течения тепла.

Такова аналогия, которую проводит Томсон между теплотой и электричеством.

Из всего того, что до сих пор изложено нами по истории потенциала, у читателя должно составить следующее представление: сначала потенциал был введен как чисто математическая функция; затем В. Томсон раскрыл физический смысл этого понятия.

Когда идеи об энергии и работе заняли центральное положение в физических теориях, потенциал получил еще механический смысл.

Каков же этот смысл?

Как мы уже сказали, если в точке A находится заряд $+e$, то потенциал в точке B , отстоящей от A на расстоянии, будет $V = +\frac{e}{r}$.

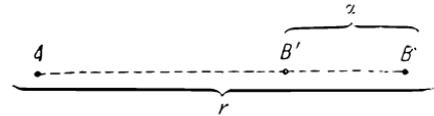
Для точки B' , находящейся ближе к A на величину α , потенциал будет $V_1 = +\frac{e}{r-\alpha}$, причем ясно на основании свойства дробей, что $V_1 > V$, ибо $\frac{e}{r-\alpha} > \frac{e}{r}$.

Таким образом, мы можем определить разность ΔV :

$$\Delta V = V_1 - V = \frac{e}{r-\alpha} - \frac{e}{r} = \frac{e\alpha}{r(r-\alpha)}.$$

Если α очень мало в сравнении с r , то α в знаменателе можно пренебречь и написать:

$$\Delta V = \frac{e\alpha}{r^2}. \tag{1}$$



В точке B потенциал равен $\frac{e}{r}$, в точке

B' потенциал равен $\frac{e}{r-\alpha}$. Можно определить разность потенциалов между точками B и B' .

Вот на какую „прибавку“ увеличивается потенциал при переходе от точки B к B' . Эту прибавку мы вычислили с ошибкой, которая будет тем меньше, чем меньше α .

Посмотрим теперь, *какова будет работа* (ее мы обозначим W) электрической силы при перемещении заряда из точки B в B' на расстояние α .

Так как сила $f = \frac{ee_1}{r^2}$ (по закону Кулона), то работа

$$W = - \frac{ee_1}{r^2} \cdot \alpha. \quad (2)$$

Знак минус поставлен потому, что перемещение идет против силы. Сравнивая формулу (1) с формулой (2) и подставляя в (2) ΔV , вместо ее значения получаем:

$$W = - e_1 \cdot \Delta V. \quad (3)$$

Равенство (3) показывает, что *элементарная работа электрической силы при перемещении ею заряда e_1 на малое расстояние измеряется произведением перемещенного заряда e_1 на приращение ΔV потенциала, соответствующее этому перемещению, с обратным знаком.*

Отсюда следует, что, перемещая заряд e_1 на *большее расстояние* из B' , где потенциал V_1 , в какую-нибудь точку, где потенциал V_2 , электрическая сила произведет работу:

$$W = e_1(V_1 - V_2).$$

Если взять точку A или B в бесконечности, то из $V = \frac{e}{r}$ заключаем, что потенциал в этой точке будет равен нулю, так как $\frac{e}{\infty} = 0$. Наша формула (4) обращается в

$$W = e_1 V_1. \quad (5)$$

При $e_1 = 1$ формула (5) принимает вид: $W = V_1$, т. е. потенциал *измеряется той работой, которую должны произвести электрические силы, чтобы оттолкнуть из этой точки в бесконечность заряд, равный единице.*

Такое механическое представление о потенциале выработалось, как мы уже сказали, только во второй половине XIX в., когда установилось понятие о работе и энергии.

Мы выяснили *механический, физический и математический* смысл потенциала.

Математики конца XVIII в. пользовались лишь математическим понятием потенциала и создали чрезвычайно интересную главу математической физики — *учение о равновесии электричества.*

Для того, чтобы еще лучше видеть значение понятия „потенциал“, укажем на следующие *теоремы* и свойства, вытекающие из введенного нами понятия *потенциала.*

1. Если имеется несколько зарядов e, e_1, e_2, e_3, \dots , как-нибудь расположенных, то потенциал V в какой-либо точке A (см. верхний рис. на данной стр. 75) определится очень просто:

$$V = \frac{e}{r} + \frac{e_1}{r_1} + \frac{e_2}{r_2} + \frac{e_3}{r_3} + \dots$$

Эта теорема следует прямо из того, что работа равнодействующей равна сумме работ составляющих (см. механическое значение потенциала).

2. Потенциал V от наэлектризованного шара (см. нижний рис. на данной стр. 75) в какой-нибудь точке A , находящейся на расстоянии x от центра шара, может быть вычислен по формуле:

$$V = \frac{e}{x},$$

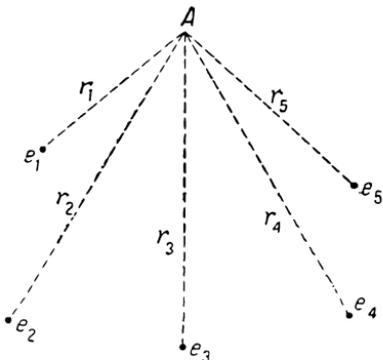
где e — заряд шара. В самом деле, из теории тяготения известно, что действие материальной сферы на внешнюю точку A таково, как будто бы вся масса сферы была сосредоточена в ее центре. Поэтому действие электрических масс, расположенных на шаре, таково, как если бы все электрические массы были сосредоточены в центре шара. Наша формула вытекает тогда из математического значения потенциала.

3. Можно рассматривать геометрическое место точек одинакового потенциала. Это будет некоторая поверхность, которую называют часто сокращенно „поверхностью уровня“. Для одного заряда e поверхностью уровня является сфера, как это следует из математического значения потенциала.

4. „Напряженность поля“, т. е. отношение силы, действующей на заряд в данной точке поля, к величине этого заряда, направлена перпендикулярно к поверхности уровня.

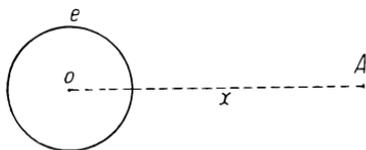
5. Если дан наэлектризованный шар, то можно говорить о потенциале шара, который равен $\frac{E}{R}$, где R — радиус шара, E — его заряд.

В самом деле, весь заряд E шара расположится на поверхности, и мы будем иметь случай, рассмотренный во втором пункте, причем поверхность шара будет поверхностью равного потенциала.



Для точки A можно подсчитать потенциал от 5 зарядов. Он будет:

$$\frac{e_1}{r_1} + \frac{e_2}{r_2} + \frac{e_3}{r_3} + \frac{e_4}{r_4} + \frac{e_5}{r_5}.$$



Потенциал от наэлектризованного шара, имеющего заряд e , будет для точки A , находящейся на расстоянии x от центра шара: $\frac{e}{x}$.

Полагая в формуле $V = \frac{e}{x} \cdot x = R$ и $e = E$, имеем, что „потенциал шара“ равен $\frac{E}{R}$.

6. Поверхность проводника есть поверхность равного потенциала, или поверхность уровня. Равенство потенциала (имея в виду механическое значение потенциала) выразится и в работе, совершаемой электрическими силами при движении заряда по поверхности проводника; эта работа равна нулю.

Это предложение следует из того, что электрические силы направлены перпендикулярно к поверхности проводника (это можно доказать).

Вот почему можно, наряду с термином „потенциал в какой либо точке“, установить термин „потенциал проводника“.

7. Если действующие электрические массы увеличатся в n раз, то и потенциал в любой точке увеличится в n раз (это следует из математического значения потенциала).

Поэтому величина потенциала возрастает прямо пропорционально величине заряда, т. е. $E = C \cdot V$ или $C = \frac{E}{V}$, где C — постоянная величина (множитель пропорциональности)*.

8. Легко доказать, что *электроемкость C шара равна радиусу*. В самом деле, мы видели, что потенциал шара $V = \frac{E}{R}$ или $E = R \cdot V$. Откуда, на основании формулы предыдущего пункта, $R = C$.

9. Электроемкость сферического конденсатора может быть вычислена по формуле: $C = \frac{S}{4\pi d}$, где S — поверхность его, а d — расстояние между сферами.

В самом деле, принимая во внимание, что внешняя обкладка заряжена противоположным электричеством, а также теорему 1-го пункта, имеем:

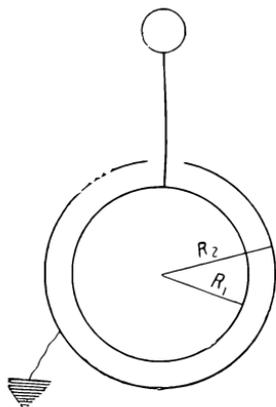
$$V = \frac{E}{R_1} - \frac{E}{R_2}.$$

После преобразования можем этой формуле придать вид:

$$E = \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} V.$$

Откуда ясно, что электроемкость конденсатора $C = \frac{R_1 R_2}{d}$, где $R_2 - R_1 = d$, или с известной ошибкой: $C = \frac{R_1^2}{d}$.

* Величина C получила название: „электроемкость“.



Сферический конденсатор имеет емкость: $\frac{S}{4\pi d}$, где d — расстояние между обкладками и S — поверхность обкладок.

Помножим и числитель и знаменатель на 4π и, зная, что $4\pi R_1^2 = S$, будем иметь окончательно:

$$C = \frac{S}{4\pi d}.$$

10. Напряженность поля очень просто связана с потенциалом:

$$H = -\frac{dV}{dn},$$

т. е. напряженность поля равна первой производной с обратным знаком от потенциала по нормали.

Доказательство. Предположим, что AB — поверхность уровня, проходящая через точку M , F — сила, т. е. напряженность поля в точке M . Если в M сосредоточить количество электричества e и переместить его по поверхности AB , то работа силы будет равна нулю. Это следует из того, что сила F перпендикулярна к поверхности уровня.

Положим, что CD есть поверхность уровня близкая к AB . Пусть $V + \Delta V$ — значение потенциала точек этой поверхности, $MN = \Delta n$ и F_m — среднее значение силы в точках этого отрезка Δn нормали.

Когда единица количества электричества переместится от M к N , то работа электрической силы равна: $W = F_m \cdot \Delta n$.

С другой стороны, на основании механического значения потенциала эта работа равна произведению заряда на приращение потенциала с обратным знаком, т. е. $W = -\Delta V$ заряд равен единице).

Откуда

$$F_m \cdot \Delta n = -\Delta V \quad \text{или} \quad F_m = -\frac{\Delta V}{\Delta n}.$$

При бесконечно малом Δn получаем в пределе:

$$F = -\lim \frac{\Delta V}{\Delta n} = -\frac{dV}{dn}.$$

11. Положительное электричество всегда течет от большего к местам меньшего потенциала.

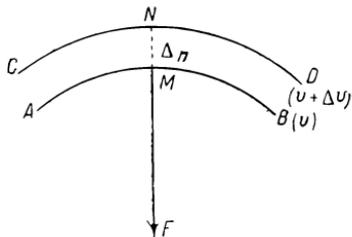
Это вытекает из предыдущего, т. е. из того, что сила, действующая на положительное электричество, направлена в сторону уменьшающегося потенциала.

Отрицательное электричество течет в обратном направлении.

12. Из всего предыдущего ясно, что положительное электричество потечет от проводника с большим к проводнику с меньшим потенциалом.

13. Электроскоп, соединенный с проводником, примет потенциал проводника, т. е. измерит его потенциал.

14. Проводник, соединенный с землей, принимает потенциал ее, т. е. разряжается. Потенциал земли мы принимаем равным нулю и т. п.



AB и CD — две поверхности равного потенциала; F — нормаль к поверхности AB .

ПОТЕНЦИАЛ В МЕХАНИКЕ

Функция, которую мы теперь называем „потенциальной“ или просто „потенциалом“, была открыта *Лагранжем* при обработке вопросов теории тяготения.

Как известно, при выборе определенных единиц сила F взаимодействия двух масс m и M на расстоянии r по закону Ньютона выразится формулой: $F = \frac{mM}{r^2}$.

Лагранж открыл в 1777 г.¹¹, что компоненты силы притяжения какой-либо массы M многими массами, сосредоточенными в различных точках, могут быть выражены очень просто, как сумма отношений этих масс к расстоянию их от M , т. е.

$$\frac{Mm_1}{r_1} + \frac{Mm_2}{r_2} + \frac{Mm_3}{r_3} + \dots = V.$$

Кроме того, если x, y, z — слагающие по осям этой силы F , то

$$X = \frac{\partial V}{\partial x};$$

$$Y = \frac{\partial V}{\partial y};$$

$$Z = \frac{\partial V}{\partial z}.$$

Лагранж не дал особого названия этой функции.

Несколько лет спустя *Лаплас* дал обозначение этой функции:

$$V = \iiint \rho \frac{da db dc}{r}$$

и вывел знаменитое уравнение:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0.$$

Это было в 1782 г.¹²

В 1812 г. *Пуассон* показал, что это уравнение приложимо для точек, находящихся вне действующих масс. Пуассон дал другое уравнение уже без ограничения положения точки:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -4\pi\rho,$$

где ρ — плотность массы в соответствующей точке.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПУАССОНА ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

После работ Кулона огромное влияние на историю электростатики оказали исследования Пуассона (*Siméon Denis Poisson*, 1781 — 1840).

Пуассон, подобно Кулону, принимает теорию двух жидкостей. Он рассматривает оба электричества как несжимаемые упругие жидкости, частицы которых подчинены закону Кулона.

„Общепринятая теория электричества, — говорит Пуассон *, — приписывает явления двум различным жидкостям, распространенным во всех телах природы. Предполагается, что частицы той же жидкости взаимно отталкиваются, но притягивают частицы другой; эти силы притяжения и отталкивания действуют в обратном отношении квадратов расстояний; при том же расстоянии притягательная сила равна отталкивательной, откуда следует, что, когда все части тела заключают равное количество той или другой жидкости, жидкости эти не оказывают никакого действия на жидкости, содержащиеся в окружающих телах, и, следовательно, не обнаруживается никакого признака электричества. Это равное и однообразное распределение двух жидкостей есть то, что называется их естественным состоянием; как скоро состояние это нарушено какой-либо причиной, тело, в коем это случается, *наэлектризовано*, и начинают обнаруживаться различные явления электричества. Тела природы оказываются не одинаковыми по отношению к электрической жидкости: одни, как металлы, позволяют ей свободно двигаться внутри их и проходить во всех направлениях; их называют поэтому проводниками; другие, как, например, сухой воздух, противопоставляют препятствие движению электричества внутри их, так что они служат к тому, чтобы не дать жидкости, собранной в проводниках, рассеяться в пространстве“...

Исходя из различия между проводниками и непроводниками, Пуассон объясняет сосредоточение электричества на поверхности; представление о повышенном давлении электрической жидкости на остриях помогает ему объяснить истечение.

„Представим себе металлическое тело какой-нибудь формы, окруженное со всех сторон сухим воздухом, и допустим, что мы ввели в него данное количество одной из жидкостей. Вследствие отталкивательной силы ее частиц, и так как металл не представляет никакого препятствия ее движению, легко понять, что введенная жидкость перенесется на поверхность тела, где будет удержана окружающим воздухом... Воздух, непроницаемый для электричества, можно рассматривать как сосуд, которого форма определяется формою наэлектризованного тела; жидкость, содержащаяся в этом сосуде, оказывает на его стенки *давления*, различные в разных точках, так что давление в некоторых точках иногда бывает очень велико сравнительно с испытываемым другими. В местах, где давление жидкости превозмогает сопротивление, противопоставляемое воздухом, воздух уступает; сосуд, так сказать, прорывается, и *жидкость истекает, как из отверстия*. Так бывает на остриях и острых краях угловатых тел, ибо можно доказать, что при вершине конуса, например, давление электрической жид-

* Пуассон жил в самый неблагоприятный момент в истории Франции — в эпоху наполеоновских войн. Поэтому многие мемуары Пуассона опубликовывались с опозданием. Только в 1811 г. вышли его два мемуара (результат работы многих лет): „О распределении электричества на поверхности проводников“. См. „Mém. de la classe de sc. mat. de l'Inst. de France“, 1811 г., стр. 1 и сл., стр. 163 и сл. Помещаемые ниже цитаты взяты из этих мемуаров.

кости сделалось бы бесконечным, если бы электричество могло там скопиться... Вообще неопределенное возрастание электрического давления в некоторых точках наэлектризованных тел представляет естественное и точное объяснение способности остриев рассеивать в непроводящий воздух электрическую жидкость, какую они заряжены¹².

Как мы уже сказали, Пуассон, развивая идеи Лапласа, вносит исправление в его формулу и доказывает для функции, которую мы теперь называем „потенциальной“, следующее соотношение, которое дает связь между плотностью электричества и потенциалом:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -4\pi\rho.$$

Затем он вычисляет потенциал шара и решает довольно трудную задачу распределения электричества на двух шарах, находящихся в соприкосновении.

Выкладки Пуассона чрезвычайно сложные. В наше время, когда учение о потенциале благодаря работам Гаусса и Грина вылилось в стройную теорию, многие решения, полученные Пуассоном, могут быть добыты проще.

РАБОТЫ ГРИНА

Английский ученый Грин (George Green, 1793 — 1841) первый использовал механическое понятие потенциала, введенное в науку Лагранжем, Лапласом, Пуассоном, и развил учение о потенциале в виде стройной теории.

Заглавие книги Грина, вышедшей в 1828 г.: „Опыт приложения математического анализа к теории электричества и магнетизма“ („An essay on the application of mathematical analysis to the theories of electricity and magnetism“).

Трактат Грина читается с трудом, так как требует серьезной математической подготовки.

Остановимся хотя бы вкратце на некоторых теоремах, изложенных в этом сочинении.

На электричество и магнетизм Грин смотрит как на „жидкости“ (the electric and magnetic fluids).

После довольно подробного исторического обзора работ своих предшественников Грин выводит много новых соотношений между „потенциальной функцией“ и плотностью ρ .

Он, в отличие от своих предшественников, пользуется главным образом следующим выражением „потенциальной функции“, как он впервые ее называет¹³:

$$V = \iint \rho \frac{d\sigma}{r},$$

где ρ — плотность электричества на элементе поверхности $d\sigma$ и r — расстояние от $d\sigma$ до другой какой-нибудь точки, для которой определяется потенциал.

Грин указывает¹⁴, что если эта точка находится на поверхности, то плотность ρ может быть вычислена из уравнения:

$$\text{const.} = a = \iint \rho \frac{d\sigma}{r} - \int (Xdx + Ydy + Zdz),$$

где X, Y, Z — компоненты силы поля, x, y, z — координаты точки. Справедливость этого уравнения легко обнаружить, если принять во внимание, что $X = -\frac{\partial V}{\partial x}$

$$Y = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad Z = -\frac{\partial V}{\partial z}.$$

В отличие от Пуассона, Грин довольно просто при помощи математического анализа доказывает, что на проводнике электричество должно расположиться на поверхности, что внутри не может быть зарядов¹⁵.

В самом деле, пусть x, y, z — прямоугольные координаты некоторой точки *внутри* тела, где сосредоточен заряд. Тогда $-\frac{\partial V}{\partial x}$ будет сила, с которой этот заряд будет двигаться по направлению оси x . Точно так же $-\frac{\partial V}{\partial y}$, $-\frac{\partial V}{\partial z}$ будут силы, действующие по направлению осей y и z .

Грин указывает, что если электрическая жидкость находится в равновесии (по условию), то равнодействующая всех этих трех сил должна быть равна нулю. Откуда:

$$0 = \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz = dV,$$

т. е. $V = \text{const}$. Подставляя это значение в уравнение Пуассона

$$\Delta V + 4\pi\rho = 0,$$

получим, что $\rho = 0$.

Таким образом, для всякой внутренней точки ρ плотность равна нулю, что равносильно тому, что внутри проводника нет зарядов.

Для вывода еще новых соотношений Грин пользуется особой теоремой, известной в наше время под названием „теоремы Грина“. Сущность этой теоремы Грин выражает следующей формулой:

$$\begin{aligned} & \int \int \int_{(D)} dx dy dz U \Delta V + \int \int_{(\sigma)} d\sigma U \left(\frac{\partial V}{\partial w} \right) = \\ & = \int \int \int_{(D)} dx dy dz V \Delta U + \int \int_{(\sigma)} d\sigma V \left(\frac{\partial U}{\partial w} \right), \end{aligned}$$

где (D) некоторый конечный объем, (σ) — его поверхность, U и V — две функции, непрерывные в объеме (D) вплоть до поверхности и имеющие непрерывные производные до второго порядка.

Окончательно формула Грина имеет следующий вид:

$$\int \int \int_{(D)} (U \Delta V - V \Delta U) dx dy dz = \int \int_{(\sigma)} \left(V \frac{\partial U}{\partial w} - U \frac{\partial V}{\partial w} \right) d\sigma.$$

В этой формуле w есть направление внутренней нормали к поверхности по отношению к телу (D) .

Часто пользуются не внутренней, а внешней нормалью; для этого надо только изменить знаки у производных по нормали в правой части формулы, и тогда формула Грина примет вид, который обыкновенно встречается:

$$\int \int \int_{(D)} (U \Delta V - V \Delta U) dx dy dz = \int \int_{(\sigma)} \left(U \frac{\partial V}{\partial w_1} - V \frac{\partial U}{\partial w_1} \right) d\sigma.$$

Здесь w_1 — направление внешней нормали к поверхности.

Применяя эту теорему для частного случая, когда V — потенциал функции и $U = \frac{e}{r}$, и в связи с этим несколько преобразовав свою формулу, Грин получает¹⁶ очень важное соотношение:

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial w} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial w_1} = -4\pi\rho,$$

где w и w_1 — нормали к поверхности, а черты сверху V указывают, что точка взята на поверхности.

Новое соотношение Грина выражает собой то условие, которому должна удовлетворять потенциальная функция для точек, лежащих на поверхности. причем поверхностная плотность электричества выражается через ρ и нормали w и w_1 направлены в противоположные стороны.

В частном случае, когда наша поверхность — проводник, так как $\frac{\partial V}{\partial w_1} = 0$, имеем: $\frac{\partial V}{\partial w} = -4\pi\rho$.

Откуда, так как $-\frac{\partial V}{\partial w} = F_n$, $F_n = 4\pi\rho$.

Таким образом, Грин получил теоретически то соотношение, которое на опыте получил Кулон, и согласно которому электрическая сила в какой-либо точке поверхности пропорциональна плотности электричества в этой точке.

Грин применяет полученные им соотношения к лейденской банке и показывает, что поверхности ее должны быть заряжены двумя противоположными количествами электричества.

Грин изучает затем действие заряженных шаров на внешнюю точку, затем двух шаров, соединенных проволокой, и, полагая радиус одного из шаров бесконечно малым, теоретически решает вопрос с острием.

Последняя глава (13-я) трактата Грина посвящена магнетизму.

Таково содержание этого замечательного сочинения.

К сожалению, на него не обратили должного внимания даже английские математики, и только лет 30 спустя, благодаря Вильяму Томсону, оно вновь было перепечатано* и издано, когда уже учение о потенциале, благодаря работам Гаусса, вылилось в стройную теорию.

ЗНАЧЕНИЕ ГАУССА В ИСТОРИИ УЧЕНИЯ О ПОТЕНЦИАЛЕ

Гаусс, повидимому, не имел возможности познакомиться с работой Грина, потому что даже английские математики не сразу восприняли рассуждения своего замечательного соотечественника.

В 1840 г., т. е. через 12 лет после опубликования трактата Грина, появилась работа Гаусса о потенциале¹⁷, которая в настоящее время благодаря своей обоснованности служит первоисточником для всех руководств по теории электрического поля.

Гаусс, подобно Лапласу, развивает свою теорию применительно к тяготению, но указывает, что все доказанные им теоремы относятся также «к электрическим жидкостям»¹⁸.

«Если мы обозначим, — говорит Гаусс, — через a, b, c координаты какой-либо материальной точки A , которая производит притяжение или отталкивание, то сила в точке O , координаты которой: x, y, z , будет:

$$\frac{\mu}{(a-x)^2 + (b-y)^2 + (c-z)^2} = \frac{\mu}{r^2},$$

где μ — любая масса материальной точки A , „либо количество магнитной или электрической жидкости“.

«Если мы эту силу разложим на компоненты, параллельные осям координат, то будем иметь:

$$\frac{\varepsilon\mu(a-x)}{r^3}; \quad \frac{\varepsilon\mu(b-y)}{r^3}; \quad \frac{\varepsilon\mu(c-z)}{r^3},$$

где $\varepsilon = +1$ или $\varepsilon = -1$ в зависимости от того, с какой силой мы имеем дело — с притягательной или отталкивательной.

* Сочинение Грина полностью напечатано на английском языке в „Crelle's Journal“, т. 39, стр. 73 (1850), т. 44, стр. 365 (1852) и т. 47, стр. 161 (1854).

Эти компоненты можно представить как частные производные:

$$\frac{\partial \frac{\varepsilon\mu}{r}}{\partial x}; \quad \frac{\partial \frac{\varepsilon\mu}{r}}{\partial y}; \quad \frac{\partial \frac{\varepsilon\mu}{r}}{\partial z}.$$

Если на точку O действуют многие агенты $\mu^0, \mu', \mu'', \dots$, находящиеся на расстояниях r^0, r', r'', \dots , то

$$\frac{\mu^0}{r^0} + \frac{\mu'}{r'} + \frac{\mu''}{r''} + \dots = \Sigma \frac{\mu}{r} = V.$$

Таким образом, Гаусс, подобно Лагранжу, указывает, что существует особая функция

$$V = \sum_i \frac{\mu}{r}.$$

Гаусс называет ее не „потенциальной функцией“, подобно Грину, но „потенциалом массы“ μ в точке, от которой масса 1 отстоит на расстоянии r , причем Гаусс показывает, что, так как частные производные этой функции суть компоненты силы, то в любой точке действующая сила

$$p = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2}.$$

Компоненты этой силы:

$$p \cos \alpha = \varepsilon \frac{\partial V}{\partial x}; \quad p \cos \beta = \varepsilon \frac{\partial V}{\partial y}; \quad p \cos \gamma = \varepsilon \frac{\partial V}{\partial z},$$

где α, β, γ — углы, которые образует эта сила с осями x, y, z .

Далее Гаусс вводит понятие „поверхности уровня“ (Gleichgewichtsfläche)¹⁹:

$$V = \text{const.}$$

Направление действующей силы в любой точке поля перпендикулярно к этой поверхности.

Гаусс доказывает теорему Лапласа следующим образом. Составим первые производные от потенциала:

$$\frac{\partial V}{\partial x} = \sum \frac{(a-x)\mu}{r^3}; \quad \frac{\partial V}{\partial y} = \sum \frac{(b-y)\mu}{r^3}; \quad \frac{\partial V}{\partial z} = \sum \frac{(c-z)\mu}{r^3}.$$

Затем берем вторые производные. Например, одна из них:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \sum \left(\frac{3(a-x)^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right) \mu.$$

Сложив эти производные, получим нуль, т. е. $\Delta V = 0$ (согласно обозначению Грина).

Теорему Пуассона Гаусс предварительно иллюстрирует на частном примере, когда притягивает шар, а затем доказывает ее в общем виде.

Описывая замечательный мемуар Гаусса, мы до сих пор говорили все о теоремах, открытых до него. Однако в трактате Гаусса имеется также много совершенно новых теорем.

Наиболее важными являются следующие теоремы Гаусса, обычно приводимые в наших курсах теоретической физики.

„Если P — нормальная слагающая напряжения поля в том месте, где находится ds — элемент замкнутой поверхности S , то

$$\int P ds = 4\pi M + 2\pi M',$$

где M — все количества масс, находящихся внутри, а M' — количества масс на поверхности S ²⁰.

В настоящее время эту теорему формулируют так:

„Интеграл от $F_n ds$ („силовой поток“), распространенный по всей поверхности S , равен алгебраической сумме $4\pi e_i + 2\pi \bar{e}$, где e_i — электричество внутри, а \bar{e} — электричество на поверхности S .

Другая важная теорема, доказанная Гауссом, заключается в следующем²¹:

„Произвольно расположенную систему масс D , которая находится внутри пространства, ограниченного поверхностью S , или, наоборот, вне этого пространства, можно заменить системой масс E , расположенной только на поверхности S , так что действие системы масс E будет равносильно действию системы D во всех точках, лежащих вне этого пространства—в первом случае, и для точек, расположенных внутри пространства—для второго случая“.

К учению о потенциале и его истории нам придется еще неоднократно возвращаться, когда мы будем говорить о работах Гельмгольца, Кельвина, Максвелла и др., и затем в главе, посвященной истории магнетизма.

Литература

- 1 *Volta*, Coll. dell'opere, 1816, т. I, ч. 1, стр. 165.
- 2 *Ohm*, Die galv. Kette, Berlin, 1827, стр. 47.
- 3 *Ibid.*, стр. 59.
- 4 *Gauss*, Werke, т. V, стр. 195.
- 5 „Pogg. Ann.“, т. 54 (184), стр., 161.
- 6 *Darmstädter*, 1908, стр. 484.
- 7 *Гельмгольц*, О сохранении силы, М., 1922 (из серии „Классики естествознания“), стр. 34.
- 8 *Максвелл*, Электричество в элем. изложении, Киев, 1886, стр. 75.
- 9 „Cambr. Math. Journ.“, 1842, „Phil. Mag.“, 1854.
- 10 *Максвелл*, *Ibid.*, стр. 58.
- 11 „Mém. de Berlin“, 1777, стр. 155.
- 12 „Mém. de Paris“, 1782 (опубл. в 1783 г.), стр. 113.
- 13 „Crelle's Journ.“, т. 39, стр. 81, т. 44, стр. 359.
- 14 *Ibid.*, т. 39, стр. 82.
- 15 *Ibid.*, т. 44, стр. 359.
- 16 *Ibid.*, т. 44, стр. 365.
- 17 *Resultate aus den Beobacht. des magnetischen Vereins. im Jahre 1839*, Leipzig, 1840 (Ostw. Klass. № 2).
- 18 *Ostw. Klass. № 2*, стр. 3.
- 19 *Ibid.*, стр. 7.
- 20 *Ibid.*, стр. 32.
- 21 *Ibid.*, стр. 49.

Глава десятая

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

ПЕРВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Первую электрическую машину построил Отто фон-Герике, изобретатель воздушного насоса. Он описывает эту машину следующим образом:

„Если кому угодно повторить мои опыты, тот пусть возьмет стеклянный баллон (sphaeram vitri) величиною с детскую голову,



Электрическая машина Герике 1663 г. (Рисунок из сочинения Герике: „Новые опыты“, 1672 г.)

наполнит его растолченной серою и расплавит ее; по охлаждении разобьет баллон, вынет и сохранит его (серный шар) в сухом месте. Если угодно, можно в шаре повернуть отверстие, чтобы удобно было вращать его на вставленном железном стержне, как на оси“.

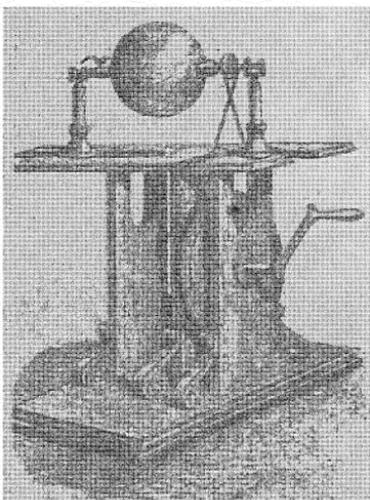
Со своей машиной Герике наблюдал не только притяжение и отталкивание легких тел, но и свет.

„Если в темной комнате, — говорит он, — тереть шар сухой ладонью, то заметен свет, подобный издаваемому сахаром, когда его колют“*.

Как ни примитивна была эта машина, однако из письма Лейбница к Герике мы узнаем, что Лейбницу при помощи такой машины удалось наблюдать электрическую искру. Письмо помечено датой 1 марта 1672 г. Это — самое раннее упоминание об электрической искре¹.

В машине Герике и в подобной же машине, построенной Лейбницем, серный шар натирался ладонями рук.

Такое устройство, при котором электричество производится трением рук, является характерной особенностью первых электрических машин трения на протяжении очень многих десятков лет со времени появления первой электрической машины трения.



Электрическая машина Хоксби 1706 г. (Рисунок из соч. Figuiere: „Merv. de la Science“.)

Дальнейший шаг в усовершенствовании электрической машины сделал английский физик Хоксби (Hawksbee, 1640—1713), один из современников Ньютона. Хоксби заменил серный шар Герике стеклянным, приводя его в движение помощью колеса с перекинутым бесконечным ремнем, причем стекло, как и в машине Герике, натиралось ладонями рук.

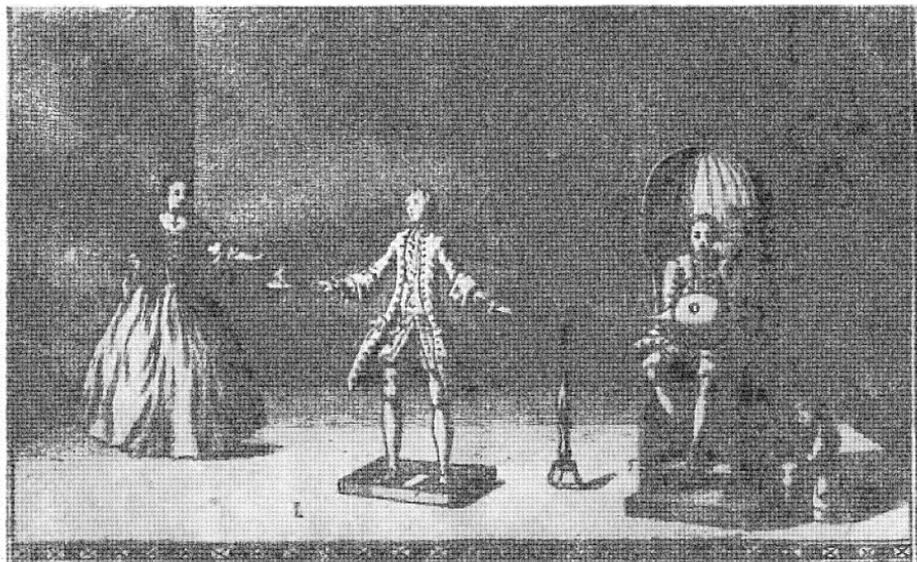
В 1705 г. при помощи своей машины (рисунок которой мы даем здесь, на стр. 86) Хоксби на заседании Королевского общества демонстрировал „ртутный фосфор“, т. е. свечение ртути, когда через нее продували при помощи насоса воздух. Хоксби правильно объяснил это явление образованием электричества и сравнил это свечение с молнией².

Бозе (Bose, 1710—1761), профессор Вюртенбургского университета, еще больше усложнил электрическую машину. Он присоединил к ней „кондуктор“ (1744) — проводник, являющийся как бы резервуаром для сбора образовавшегося от трения электричества.

* Бургомистр г. Магдебурга Отто Герике (1602—1686) издал по физике только одно сочинение в 7 книгах под заглавием: „Новые опыты с пустым пространством...“. Оно вышло из печати в 1672 г., но было закончено уже в 1663 г. В этом сочинении красной нитью проходит идея о *пустоте*, и строение всей солнечной системы рассматривается, принимая во внимание эту „гипотезу“. По свидетельству французского путешественника Монкони, посетившего Герике в 1663 г., „шар из серы (т. е. электрическую машину. В. Л.) Герике изготовил для доказательства мнения, которого он держится, что Земля постоянно притягивает к себе все предметы. Таким образом Герике объяснял земное притяжение тем, что Земля наэлектризована. Электрическая машина описана в IV книге его сочинения. Рисунок приведен на XVIII таблице.

Сначала этот „кондуктор“ электрической машины держал в руках человек, изолированный от пола; потом трубку стали вешать на шелковых шнурах и привели ее в соприкосновение с шаром посредством пучка проводящих нитей, воткнутого одним концом в трубку, а другим своим концом скользящего по шару³. Такого устройства, например, машина Эйлера.

Чтобы судить о конструкции электрической машины в середине XVIII в. мы даем здесь (см. рис. на данной стр.) факсимиле гравюры, помещенной во французской математической энциклопедии *Саверена*, вышедшей в 1753 г. (*Dictionnaire universel de mathématique et de physique*, I, Paris, 1753, par *M. Saverin*.)



Электрическая машина 1753 г. Стекланный шар натирается руками сидящего в будке мальчика. В этой машине уже имеется кондуктор для собирания электричества. (Рисунок из энциклопедии *Saverin*'a, 1753 г.).

Человек, натирающий руками шар, сидит здесь в особой будке. Рисунок вцелом поясняет, каким образом изолированный от пола человек может быть наэлектризован и притягивать бумажные обрезки.

В этой же энциклопедии говорится, как Хоксби заметил, что электрические опыты „зависят от температуры окружающего воздуха“. Описываются опыты „с притяжением натертой стекляннoй трубкой — воды“. Указывается, что если приблизить натертую стекляннoю трубку к повешенным на изоляторе цветным лентам, то черная притянется сильнее. Это было, повидимому, самое раннее наблюдение по фото-электрическому эффекту.

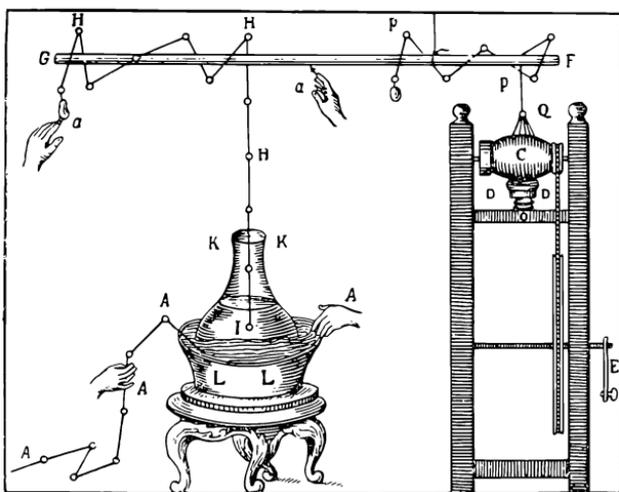
Описывается чрезвычайно интересовавший физиков того времени опыт, изобретателем которого является Бозе — „опыт убаждения“ (*béatification*). „Убаждение“ заключается в том, что из наэлектризованного человека исходит сияние или „лучистый пар“

(une sorte de vapeur lumineuse) наподобие того, как живописцы изображают святых.

Заметим, что эта французская математическая энциклопедия писалась во времена дю-Фей, и автор статей по электричеству многое, как он указывает, описывал „со слов этого ученого“. Необходимо заметить, что дю-Фей умер в 1739 г., а энциклопедия появилась в 1753 г.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА ВИНКЛЕРА И ЭЙЛЕРА

Значительное улучшение было внесено в конструкцию электрической машины лейпцигским профессором Винклером (Winkler, 1703 — 1770), который ввел особое приспособление для натирания шара. Вместо того, чтобы натирать стекло ладонями рук, он производил



Электрическая машина, описанная Эйлером в 1761 г. С — стеклянный шар, DD — подушка, KK — лейденская банка. (Рис. из сочинения Эйлера: „Письма к принцессе“.)

трение при помощи двух кожаных подушек, которые прижимались пружинами к стеклу.

Винклер получал (в 1744 г.) от своей машины настолько сильное действие, что мог искрой, извлеченной пальцем из кондуктора, зажечь винный спирт и убить птицу⁴.

На нашем рисунке (стр. 88) дана схема очень примитивной электрической машины, которую приводит Эйлер в своих „Письмах к принцессе“ („Lettres à une princesse d'Allemagne“) *. В ней уже имеется подушка, изобретенная Винклером. На рисунке С — стеклянный шар, вращаемый рукояткою Е; D — подушка, о которую трется шар; O — пружина, которую подушка к шару „пригнетается“,

* Эти „Письма“ были изданы на русском языке под заглавием: „Письма о разных физических и философских материях...“, СПб. 1790 (три части). Перевод Румовского.

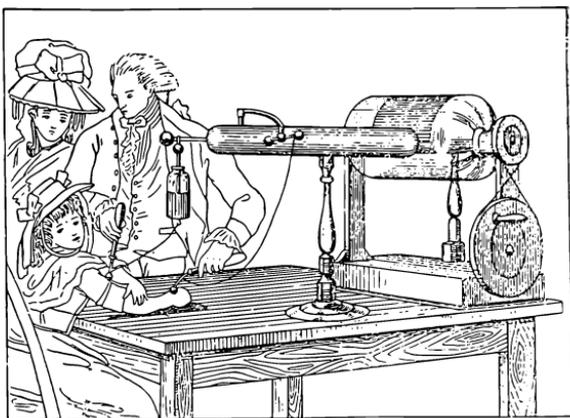
а Q — „металлическая бахрома“, которая посредством „металлической цепи“ „переселяет электрическую силу в железный прут“.

„По сие время опыт сей не разнствует от обыкновенного, который я уже неоднократно имел честь описать...; но чтоб окончить оный, привязывается к пруту еще другая из металла сделанная цепь H , которой конец опускается в „склянку“ KK , водою наполненную, а склянка KK поставляется еще в другой сосуд L , так же водою наполненный. Сверх того в воду последнего сосуда можно, ежели кто хочет, опустить один конец цепи A , а другой на полу оставить“⁵.

„Письма к принцессе“ Эйлера были опубликованы в 1761 г.

Попутно заметим, что в этих письмах Эйлер (Euler, 1707 — 1783) дает объяснение электрическим явлениям⁶. Прежде всего он отвергает существование жидкой электрической материи.

„Наибольшая часть писателей так мешают опыты между собою, что на конце ничего из оных разуметь не можно, а особливо, когда хотят их изъяснить. Все прибегают к некоторой тонкой материи, которую называют жидкою электрическою материею, и ей столь странные качества приписывают, что их с здравым рассуждением никак согласить не можно, и со всем тем, наконец, принуждены бывают признать, что все их тщания не сильны подать ясного и твердого понятия о сих важных естественных явлениях“⁶.



Электрическая машина Адамса 1787 г. Этот ученый — конструктор многих приборов по физике — впервые предложил использовать электрическую машину для лечебных целей. (Из соч. Адамса „An Essay on Electricity“, 1787 г.)

Возникновение электричества он объясняет различием упругости содержащегося в веществах эфира.

„Но из того, что я имел честь предложить..., видно, что тела получают электрическую силу, поелику упругость эфира, в них содержащегося, не в равновесии, или когда он в иных больше, а в иных меньше сжат будет. Ибо тогда эфир по причине чрезвычайной своей упругости силится притти в равновесие и повсюду восставить одинаковую степень упругости, сколько свойство скважин дозволит, которые в иных телах больше, в иных меньше эфиру отверсты, и восстановление равновесия причиною бывает электрических явлений“⁶.

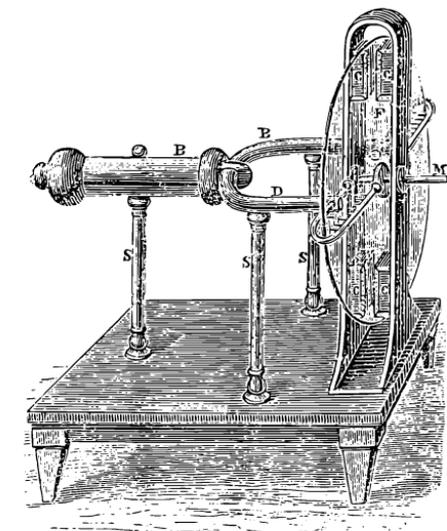
Возникновение света Эйлер объясняет колебанием воздуха от авления эфира, переходящего с одного тела на другое.

„Когда эфир из одного тела, где он больше сжат, переходит в другое, в котором сжат меньше, то переходу его всегда препятствует воздух, имея скважины запертые, от чего приходит в жестокое сотрясение, в котором, как мы уже видели, состоит свет; чем сильнее будет сотрясение, тем ярче свет произойдет, даже до того, что и тела от него загореться могут“⁶.

Как мы видим, Эйлер, в отличие от господствовавшей в то время теории электрических жидкостей, „отождествляет электричество с *эфиром*“. Свечение остриев служило Эйлеру одним из доказательств, что он прав.

МАШИНА ВИЛЬСОНА. МАШИНЫ СО СТЕКЛЯННЫМ ДИСКОМ И „МАШИНЫ-ГИГАНТЫ“.

Дальнейшая эволюция электрической машины состояла в замене стеклянного шара цилиндром. Таковы были машины *Вильсона* (1746) и английского фабриканта физических приборов *Адамса* (1750; см. рис., здесь, на стр. 90). Преимущество цилиндра перед шаром заключалось в том, что теперь получалась возможность натирать гораздо большую поверхность.



Электрическая машина со стеклянным диском Рамздена 1768 г.

Впервые машина со стеклянным цилиндром была построена в 1746 г. Однако много лет спустя, во время *Пристля* (Priestley, 1733 — 1804), электрическая машина имела все еще стеклянный шар. Такова же была машина *Эйлера* (1760).

Другая особенность машины *Вильсона* — применение вместо металлических нитей „гребенки“ в качестве коллектора. Здесь использовано франклиново открытие свойств острия собирать электричество.

Машина со стеклянным диском впервые была построена в 1755 г. *Плантой*⁷. Однако еще в конце XVIII в. мы встречаемся с машинами, в которых натирается цилиндр. Такова, например, машина *Нэрна* (Nairne), построенная в 1773 г. В ней вырабатывалось и положительное и отрицательное электричество, которое собиралось при помощи гребенок в особые кондукторы.

Чтобы закончить историю электрической машины трения, нам остается упомянуть о последнем усовершенствовании, внесенном *Кантоном* (Canton, 1718 — 1772), который, открыв в 1762 г., что стекло сильно электризуется при натирании ртутью⁸, стал покрывать кожаные подушки *амальгамой*.

Электрическая машина трения, совершенствуясь постепенно, сделалась машиной смешанного типа, где одинаково пользовались и электричеством, вырабатываемым трением, и электричеством *через влияние* (применение гребенок).

Наиболее типичной машиной трения долгое время была машина *Рамздена*, которому историки физики одно время приписывали инициативу замены цилиндра диском, может быть, потому, что машина Рамздена была первая машина с диском, построенная в *Англии*.

Почему конструкторы отказались от стеклянных шаров и цилиндров?

Прежде всего потому, что хороший стеклянный шар или цилиндр изготовить труднее и дороже.

Кроме того, в летописях истории электричества отмечены случаи, когда вследствие неравномерного нагревания (от трения) цилиндры и шары часто лопались. Стеклянный же диск оказался более прочным.

Просматривая вновь электрические машины 1663 г. (Герике), 1706 г. (Хоксби) и т. д., мы замечаем, как постепенно металл сменяет дерево. К концу XVIII в. обработка металлов в связи с появлением „суппорта“ настолько упростилась, что латунь начала вытеснять дерево, и физические приборы все более и более приближаются к современным⁹.

С открытием того факта, что цилиндр электрической машины трения лучше заменить *кругом*, легче было разрешить задачу о постройке мощных электрических машин.

Постройка таких машин представляла для исследователей огромный интерес.

Уже в 1785 г. *ван-Марум* (van Marum) построил для Гаарлемского музея (Голландия) машину с двумя кругами, диаметр которых был 165 см (65 английских дюймов). Круги отстояли на расстоянии 19 см, и каждый из них имел подушку в 40 см длиной. Машина эта давала искру в 61 см (24 дюйма) длиной и „толщиной с неочиненное перо“. Гаарлемская машина во время работы оказывала влияние на электроскоп уже на расстоянии 12 м. Круг был так велик, что его приходилось вращать двум человекам.

В Англии и во Франции были построены также машины огромных размеров.

Так, знаменитая машина, хранящаяся в Парижском музее (Conservatoire des Arts et Métiers), имеет диаметр в 1 м 85 см!

В Лондонском политехническом институте можно видеть старинную машину трения (1849), диск которой имеет диаметр в 2 м 27 см; вращение диска этой машины производили паровой машиной¹⁰.

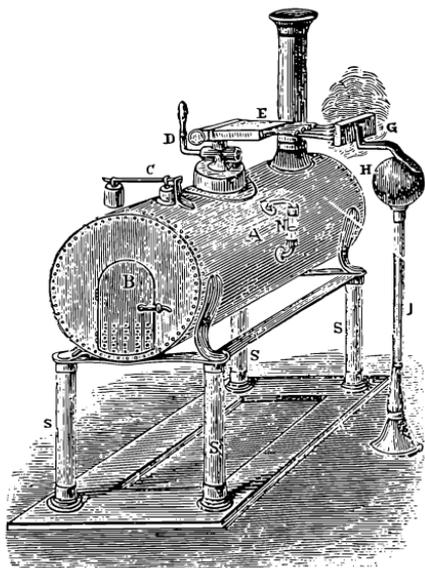
МАШИНА АРМСТРОНГА

Чтобы закончить историю электрической машины трения, нам остается описать здесь одну машину, которая, в отличие от всех предшествующих, вырабатывала электричество струей пара.

В 1840 г. на одном заводе близ Ньюкестля, в Англии, надсмотрщик паровой машины был изумлен, когда однажды, держа случайно руку в струе пара, с силой выходящего из трещины в замазке предохранительного клапана котла, и коснувшись другою рычага клапана с целью регулировать давление, он заметил яркую искру, вылетевшую между рукою и рычагом, и получил сотрясение в руках.

Известный инженер *Армстронг*, получив известие об этом факте, изучил его и пришел к заключению, что он происходил от электричества, развивавшегося, когда пар с трением выходил через трещину. Пар оказался приобретающим положительное электричество. Чтобы повторить опыт

в больших размерах, *Армстронг* распорядился поднять локомотив с рельсов и поставить его на изолирующие подставки. Каждая подставка состояла из двух кусков просмоленного дерева, разделенных слоем смолы и оберточной бумагой. Вода в котле была доведена до кипения. Пока пар оставался заключенным, котел не обнаруживал признаков электричества, но как только стали пар выпускать, котел сильно наэлектризовался отрицательным электричеством. Искры были, правда, не длиннее дюйма, но очень широки и блестящи; их действие было сходно с действием обыкновенной лейденской банки.



Электрическая машина *Армстронга* 1843 г., где используется струя пара, вытекающая из отверстий, как источник электричества.

вода при этом должна быть чистая, пар не должен быть сухим и пр.¹¹.

На основании такой электризации *Армстронг* и построил в 1843 г. свою электрическую машину¹².

В этой машине пар, образующийся в котле, выходит через ряд отверстий, в которые вставлены деревянные трубочки с изогнутым каналом. Струя пара здесь используется как источник электричества.

При работе такой машины котел электризуется отрицательно, а положительное электричество при помощи изолированной латунной гребенки собирается на кондукторах.

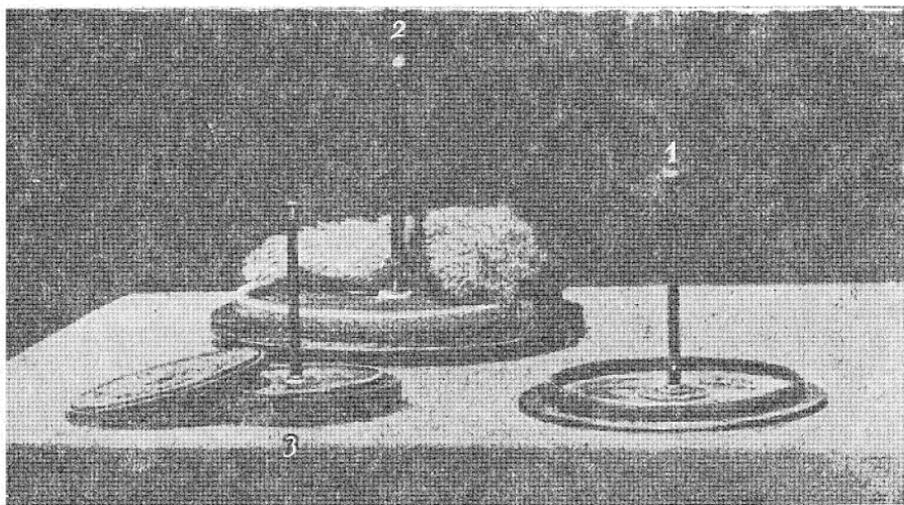
Котел машины, построенной *Армстронгом* для Лондонского политехнического музея, имел 2 м длины и 1,1 м в поперечнике.

ПЕРВЫЕ ЭЛЕКТРОФОРНЫЕ МАШИНЫ

Основанием для постройки таких машин послужил „электрофор“ или, как его назвал сам изобретатель Вольта, „elettrophoro perpetuo“, что значит „постоянный носитель электричества“.

В постройке машин этого рода использована электризация посредством индукции, в то время как в машинах другого рода, изученных нами, использовано получение электричества путем трения.

„Инструмент этот,—значится в письме из Вены к редактору „Физического журнала“, через который открытие сделалось известным во Франции,—принадлежит к числу самых простых, но производит удивительные действия. Изобретен он в 1775 г. итальянским дворянином из Комо, Александром Вольтою. Весь снаряд состоит



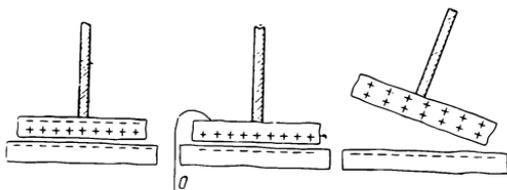
Электрофоры, построенные самим Вольтою (фотография). (Рисунок из соч. „Raccolta Voltiana“, 1899 г.)

из двух металлических досок; одна из них должна быть покрыта слоем смолы (d'une couche de poix resin) около полуторы линии толщиной. Другая снабжена тремя шелковыми шнурами, чтобы можно было ее легко положить на смоляной слой и поднять, не прикасаясь. Когда хотят пользоваться этим прибором, то натирают смоляную (resineuse) доску рукой или кожаной перчаткой, или мехом, затем помощью шелковых шнуров переносят на нее другую доску. Далее следует коснуться концом пальца краев как той, так и другой металлической доски, — обыкновенно достаточно коснуться верхней и поднять ее на высоту 8 или 9 дюймов. Из нее можно будет, приближая сустав пальца, извлечь сильную искру, если только края ее не остры. После первого опыта вновь опустите верхнюю доску на смоляной слой, вновь коснитесь краев той и другой доски концами пальцев и подымите верхнюю, — она даст вам новую искру при приближении сустава пальца. Опыт можно повторять сколько

угодно раз, не имея надобности прибегать к новому натиранию смоляного слоя. Можно даже оставить снаряд на целый день и даже на много дней, не опасаясь, чтобы он потерял силу¹³.

Тот же редактор вскоре получил письмо от самого Вольты. В письме говорится, что Вольта пытался устроить свой электрофор из полусфер, из конусов, и наконец рассказывает о „своем большом электрофоре“.

„Эта машина, которую я соорудил по возвращении моем на родину, имеет диаметр в два фута; действие снаряда удивительно. Вообразите себе, что я нередко извлекаю из него искры в десять



Схема, объясняющая работу электрофора Вольты: при натирании нижнего (смоляного) круга мы заряжаем его отрицательно. Если положить на него изолированный металлический круг, то последний зарядится через влияние, как показано на первом левом рисунке. При отведении несвязанного электричества в землю (второй рисунок), круг можно поднять (третий рисунок), и он окажется заряженным положительно. Этот процесс можно повторить несколько раз, не возобновляя заряда смоляного круга. Круг смоляной и металлический не прикаснутся всеми своими точками, вот почему в схеме они изображены не строго прямолинейной геометрической формы.

(и на это надо обратить внимание) и производит эффект более превосходный, чем лучшие дисковые и шаровые машины¹⁴.

Как объяснить это удивительное свойство электрофора?

Достаточно припомнить законы электричества через влияние, открытые Эпинуссом (см. стр. 61—64), для того чтобы уяснить себе, на чем основана неистощимость смоляного круга. На прилагаемой здесь схеме (см. рис. на данной стр.) можно видеть, что прикосновение металлического круга происходит не во всех точках, и поэтому процесс заряжения совершается через влияние и отведение в землю несвязанного отрицательного электричества на отнятом верхнем круге, что дает возможность надолго сохранить в нем положительное электричество. Электрофор Вольты и послужил, как мы уже сказали, основой для построения особых машин, получивших название „электрофорных“.

* „Observ. sur la physique“, vol. VIII, стр. 21.

В то время, когда писались эти строки, существовали лишь машины трения, в которых натирался шар (Герике, Эйлер) или диск (машина Планты, 1755 г.).

или двенадцать толщин пальца и даже более... Не думайте, чтобы для получения этих удивительных действий требовалась погода, особенно благоприятная для электрических опытов. Они обнаружались почти в полной силе в туманные и дождливые дни. Требовалась лишь одна предосторожность — вытирать шнуры, держащие щит“ (l'écu).

Вольта указывает далее, что его электрофор продолжал работать спустя три дня после натирания и пр.

„Отсюда можно заключить, — говорит он, — что только моя машина дает возможность получить электричество во всякую погоду

Попытки использовать электрофор в электрических машинах начались вскоре же после его появления.

Лихтенберг устроил в 1778 г.¹⁴ „двойной электрофор“, состоявший из одного металлического диска и двух смоляных кругов, из которых один электризовался путем трения, другой же оставался ненаэлектризованным. Если металлический диск помещать последовательно на эти два круга, то второй может наэлектризоваться противоположным электричеством через влияние.

Лихтенберг и Вольта заметили, что это явление можно использовать для увеличения электрического заряда, если от второго круга зарядить диск отрицательно и сообщить его первому и т. д.

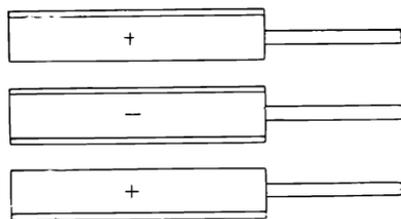
Еще лучше был построен¹⁵ „дубликатор“ Беннета (Bennet), состоявший из трех равных кругов a , b , c , из которых a являлся коллектором и мог быть соединен с электроскопом. Круг a покрыт лаком (изолирован) сверху, круг b — с обеих сторон, круг c — снизу.

Такой прибор может служить для усиления и распознавания слабых зарядов. Заряжаем слабым зарядом (пусть он положителен) круг a . Приблизив довольно плотно к нему круг b , мы этот последний электризуем через влияние; касаясь затем круга b пальцем, мы отводим из него положительное электричество в землю и тем самым заряжаем его отрицательно.

Приблизив затем круг b к кругу c и коснувшись круга c пальцем, мы заряжаем его положительно. Если затем положить круг b на круг a , то мы можем, как в конденсаторе, сообщить кругу a часть заряда круга c (см. схему, на данной стр.) и тем самым усилить заряд круга a . Этот процесс можно повторить много раз.

Никольсон (Nicholson, 1753—1815) превратил аппарат Беннета в машину, которую он называл „вращающимся удвоителем“ (revolving doubler)*. Машина Никольсона (см. верхний рис. на стр. 96) состояла¹⁶ из двух изолированных металлических кругов S_1 и S_2 , поставленных вертикально. Перед этими кругами мог вращаться третий круг S_3 параллельно первым двум.

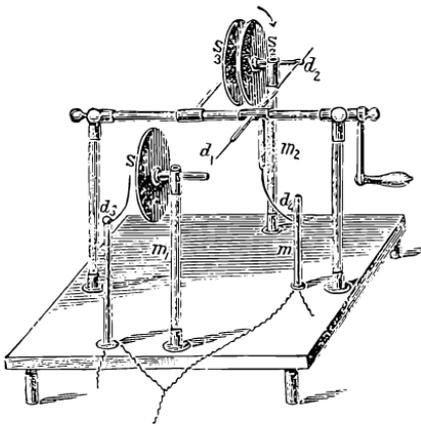
Круг S_1 заряжается (предположим, положительно). В тот момент, когда вращающийся круг S_3 оказывается напротив круга S_1 , положительное электричество круга S_3 при помощи упругой пружины d_3 отводится к земле. S_3 оказывается заряженным отрицательно. Когда S_3 повернется на 180° и очутится перед кругом S_2 , он окажется при помощи проволоки d_1, d_2 и упругой



Схема, объясняющая работу „дубликатора“ Беннета (1787 г.). Круг a покрыт лаком сверху; круг b покрыт лаком, как изолятором, с обеих сторон; круг c — покрыт лаком снизу.

* В машинах этого рода — в дубликаторах — либо заряд, возбуждающий в движущемся проводнике индукцию, остается постоянным, либо первоначальный заряд при работе машины увеличивается. При движении проводника одно из возбужденных электричеств передается кондуктору.

пружины d_1 отведенным к земле и потому зарядится *положительно* (этот момент изображен на рисунке). Таким образом, круг S_3 заряжается попеременно отрицательно и положительно.



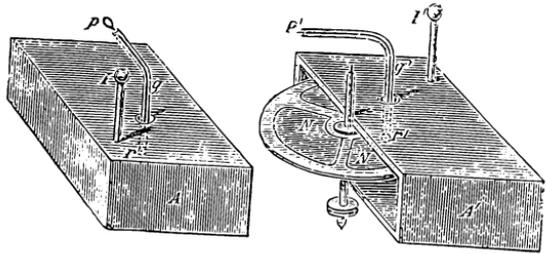
Машина Никольсона (1788 г.) — „удвоитель“, позволяющий, используя электричество через влияние, усиливать заряд на круге и, таким образом, узнавать знак очень слабого заряда. (Рисунок из „Gesch. der Electricität“ — Albrecht'a.)

При дальнейшем повороте на 180° , благодаря тому, что конец d_2 длиннее конца d_1 , оба круга S_1 и S_2 окажутся соединенными проволокой d_1d_2 . Отрицательное электричество круга S_3 , появляющееся в тот момент, когда S_3 проходит мимо S_1 , *притянет* положительное электричество с круга S_2 , и круг S_1 зарядится *еще больше положительно*.

Повторяя этот процесс несколько раз одним вращением ручки, мы можем как угодно усилить заряд на круге S_1 .

На машину Никольсона 1788 г. мало кто обратил внимание. Много лет спустя, в 1831 г. итальянец *Белли* (Bellì) строит уже настоящую „электрофорную машину“¹⁷.

В машине Белли (см. нижний рис. на данной стр.) насаженная на вертикальную ось стеклянная шайба имеет наклейки в виде станиолевых секторов N , которые не соприкасаются друг с другом. Шайба окружена со всех сторон разделенным на две части AA' ящиком с двойными жестяными стенками, внутренняя и внешняя стороны которых тщательно изолированы друг от друга эбонитом. Внутренние стенки соединены изолированными от внешней стороны металлическими проводами I и I' . Через небольшие отверстия в верхней стенке половинок ящика выходят изолированные провода pqr и $p'q'r'$, которые несут на себе щетки, скользящие по наклейкам стеклянной шайбы. Пользуясь металлическим проводом I , заряжают положительно внутреннюю часть стенки A . Тогда, если отвести провод pqr к земле, секторы N зарядятся отрицательно. Если вращать круг, секторы N достигнут щетки $p'q'r'$, которая предварительно была соединена с внутренней стороной половины A' ; последняя зарядится также *отрицательно* и притом при вращении круга все сильнее и сильнее.



Машина Белли 1831 г., использующая электричество через влияние. (Рисунок из сокр.: „Geschichte der Electricität“ — Albrecht'a.)

Как только заряд окажется достаточно сильным, меняем соединения.

Теперь обкладки N соединяются с землей, когда они находятся в половине A' (для этого отводим к земле провод $p'q'r'$), и также с внутренней стороной A , когда эти обкладки находятся в половине A (для этого щетка pqr соединена с внутренней стороной A). Вследствие этого эта последняя заряжается *положительно*, так как секторы N заряжены положительно.

Такую переменую мы производим несколько раз, пока стенки A и A' не зарядятся достаточно сильно. Тогда мы изолируем обе внутренние стенки и один провод, например $p'q'r'$, соединяем с землей, другой — pqr — с телом, которое надо наэлектризовать

ЭЛЕКТРОФОРНАЯ МАШИНА ТЕПЛЕРА, МАШИНА ГОЛЬЦА 1865 г. И ЭЛЕКТРОФОРНЫЕ МАШИНЫ ДРУГИХ КОНСТРУКЦИЙ

Машина *Теплера* была построена в 1865 г.¹⁸ По идее она напоминает машину Никольсона и Белли, так как ее работа основана на электричестве через влияние. Здесь стеклянный круг служит для наклейки на него листового олова. Два „вращающихся электрофора машины Никольсона“ помещены на одной оси.

На нашем рисунке и в приведенной схеме (стр. 98) отдельные части обозначены одними и теми же буквами. причем на схеме пластинки изображены полуцилиндрами. Схема и рисунок позаимствованы из курса проф. Хвольсона (т. IV, стр. 226, 227).

Проследим явления, происходящие при одном повороте круга.

Пусть неподвижная пластинка A' заряжена отрицательно. Две пластинки A и B вращаются около оси P , касаясь щеток f и e . Когда B передвинется направо, на ней индуктируется $(+)$, а $(-)$ через f уходит к шарикку s ; когда B примет положение A , ее соединение с f и s прекращается. Затем пластинка B приходит в соприкосновение со щеткой e , и весь ее заряд уходит через e к шарикку u . Те же явления повторяются при каждом полном обороте как пластинки B , так и пластинки A . Для того чтобы не только поддерживать, но и увеличивать действующий заряд пластинки A' , служит вторая часть прибора, являющаяся по существу повторением первой. Индукция производится *положительным* зарядом пластинки a' ; пластинки a и b приобретают $(-)$, пока они касаются щетки f' , причем $(+)$ уходит в землю. Потом они передают свой $(-)$ щетке e' , когда они касаются этой щетки. Отрицательное электричество переходит из e' на пластинку A' , увеличивая ее заряд. Положительный заряд пластинки a' в процессе работы машины получается боковым ответвлением от проводников ev *.

Почти одновременно с первой машиной Теплера была построена машина *Гольца* (апрель 1865 г.)¹⁹, которая применяется в широких размерах и теперь.

* По „Курсу физики“ проф. Хвольсона; т. IV, стр. 226, изд. 1923 г.

Машина Гольца (Holtz, 1836—1913) состоит из *двух* кругов: *неподвижного*, имеющего две вырезки, и *подвижного*.

На краях этих вырезок с задней стороны имеются бумажные

накладки с острями, направленными в противоположную сторону. Против накладок с другой стороны подвижного диска находятся металлические гребни с острями. Эти гребни соединены с кондукторами, которые могут раздвигаться. На ось круга насажен также так называемый диаметральный кондуктор с зубчиками.

Чтобы зарядить машину, надо сначала сблизить подвижные кондукторы до соприкосновения, затем сообщить заряд (например отрицательный) одной из бумажек посредством каучуковой пластинки, потертой мехом, и начать вращать круг (против заостренных бумажных полосок).

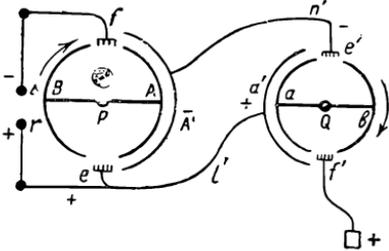
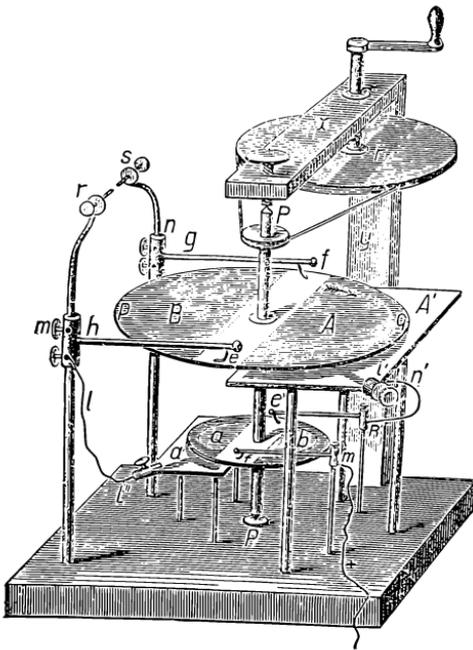
Тогда под влиянием отрицательного заряда бумажки из ближайшей гребенки будет вытекать на стеклянный круг *положительное* электричество, а из удаленной — *отрицательное* электричество, которые и будут переноситься вместе с кругом, подобно тому, как это происходит во „вращающемся удвоителе“ Никольсона.

Что же будет происходить при вращении круга?

Положительное электричество на круге, приближаясь к язычку второй бумажки, вытянет из него отрицательное электричество и зарядит бумажку плюсом.

Отрицательное электричество на круге, подступая к первой бумажке, зарядит ее еще сильнее отрицательным электричеством.

Будет продолжаться усиление зарядов, и вскоре мы сможем раздвинуть кондукторы, на которых соберется разного рода электричество. Если эти кондукторы соединить с лейденскими банками, то будет происходить разряд в виде искры. При диаметре круга до 60 см можно получить искры до 20 см!



Электрическая машина Теплера. Вверху — внешний вид. Внизу — схема объясняющая ее работу.

После появления машин Теплера и Гольца было построено много других машин.

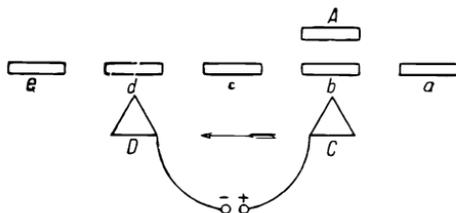
Вот далеко неполный их список:

В том же 1865 г. была построена машина *Блекрода*²⁰, затем в 1871 г. — машина проф. *Ф. Н. Шведова*²¹, в 1884 г. — *Вимсхерста* (Wimshurst)²², в 1880 г. — *Фосса*²³ и пр.

Все электрофорные машины можно было бы изобразить схематически следующим образом:

Представим себе (см. схему на этой странице, 99) кондуктор *A*, заряженный положительным электричеством. Перед ним пронесется по указанию стрелки ряд кондукторов *a, b, c, d, e, ...*, отделенных один от другого непроводниками.

В *C* помещается изолированный кондуктор, обращенный острием к *A*. Положительное электричество *A*, влияя на *C*, привлечет к острию *C* отрицательное электричество, которое сядет на *b* и сообщит ему отрицательный заряд.



Схема, объясняющая работу электрофорных машин.

При движении наших кондукторов от *a* к *e* то же самое будет происходить со всеми последующими кондукторами. Кондуктор *C* будет при этом заряжаться положительным электричеством.

Если заряженные таким образом (отрицательно) кондукторы *a, b, c, ...* подойдут к другому кондуктору *D*, то они притянут к острию *D* положительное электричество, которое будет выходить из острия и садиться на проходящие мимо него кондукторы *d, c, b, ...*. Последние будут при этом разряжаться. В *D* же будет собираться отрицательное электричество.

Описанная нами сейчас машина работала бы слабо, так как кондуктор *A* мало-помалу потерял бы свой заряд. Для усиления заряда *A* в различных машинах прибегают к различным способам. Самую же идею двигающихся кондукторов *a, b, c, d, ...* осуществляют, помещая их на стеклянном или эбонитовом круге.

Литература

- 1 Gerland, Geschichte der Physik, München 1913, стр. 507.
- 2 Encyklop. Brittan., IX изд., т. VIII, стр. 4.
- 3 Bose, Tentamina Electrica, 1744, т. I, стр. 322 и сл.
- 4 Winkler, Gedanken von der Eigenschaften der Electricität, 1744.
- 5 „Письма Эйлера“, СПб. 1790, стр. 315.
- 6 Ibid., стр. 320, 321.
- 7 Gehler, Phys. Wörterbuch., 2 Aufl., т. III, стр. 431.
- 8 „Phil. Trans.“, т. 52 (1762), стр. 461.
- 9 Ленц, Руководство по физике, 1856, т. 2, стр. 133.
- 10 Figuièr, Les Merveilles de la Science, т. 1, Paris, стр. 487.
- 11 Faraday, Exp. Res., серия XVIII.
- 12 „Phil. Mag.“, т. 23 (1843); „Mech. Mag.“, т. 43 (1845), стр. 64.
- 13 Volta, Sull'eletrôforo perpetuo, 1775.

Мы пользовались физическим журналом: „*Observation sur la Physique*“, VII, (1776), стр. 501, где электрофор описан.

¹⁴ *Albrecht*, *Geschichte der Electricität*, Wien-Leipzig 1885, стр. 53.

Lichtenberg, *De nova mêtodo*, 1778.

¹⁵ „*Phil. Trans.*“, т. 77 (1787), стр. 228.

¹⁶ *Nicholson*, „*Journal of natural philosophy chemis, and the arts*“, 1789.

¹⁷ „*Annali delle Scienze del regno Lonib*“, Venet 1831, стр. 11.

¹⁸ „*Pogg. Ann.*“, т. 125 (1865), стр. 469.

¹⁹ *Ibid.*, т. 131 (1867), стр. 229.

²⁰ *Ibid.*, т. 126 (1865), стр. 157.

²¹ *Ibid.*, т. 144 (1871), стр. 597.

²² *E. T. Z.*, т. 5 (1884), стр. 328.

²³ „*Dingl. Journ.*“, т. 237 (1880), стр. 476.

Глава одиннадцатая

ОПЫТЫ ГАЛЬВАНИ И ВОЛЬТЫ

ОПЫТЫ ГАЛЬВАНИ

Если мы заглянем в летопись открытий, то мы увидим, что после таких событий, как открытие *лейденской банки* (1745) и *атмосферного электричества* (1749), наступает остановка в развитии учения об электричестве.

Закон Кулона о взаимодействии зарядов (1785) давал возможность облечь исследование по равновесию электричества на проводниках в математическую форму. Работа физиков, занятых вопросами электричества, была направлена по преимуществу к исследованию вопросов электростатики при помощи высшего анализа, используя понятие „потенциал“.

Конец XVIII столетия ознаменовался крупным событием в истории электричества. Мы разумеем здесь открытие *Гальвани* (Galvani, 1737—1798), итальянского профессора анатомии в Болоньи, его знаменитый „опыт с лапкой лягушки“.

Рассказы об этом открытии чрезвычайно многочисленны и различны.

Вот как сам Гальвани описывает свои замечательные исследования в сочинении: „Об электрических силах в мускуле“* („De viribus electricitatis in Motu musculari“), вышедшем в 1791 г.:

„Препарировав лягушку, я положил ее на стол, где на некотором расстоянии стояла электрическая машина. Случайно один из моих ассистентов дотронулся до нерва лягушки концом



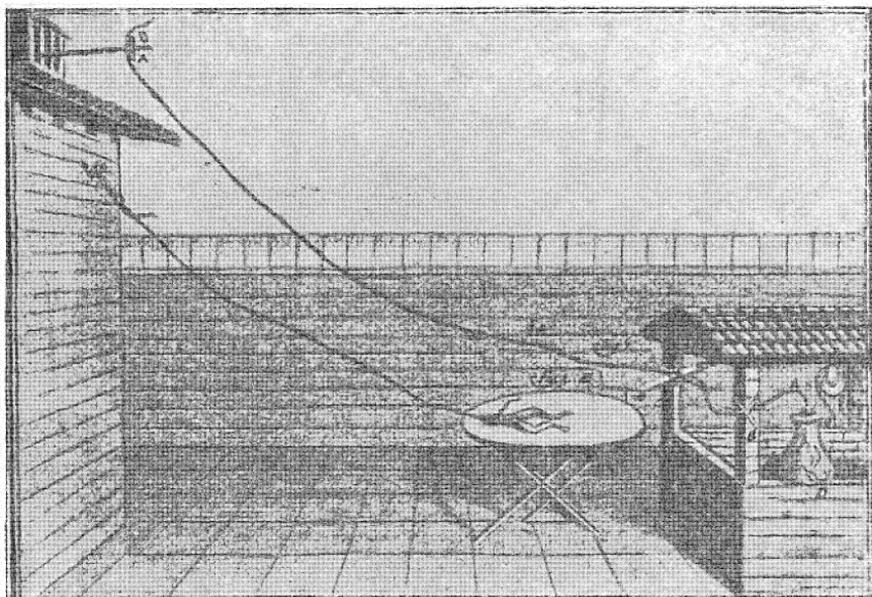
Гальвани (1737—1798). Гравюра из „Portain. Makers of Electricity“.

* К сожалению, нам не удалось иметь подлинник этого сочинения, и мы пользовались немецким переводом этого мемуара, который мы приводим ниже по Ostw. Klass., № 52.

скальпеля, в то же время мускулы лапы содрогнулись как бы от конвульсии.

Другой из помощников, который обыкновенно помогал мне в опытах по электричеству, заметил, что это явление происходило только тогда, когда из кондуктора машины извлекалась искра. Я был занят в это время совсем другим; но, когда он обратил мое внимание на это, я пожелал попробовать сам и открыть его причину. Всякий раз, как я дотрагивался скальпелем до нерва лягушки, а кто-либо другой извлекал искру из машины, то же явление повторялось так же, как и прежде“.

Заинтересованный открытым явлением, Гальвани пожелал узнать, не является ли причиной этого вздрагивания лапки атмосферное электричество.



Опыт Гальвани 1786 г., при помощи которого он мог обнаружить приближение грозы. Провод являлся по существу антенной. (Рисунок из „De viribus Electricitatis etc.“, 1791 г.)

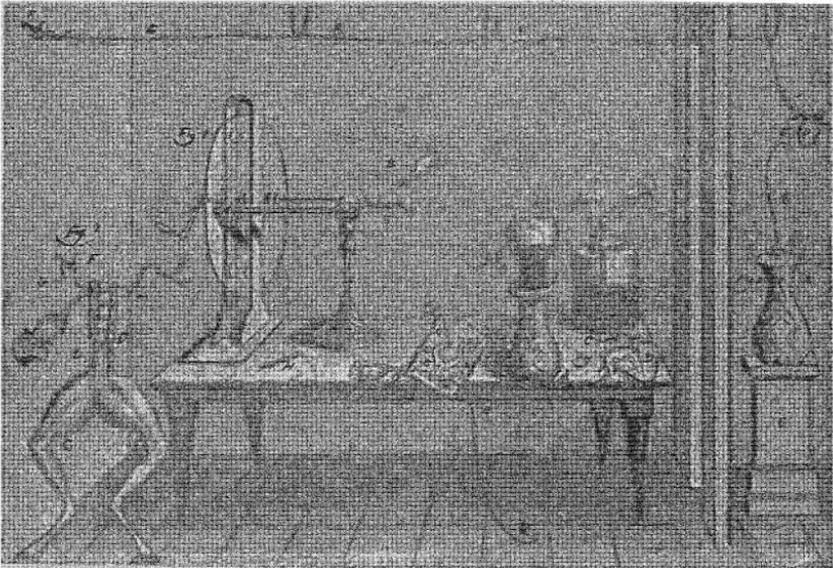
Для этого нерв лапки был приведен помощью проволоки в сообщение с изолированным железным шестом, выставленным на крышу; другая проволока шла от лапки в землю. Не только во время молнии, но и вообще когда „близко проходили грозовые облака“, нередко замечались содрогания.

„После успешных опытов во время грозы я пожелал, — пишет Гальвани, — обнаружить действие атмосферного электричества в ясную погоду. Поводом для этого послужило наблюдение, сделанное мною над заготовленными лапками лягушки, которые, зацепленные за спинной нерв медным крючком, были повешены на железную ре-

шетку забора моего сада: лапки содрогались не только во время грозы, но иногда, когда небо было совершенно ясно. Подозревая, что эти явления происходят вследствие изменения атмосферы в течение дня, я предпринял опыты.

В различные часы в продолжение ряда дней я наблюдал нарочно подвешенную на заборе лапку, но не обнаружил каких-либо движений в ее мускулах. Наконец, утомленный в напрасном ожидании, я прижал медный крюк, который был продет через спинной мозг, к железным перилам с целью заметить какие-либо сокращения при изменении случайных условий опыта. Я наблюдал иногда сокращения лапки, но, повидимому, они не находились в связи с электрическим состоянием атмосферы.

Однако, в то время, когда я производил опыт под открытым небом, я был склонен принять теорию, что сокращения возникают



Опытный стол Гальвани. (Рисунок из соч. Гальвани, 1791 г.)

вследствие атмосферного электричества, которое, постепенно проникнув в животное и собравшись в нем, неожиданно разряжалось, когда крючок приходил в соприкосновение с железными перилами. Так легко обманываем мы себя при опытах и думаем, что действительно видели то, что желаем видеть.

Когда я перенес лягушку в комнату и положил на железную дощечку, и когда я прижал медный крючок, который был продет через спинной нерв, к дощечке, те же спазматические содрогания были налицо.

Я производил опыт с разными металлами в различные часы дня в разных местах, — результат был один и тот же, разница был

в том, что *содрогания были более сильные при одних металлах, чем при других* *.

Затем я испытывал различные тела, которые не являются проводниками электричества, например стекло, смолу, резину, камень и сухое дерево.

Явлений не было.

Это было несколько неожиданно и заставило меня предположить, что *электричество находится внутри животного* **. Это подозрение усилилось наблюдением, что нечто вроде тонкой нервной жидкости (подобно электрическому разряду в лейденской банке) совершает переход от нервов к мускулам, когда происходит содрогание.



Вольт (1745—1827).

Например, в то время как я одной рукой держал препарированную лягушку за крючок, продетый через спинной нерв, так что она касалась лапками серебряной чашки, а другой рукой касался крышки или боков помощью какого-либо металлического предмета, я к своему удивлению увидел, что лапка лягушки сильно содрогалась всякий раз, как я повторял этот опыт¹.

Наблюдения эти привели Гальвани к убеждению, что существует особый вид электричества, присущий организму животных. Открытое явление рассматривалось им как разряд „лейденской банки“.

Гальвани было 54 года, когда он сделал свое открытие.

ИССЛЕДОВАНИЯ АЛЕКСАНДРА ВОЛЬТЫ

Опыт Гальвани произвел сенсацию не только среди физиков, физиологов и врачей, но и среди широкой публики.

Всех заинтересовало то, что нервы и мускулы незадолго до того убитого животного оказываются чувствительными к действию разряда. И это жизненное проявление после смерти возбудило надежду на приближение к разгадке тайны жизни! Где только были лягушки, каждый хотел собственными глазами убедиться в „оживлении“ отрезанного члена. Физиологи думали, что им удалось найти жизненную силу; врачи видели в ней удивительное средство исцеления.

* Выделено мною (В. Л.), чтобы отметить, на что обратил внимание Вольт при своих исследованиях.

** Выделено мною (В. Л.), чтобы отметить сущность теории Гальвани.

Но это наблюдение Гальвани не привело, однако, к более глубокому пониманию физиологами деятельности нервов и мускулов.

Среди физиков по поводу опыта Гальвани возник горячий спор.

Одни примкнули к Гальвани, считая „гальванизм“ „жидкостью“, отличною от обыкновенного электричества, другие отождествляли „гальванизм“ с электрическою жидкостью, наконец, третьи отрицали присутствие электричества в нервной системе. В числе этих последних находился *Вольт* (Alessandro Volta, 1745—1827), профессор университета в Павии.

Исследования Вольты привели к новым, еще более замечательным открытиям².

„Повторив опыты Гальвани и убедившись в их справедливости, я решился, — пишет Вольт, — исследовать их подробно не только с качественной, но и с количественной стороны... Что можно сделать хорошего, особенно в физике, если не сводить все к мере и степени?“

Я нашел, что очень слабого электричества достаточно, чтобы произвести не только малые движения и конвульсии, но сильные скачки и содрогания всех членов, особенно ног. Неимоверно слабое электричество производит такое действие на лапки, приготовленные по способу Гальвани... Электрическая сила, не могущая дать малейшей искры, не оказывающая действия на чувствительнейшие беннетовы электроскопы, производит сильнейшие содрогания в лапках. Приготовленная по способу Гальвани лягушка есть „чувствительнейший электрометр“³.

Обнаружив замечательную чувствительность лягушки для электрических разрядов, Вольт перешел к вопросу о том, откуда берется электричество в опыте Гальвани. Вольт вскоре пришел к заключению, что лапки лягушки в опыте Гальвани — „чувствительный электрометр“, электричество же возбуждается просто *от соприкосновения двух разнородных металлов*.

„Можно ли, — спрашивает Вольт*, — электричество (действующее в опыте Гальвани) считать принадлежащим самому органу и первоначальному? Не вероятнее ли во много раз, что органы служат только проводниками и суть очень чувствительные электрометры, действуют же собственно металлы. Не вероятнее ли, именно, что в местах соприкосновения металлов электрической жидкости дается импульс, и они суть не простые проводники, но двигатели или возбудители электричества. Что, говорю я, вероятнее! *Вполне очевидно*, что действие зависит от металлов и их разного строения, ибо для удаи опыта необходимо, чтобы металлы были разнородны. Вместо того, чтобы говорить „животное электричество“, мы с неменьшим правом можем сказать „металлическое электричество“. Не возражайте, что иногда получают движения препа-

* При изучении трудов Вольты по электричеству мы пользовались собранием сочинений Вольты: „Collezioni dell'Opere del Cavaliere“, — Alessandro Volta, Firenze 1816, а также немецким переводом главных мемуаров Вольты: Ostw. Klass, № 114 и 118.

рата Гальвани, когда для соединения частей служат одинаковые металлы — серебро и серебро, олово и олово, железо и железо. Явление обнаруживается — и то не всегда — в первые минуты, пока наилучше препарированное животное имеет сильную возбудимость, так что чувствительно к малейшему действию. Но можно ли утверждать, что употребляемые при сем металлы вполне одинаковы? Они таковы по имени, а не по сущности; случайные свойства, каковы твердость, мягкость, гладкость и глянец поверхности, теплота и пр., могут по отношению к электрическому действию, а именно по отношению к способности приводить электричество в движение в месте прикосновения с жидкими частями, быть вполне достаточными причинами различия⁴.

Как мы видим, Вольт объяснил конвульсии лягушки просто *соприкосновением двух разнородных металлов*. Сначала он пытался соединить эту „теорию металлов“ с присутствием определенного „животного электричества“, но потом с 1793 г. Вольт стал отрицать его совершенно.

Основываясь на таких представлениях, он и начал разрабатывать свою теорию, продолжая производить все новые и новые опыты.

Вскоре Вольте удалось добиться прямого доказательства справедливости своей теории. Ему удалось в 1795 г. показать на опыте с помощью электроскопа, что *два соприкасающихся металла или металл, касающийся жидкости*, взаимно электризуются. Поводом для этих исследований послужило одно физиологическое явление, вызванное током. Именно по способу, аналогичному с опытом *Зульцера*^{*}, Вольте удалось, прикладывая два разнородных куска металла ко рту и глазу, вызвать субъективное ощущение света.

Вот как описывает Вольт этот опыт⁴:

„Четверо или несколько человек, изолированных, — для чего достаточно, чтоб они стояли ногами на каменном полу, если он сух, — приводятся в проводящее соединение, причем один пальцем касается кончика языка соседа, этот же своим пальцем — глазного яблока следующего; двое других держат мокрыми руками один — ноги, другой — позвоночник препарированной лягушки. Первый в ряду берет во влажную руку цинковую пластинку, последний же — серебряную и приводят их в соприкосновение. Тотчас тот, которого касается своим пальцем держащий в другой руке цинк, почувствует кислый вкус; тот, до чьего глаза касается палец соседа, заметит как бы свет; лягушка придет в содрогание“.

Этим опытом Вольт убедился, что металлы являются в этих явлениях не просто лишь проводниками электричества, а истинными возбудителями этой силы.



Электроскоп с конденсатором, изготовленный Вольтю (фотография с оригинала). (Рисунок из „Raccolta Voltiana“, 1899 г.)

^{*} В 1651 г. (см. летопись в конце книги).

При своих опытах Вольта пользовался электроскопом „с конденсатором“.

Приводимый на стр. 106 рисунок представляет собой фотографический снимок с изготовленного самим Вольтой прибора*.

Прибор этот дает возможность не измерить, а обнаружить в каком-либо теле присутствие весьма слабого напряжения электричества; для этого данное тело приводят в соприкосновение с одной из пластинок (нижней), другую пластинку сообщают с землею, прикладывая к ней слегка смоченный палец.

Электричества скопляются тогда на обеих пластинках совершенно так же, как в конденсаторе.

Свой опыт Вольта описывает следующим образом⁵:

„Приведем во взаимное соприкосновение дощечки разных металлов, к которым приделаны изолирующие ручки, служащие для того, чтобы разделять дощечки и подносить их к электроскопу. Две дощечки, одна серебряная, другая цинковая, ровные и отполированные, что независимо от электрической силы делает их способными служить в качестве конденсатора, будучи приложены одна к другой, обнаруживают при разделении *положительное* электричество на цинке, *отрицательное* — на серебре.

Так как явление имеет место без всякого посредства какой-либо влаги, то какой иной причине приписать перемещение электрической жидкости, как не прикосновению металлов различной природы?“

Показав непосредственным опытом электризацию через соприкосновение, Вольта стал исследовать зависимость соприкосновения от характера металлов.

При опытах оказалось, что когда *медь* соприкасалась с *цинком*, *оловом* или *железом*, то она заряжалась *отрицательно*; при соприкосновении *меди* с *серебром* и *золотом* она получила *положительный* заряд.

Повторяя много раз свой опыт, Вольта установил следующий электродвижущий ряд⁶:

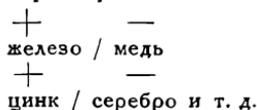
+

Цинк
Станиоль
Свинец
Олово
Железо
Бронза
Медь
Платина
Золото
Серебро
Ртуть
Графит

В этом ряде металлы расположены таким образом, что каждый, придя в соприкосновение с последующим членом ряда, получает

* Рисунок (см. стр. 106) взят из книги: „Raccolta Voltiana“, Como 1899.

положительный заряд, между тем как этот последующий получает отрицательный заряд. Например:



Измеряя с помощью чувствительного электрометра „разность напряжений“, Вольта получил, например, следующие числа:

серебро / медь	1
медь / железо	2
железо / олово	3
олово / свинец	1
свинец / цинк	5

При этом оказалось, что разность напряжения

$$\text{серебро} / \text{цинк} 12 = (1 + 2 + 3 + 1 + 5),$$

т. е. обнаружен важный закон: *разность электрических напряжений двух членов ряда равна сумме разностей напряжений всех промежуточных членов ряда* ($12 = 1 + 2 + 3 + 1 + 5$). Закон этот можно записать символически:

$$A/B + B/C + C/D + D/E + E/F = A/F.$$

Кроме того, опыт показал, что разности напряжений в „замкнутом ряду“ не возникает, т. е.

$$A/B + B/C + C/D + D/A = 0.$$

Например, если цинк соединим со свинцом, последний — с железом, а железо — опять с цинком, электрическая разность выравнивается:

$$\text{цинк} / \text{свинец} + \text{свинец} / \text{железо} + \text{железо} / \text{цинк} = 0.$$

Вот как говорит сам Вольта об открытом им законе*:

„Существует некоторое определенное отношение между металлами . . . касательно силы, с какою они гонят электричество один в другой. Под этим отношением я понимаю, что если, например, серебро гонит электричество в медь с силою, равною 1, медь в железо с силою, равною 2, железо в олово с силою, равною 3, последнее в свинец с силою, равною 1, наконец свинец в цинк с силою, равною 5, то серебро, прикасаясь непосредственно к цинку, должно гнать электричество с силою, равною 12 (сумма отдельных сил)“.

В письме к Грэнзу** Вольта разделяет все проводники на два рода:

„Соприкосновение различных проводников, особенно металлов, включая и другие минералы, равно как и уголь, которые я называю „сухими проводниками“ или „проводниками 1-го класса“, вместе

* Многочисленные опыты Вольты изложены в его письмах к Baronio, Cavallo, Aldint, Vassalli, к Green'у и Banks'у.

** Green был редактором журнала: „Neues Journal der Physik“. Мы пользовались английским текстом письма, опубликованного в „Phil. Mag.“, 4 (1799), стр. 59, 163, 306.

с „влажными проводниками“ или „проводниками 2-го класса“, колеблет или расстраивает электрическую жидкость или дает ей некоторый импульс. Не спрашивайте, какого это рода импульс: достаточно, что это — принцип, и что это — общий принцип“.

Этот импульс, который производится притяжением или другой какой-либо силой, бывает различен, принимая во внимание как различные металлы, так и различные влажные проводники. Поэтому направление или, по крайней мере, сила, с которой электрическая жидкость возбуждается, различна в зависимости от того, соприкасается ли проводник *A* с проводником *B* или другим проводником *C*. В совершенном кругу проводников, — когда один проводник 2-го класса помещен между двумя различными проводниками 1-го класса, или, обратно, один из проводников 1-го класса помещен между двумя проводниками 2-го класса, различными один от другого, — электрический ток имеет место и прекращается только тогда, когда круг прерывается, и вновь возобновляется, когда круг опять становится совершенным. Вольта показал, что в цепи проводников 1-го класса не существует движения электричества; они могут быть расположены в ряд, который обладает вышеуказанными свойствами. Если проводники 1-го класса соприкасаются с проводниками 2-го класса (влажными проводниками), то получается электрический ток.

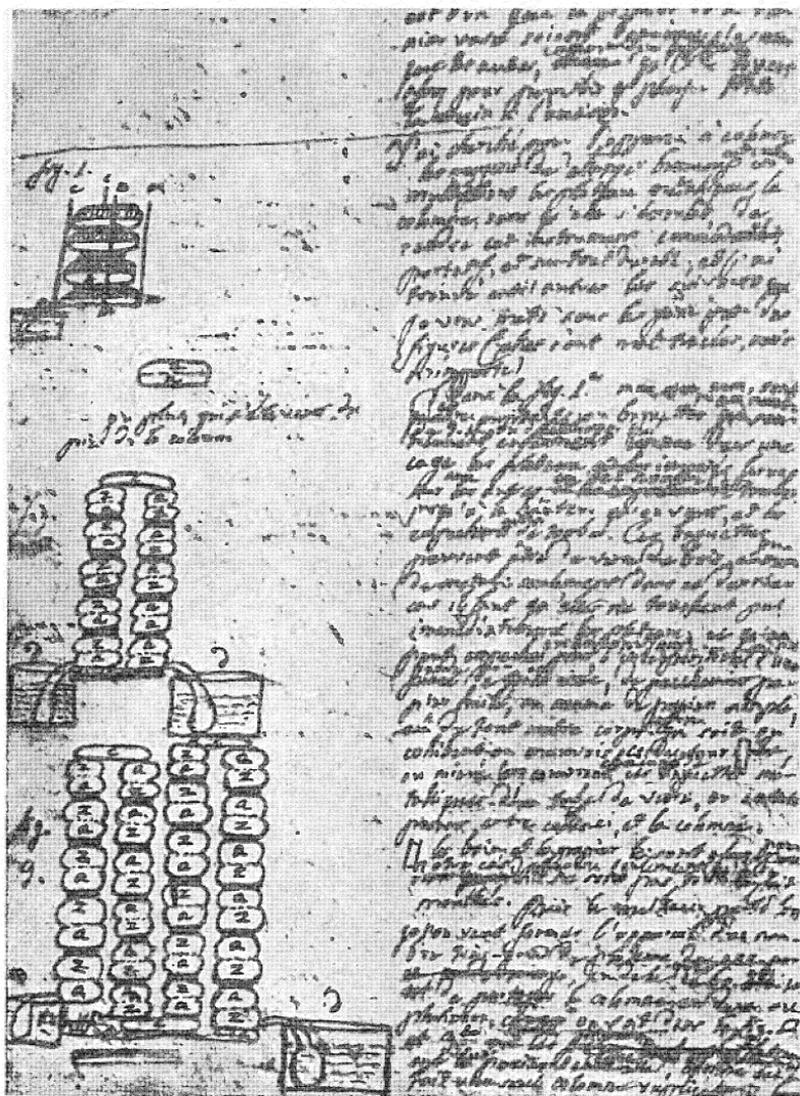
„ВОЛЬТОВ СТОЛБ“

Первое сообщение об этом открытии Вольты мы читаем в его знаменитом письме от 20 марта 1800 г. к Банксу, президенту Лондонского королевского общества⁶:

„После долгого молчания, в котором не смею оправдываться, имею удовольствие сообщить вам, а через вас Королевскому обществу, несколько поразительных результатов, достигнутых мною при исследовании электричества, возбуждаемого простым взаимным прикосновением разнородных металлов или даже иных разных проводников, или жидких, или содержащих какую-либо влагу, которой они обязаны своею проводимостью. Главный результат, вмещающий все другие, есть построение снаряда, сходного по своим действиям с лейденской банкой или, точнее, с электрической батареей, слабо заряженной, но действующею непрерывно, в которой заряд после разряда сам собою восстанавливается. Этот снаряд, одним словом, имеет как бы неисчерпаемый заряд*, оказывая постоянно действие на электрическую жидкость. Но в то же время он существенно отличается от обыкновенной батареи, как этим своим постоянством действия, так и тем, что он составлен единственно из проводников, наилучшим образом подобранных, вместо того чтобы состоять, как обыкновенные электрические банки и батареи, из одного или многих тонких слоев изолирующих тел, обложенных проводниками. Да, снаряд,

* Выделенное нами место из письма показывает, повидимому, что Вольта думал, что он открыл „вечный двигатель“.

о котором говорю, — и это удивит вас, — без сомнения, есть не что иное, как собрание хороших проводников разного рода, расположенных определенным образом. Двадцать, сорок, шестьдесят круж-



Факсимиле письма Вольты от 20 марта 1800 г., где впервые описан „Вольтов столб“. (Из „Raccolta Voltiana“, 1899 г.)

ков меди или, еще лучше, серебра, сложенных каждый с кружком олова или, лучше, цинка, и такое же число слоев воды или какой иной жидкости, лучше проводящей, чем вода, как, например, соляной

раствор, щелок и т. п., или кусков картона, кожи и т. п., хорошо смоченных этими жидкостями, причем такие слои налагаются между каждой парой или соединением двух разнородных металлов, — вот все, что составляет мой новый инструмент, подражающий, как я сказал, действию лейденской банки или батареи, дающий подобные же сотрясения, как и они. Правда, действие снаряда относительно силы стука разряда, его искры и расстояния, на каком оно происходит, значительно слабее действия батареи, сильно заряженной, и равняется только действию очень слабо заряженной батареи. Но зато снаряд имеет громадную емкость* и бесконечно превосходит силу обыкновенных батарей в том отношении, что не нуждается в предварительном зарядении помощью постороннего электричества и может давать сотрясение при каждом прикосновении, надлежащим образом сделанном, сколько бы раз такие прикосновения ни повторялись“.

Снаряд, изобретенный Вольтою, получил название „вольтова столба“. Сам Вольта предлагал назвать его „искусственным электрическим органом“.

При употреблении большого количества кружков Вольта стал делить его на части. Построив свой прибор, Вольта объяснил его действие следующим образом:

„От соприкосновения двух металлов разной проводимости, например серебра и цинка, нарушается равновесие электричеств в обоих металлах. В точке соприкосновения положительное электричество направляется от серебра к цинку и накапливается на последнем в то самое время, как отрицательное сгущается на серебре“⁷.

При наложении друг на друга элементов из серебра и цинка без промежуточного члена цинковые пластинки будут снизу и сверху находиться в соприкосновении с одной и той же серебряной пластинкой, и действие сведется к нулю.

Свободно может проявиться действие только на нижней серебряной и верхней цинковой пластинках, все же лежащие между ними будут простыми проводниками электричеств, а самый столб состоит как бы из одной только пары пластинок.

Для того, чтобы действие отдельных пластинок могло слагаться между собою, нужно ограничить соприкосновение каждой цинковой пластинку одной серебряной; это и достигается тем, что на каждую цинковую пластинку кладут мокрый кружок, отделяющий ее от серебряной, без заграждения пути электричеству. Кружки из третьего металла, вместо жидкого проводника, не пригодны; они бы возбуждали в столбе противоположные токи и до известной степени нейтрализовали бы его действие.

Жидкости, напротив, вследствие малой проводимости дают с металлами весьма ничтожные электрические напряжения, а сочетание проводников первого и второго рода необходимо для того, чтобы столб совмещал в себе действия отдельных элементов.

Как мы видим, Вольта представлял себе, что когда соприкасаются два металла, то в месте соприкосновения возникает „электро-

* Вольта впервые вводит понятие „емкость“.

неудобство, что металлические кружки своим весом выжимали суконные пластинки, так что содержащаяся в них жидкость обмачивала кругом столб и уничтожала его действие. Вольта выдумал такое приспособление, которое бы устраняло это неудобство: он стал вливать жидкость в стаканы и уже в них погружал пластинки *A* (серебро) и *Z* (цинк), связывая их „проводящей дугой“ (см. нижний рис. на стр. 112).

В продолжение всей первой половины XIX в. „вольтов столб“ являлся единственным источником гальванического тока. *Дэви*, *Араго*, *Ампер*, даже *Фарадей* произвели свои открытия, пользуясь источником, открытым Вольтой в 1799 г.

ТЕОРИЯ ФАБРОНИ

В то время как Гальвани объяснял явление с лапкой лягушки „животным электричеством“, присущим организму, т. е. искал физиологические причины, а Вольта, как мы видели, выдвинул „теорию контакта“, т. е. чисто физическую теорию, — другой итальянский физик *Фаброни*, почти одновременно с опубликованием исследований Вольты, а именно в 1799 г.⁸, впервые предложил химическую теорию. Фаброни считал основным источником „гальванической жидкости“ действие металла, главным образом цинка, на жидкости, находящиеся в мускуле лягушки.

На это объяснение в свое время мало кто обратил внимания. Мы увидим, однако, что в начале XIX столетия эта „химическая теория“ нашла себе много сторонников.

Как мы видим, почти одновременно явились три различных точки зрения по поводу „явления с лягушкой“.

По Гальвани (см. нашу схему на данной стр.), электровозбудительная сила находится внутри животного организма (в *G*), рассматривавшегося им как конденсатор.

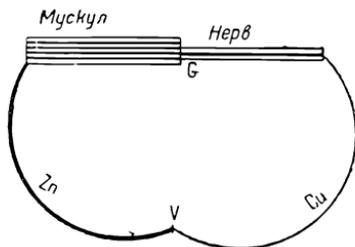
Согласно же теории Вольты, эта электровозбудительная сила проявляется в месте прикосновения разнородных металлов (в *V*).

По Фаброни, причина электризации заключается в химическом действии жидкостей в организме на цинк (в *F*).

Какая же точка зрения верна?

Многочисленные исследования, о которых мы будем говорить во многих местах настоящей книги, показали, что все трое были правы.

Опыты *Нобили* (в 1827 г.), *Маттеучи* и в особенности *Дюбуа-Раймонда* обнаружили, что в мускулах и нервах существуют токи, отличные от нервных токов, и что вообще жизненные явления сопровождаются электрическими процессами.



Схема, объясняющая три теории опыта Гальвани. Буквы *G*, *V*, *F* — начальные буквы от: *Volta*, *Galvani*, *Fabroni*; они указывают, в каком месте считали эти ученые возникновение тока в опыте Гальвани.

Точно так же всякая теория по электричеству должна теперь считаться с тем фактом, что два разнородных металла электризуются при соприкосновении, причем в разных размерах; лорд Кельвин даже показал, как велика эта разность в числах⁹.

Несомненно также влияние химических процессов в электрических явлениях. Сейчас существует целая наука — *электрохимия*.

Л и т е р а т у р а

¹ Ostw. Klass., № 52.

² Ostw. Klass., № 114 и 118.

³ *Volta*, Sull'Electricità animale, II, § 46 и 47.

⁴ „Ann. di chimica“, 1795 (11), стр. 34. Ostw. Klass., № 114, стр. 107.

⁵ „Ann. di chimica“ (11), 1795. Ostw. Klass., № 114, стр. 107. Ostw. Klass., № 118, § 63, стр. 40.

⁶ „Phil. Trans.“, т. 90 (1800), стр. 403.

⁷ Ostw. Klass., № 118, § 57, стр. 35.

⁸ „Gilb. Ann.“, т. 4 (1800), стр. 428.

⁹ *Thomson*, Reprint of papers on Electrostatics and Magnetism, стр. 287.

ОТКРЫТИЕ ХИМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ТОКА

ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

Это открытие было сделано еще раньше, чем было опубликовано письмо Вольты к *Банксу* от 20 марта 1800 г. (см. стр. 108). Банкс — президент Лондонского королевского общества, прежде чем доложить об открытии Вольты на заседании общества, сообщил содержание письма одному из членов общества — *Никольсону* (Nicholson, 1753—1815), издателю научного журнала.

Вместе со своим другом *Карлейлем* (Carleisle, 1768—1840), врачом по профессии, Никольсон решил повторить опыт, который описывал Вольта в своем письме. Для этого Никольсон взял 17 полукрон и равное число цинковых кружков; затем, разложив их попарно: серебряная полукрона — цинк, он поместил между каждой парой кружок бумаги, смоченной соленой водой. Когда ток был замкнут, Никольсон и Карлейль заметили, что он дает слабые электрические удары и т. д., т. е. все, что описывал раньше в своем письме Вольта.

„При одном из таких опытов, — пишет Никольсон¹, — Карлейль заметил, что вокруг прикасавшейся к воде проволоки стал отделяться газ, который, как ни мало его было, показался мне имеющим запах, подобный водороду; проволока была из стали. Это явление, а также и ряд других побудили нас проделать следующий опыт... Мы взяли стеклянную трубочку около полудюйма шириною, наполненную свежей речной водой (см. рис. на данной стр.). С обоих концов трубочка была закрыта пробками, и через пробки во внутрь трубочки были проведены две медных проволоки: в каждом конце по одной. Концы этих проволок внутри трубочки отстояли друг от друга на $\frac{3}{4}$ дюйма (18 мм). Те же концы проволок, которые выходили наружу трубки, были соединены: одна — с верхним, другая — с нижним кружком столба, состоявшего из 36 полукрон и такого же числа цинковых и бумажных кружочков. Тотчас же в трубке от конца нижней проволоки, соединен

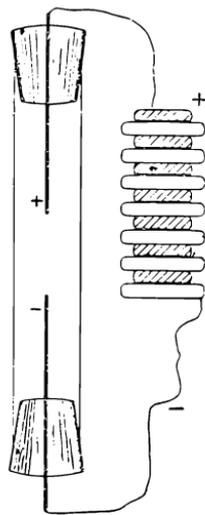


Схема опыта Никольсона и Карлейля в 1880 г.: разложение воды током. Электродами служили медные проволоки.

ной с отрицательным полюсом, поднялся тонкий поток маленьких газовых пузырьков, между тем как кончик верхней проволоки начал тускнеть, сделался прежде темнооранжевым, затем черным⁴.

Через два с половиною часа было собрано небольшое количество газа (с небольшим кубический сантиметр), оказавшегося *водородом*. Очевидно, произошло разложение воды на кислород и водород, из которых водород один мог быть собран, ибо кислород соединился с медью, окислив кончики проволоки, у которой он образовался.

„Немало удивило нас, — прибавляет Никольсон, — что водород выделялся на одном конце, тогда как кислород — на другом, отстоявшем от первого на два почти дюйма“.

Это открытие было сделано 2 мая 1800 г.². А уже в сентябре того же года в одном из немецких журналов мы читаем³, что такое же разложение воды сделал *Риттер* (Johann Ritter, 1776—1810).

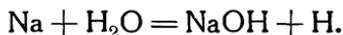
За этим первым открытием, показавшим замечательное свойство „гальванизма“, вскоре последовали другие.

Английский химик *Крюикшенк* (Cruiksshank, 1745—1800) обнаруживает, что при пропускании тока через раствор поваренной соли на отрицательном полюсе выделяется едкий натрий⁴.

Разумеется, Крюикшенк не мог в то время и подозревать, что здесь происходит вторичная реакция.

Поваренная соль (NaCl), разлагаясь, дает Cl и Na; но натрий, жадно соединяясь с водой, образует едкий натрий NaOH.

Реакция протекает согласно уравнению:



Производя опыты, Крюикшенк, между прочим, внес некоторое улучшение в устройство самого „вольтова столба“, придав ему вид ящика с пазами. Цинковым и серебряным пластинкам была придана форма квадрата; сами же пластинки были попарно спаяны и вставлены в пазы ящика. Промежутки между пластинками наполнялись подкисленной водой⁵.

РАБОТЫ ДЭВИ ПО ХИМИЧЕСКОМУ ДЕЙСТВИЮ ТОКА

Открытие Никольсона и Карлейля произвело большое впечатление на Дэви (Davy, 1778—1829), молодого профессора химии в Лондонском королевском институте.

Свои работы по разложению воды током Дэви начал в 1800 г. Он прежде всего выяснил один вопрос, казавшийся неважным.

Уже первые исследователи, заметив при разложении воды образование щелочей около отрицательного полюса, а кислот — около положительного, высказали предположение, что щелочь и кислота получаются из воды под влиянием электричества. Такого взгляда, например, держался Крюикшенк.

Повторив опыт Никольсона и Карлейля в стеклянных, агатовых и золотых сосудах, в открытом сосуде — в воздухе и в замкнутом

просторном — в атмосфере водорода, Дэви показал, что речная вода разлагается только на свои составные части: кислород и водород. При этом он обнаружил следующие замечательные факты⁶:

1. Водорода по объему выделяется вдвое больше, чем кислорода.
2. Через химически чистую воду ток не проходит.
3. „Гальванизм“ не создает „новых веществ“.

Опыты с разложением воды дали случай Дэви убедиться, что сильному электрическому току не могут противостоять стекло, агат и полевой шпат. Последнее обстоятельство навело его на мысль подвергнуть действию тока щелочи и разложить их на составные части, если это возможно.

В 1807 г. Дэви удалось это сделать: он *разложил едкое кали*. Свой опыт он описывает следующим образом⁷:

„Я взял кусочек чистого едкого кали, выставил его в течение нескольких секунд на воздух, чтобы его поверхность сделалась электропроводящей, положил его на изолированную платиновую пластинку, соединенную с отрицательным полюсом батареи из 250 пар пластинок (6 × 4 кв. дюйма поверхн.), и соединил поверхность едкого кали с платиновой проволокой от положительного полюса. Весь аппарат находился на воздухе. Тотчас обнаружилось сильное действие. Едкое кали начало плавиться в обеих точках, где оно электризовалось; на верхней поверхности наблюдалось сильное выделение газов, на нижней же отрицательной пластинке не выделялось никакой упругой жидкости, но я заметил маленькие шарики, обладавшие очень сильным металлическим блеском и походящие на ртуть.



Дэви (1778—1829).

Некоторые из них сгорали со взрывом и слабым пламенем, как только получались, другие же оставались, но покрывались на своей поверхности белой пленкой. Ряд опытов доказал мне, что эти маленькие шарики представляют то тело, которое я искал, особое горючее начало — *основание едкого кали*“.

Вскоре был разложен едкий натр и добыт *натрий*.

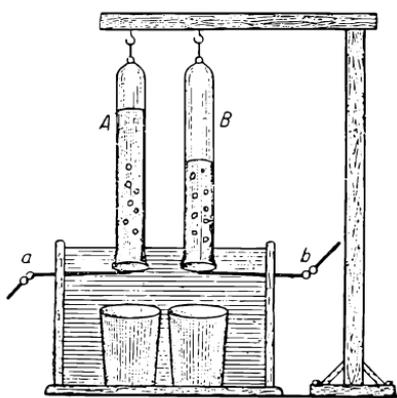
Открытый *калий* Дэви назвал „*потассием*“. Металл этот, как известно, жадно стремится соединиться с кислородом, так что, будучи брошен на поверхность воды, разлагает ее, принимая кислород и выделяя водород, причем выделяется столько теплоты, что

водород воспламеняется. „Потассий“ (калий) сохраняется поэтому в жидкостях, не содержащих кислорода: в нефти, керосине и т. п.

Излишне описывать, какую сенсацию произвело открытие „потассия“ (металла, который „горит“ даже в воде) в широкой публике. Это был своего рода „радий XVIII в.“.

Ладенбург в „Лекциях по истории развития химии“ совершенно верно говорит⁸:

„...Увидев тела с такими свойствами, можно было предаться всевозможным иллюзиям и притти к мысли, что все вещества, известные до того времени, являются лишь соединениями, и что у химии возникла теперь задача открыть истинные элементы, которые по своим свойствам должны быть сходны с натрием и калием. Вы также поймете, какое восхищение вызывала сила, про-



Один из первых приборов для разложения воды, где в стеклянных робирках собирались водород и кислород (построен Риттером в 1801 г.).

изводившая такие чудеса, и как сильно преувеличивали ее значение. Ее считали всемогущей, и теперь стало ясно для всех то направление, по которому должна была пойти химия: это было электрическое направление. Гальванический ток, в то время еще столь новый агент, совершил чудо — он и сам по себе был чудом; с его помощью удалось разложить соединения на их истинные элементы. Поэтому неудивительно, что эту силу стали считать тождественной с той, которая образует соединения, — с силой сродства. Этим думали объяснить два рода явлений, именно явления электрические и химические“.

Такую именно теорию и стал проповедывать Дэви. Образование при соприкосновении противоположных зарядов и возникающее отсюда притяжение Дэви считал причиной химического сродства. Вот что он писал в 1807 г.⁹:

„Все вещества, — говорит Дэви, — которые химически соединяются друг с другом, и электрические силы которых хорошо известны, при соприкосновении друг с другом получают противоположные электрические заряды*. Доказательством тому могут служить медь и цинк, золото и ртуть, сера и металлы, кислоты и щелочи. А так как мельчайшие или элементарные частички могут двигаться вполне свободно, то они могут, согласно основному закону, взаимно притягиваться вследствие их электрических сил. При теперешнем состоянии наших знаний было бы напрасным искать более отдаленные причины электрических сил или причину, почему два различных тела при соприкосновении противоположно электри-

* Курсив мой. В. Л.

зуются. Зависимость же их электричеств с их химическим сродством выступает довольно ясно. *Почему же не может быть, что электричество и сродство представляют одно и то же и являются существенным свойством материи?*⁸

Считая, что при химическом соединении частички разнородных тел притягиваются друг к другу гораздо сильнее, нежели они притягиваются между собою в силу противоположности их электрических свойств, Дэви представляет само соединение в виде равновесного состояния.

„Допустим, что мы имеем два тела, частички которых находятся в противоположных электрических состояниях, и предположим, что эти состояния настолько сильны, что разнородные частички притягиваются с силой, превосходящей их силу сцепления. Получится соединение, которое будет более или менее тесным, смотря по тому, придут ли силы в состояние более или менее полного равновесия, и изменение их свойств будет соответствовать этому равновесию. Это был бы простейший случай *химического соединения*“⁹.

Дальше Дэви утверждает, что при сродстве многих веществ с каким-либо одним веществом характер образующегося соединения зависит от степени сродства. Образуется как бы ряд по степени сродства.

„Но различные тела, имеющие относительно третьего тела одну и ту же электрическую силу, различаются степенью этой силы. Так, различные кислоты относительно одного и того же металла имеют различные силы. Серная кислота, например, относительно свинца имеет большую силу, чем соляная кислота, и калийная щелочь действует сильнее на олово, чем натровая щелочь. При этом оба эти тела в отношении друг к другу могут быть в различных отношениях, т. е. или отталкиваться друг от друга, или быть нейтральными, или же наконец притягиваться друг к другу, если в последнем случае они будут в различных электрических состояниях, как, например, сера и едкая щелочь“⁹.

По мнению Дэви, достаточно измерить электрические силы, требующиеся для разложения различных соединений, чтобы расположить все тела в порядке их химического сродства.

Какие же факты могут, по мнению Дэви, служить подтверждением для его теории?

Прежде всего Дэви старается связать свою теорию образования и разложения химических соединений в силу действия электрических сил с тепловыми и световыми явлениями, опираясь при этом на чисто экспериментальные факты.

„Быть может, — говорит он, — в пользу этой теории можно привести то обстоятельство, что *теплота и свет являются также результатом всех силовых химических действий* и что, точно так же как в батареях Вольты (в которых действуют большие количества электричества очень малого напряжения), появляются

* Это место выделено мною (В. Л.), чтобы отметить сущность теории Дэви.

теплота и свет, так и при слабых химических соединениях происходит повышение температуры без явлений света“.

Теплота усиливает электрические свойства вещества, что может способствовать их соединению. При этом электрическая сила образующегося соединения зависит от электрической силы регулирующих веществ. Чем больше отличается электрическая сила исходных веществ, тем менее нейтрально будет образующееся вещество.

„Согласно этим идеям,—пишет Дэви,—легко объяснить, каким образом теплота может облегчать и вызывать соединения. Она придает часто мельчайшим частицам легкую подвижность и во многих случаях, повидимому, повышает электрические силы веществ; известными примерами служат стекло, турмалин и сера. Я нагревал вместе изолированную пластинку меди и пластинку серы и исследовал их электричество по мереповышения их температуры. При 56°F изредка можно было обнаружить их электричество посредством электрометра с конденсатором, а при 100°F оно было настолько сильно, что могло заставить расходиться золотые листочки уже без помощи конденсатора. Чем ближе сера была нагрета к температуре плавления, тем сильнее обнаруживалось оно. Немного выше температуры плавления оба вещества соединяются очень быстро с выделением тепла и света, как это показали опыты амстердамских химиков. Можно предполагать, что подобные явления происходят, когда водород и кислород соединяются в воду, вещество, которое, как кажется, нейтрально почти ко всем веществам в отношении электрической силы, и подобное повышение сил происходит, вероятно, во всех случаях горения. Вообще, если только различные электрические силы велики и происходит полное равновесие, явления соединения должны происходить энергично, теплота и свет выделяться интенсивно, и получаемые соединения должны быть нейтральны. Это происходит в приведенном примере, а также при соединении между щелочами и сильными кислотами. Например, если одна из сил слаба, а другая велика, то все действия должны быть менее энергичны, и соединение не будет нейтрально, а будет содержать избыток более сильной энергии. Это последнее мнение подтверждается всеми опытами, которые я мог произвести относительно электрических сил *сложных солей* по отношению к металлам“.

Дэви приводит ряд примеров, показывающих различия электрического действия сложных веществ в зависимости от отношения между электрической силой составных частей.

„Ни *селитра*, ни *сернокислый калий*, ни *солянокислая известь*, ни бертолетова соль не сообщали медной или цинковой пластинке ни малейшего электрического заряда, хотя последние приводились многократно с ними в соприкосновение на большей поверхности. Углекислый натр и бура, например, сообщают этим металлам слабый отрицательный заряд, а квасцы и двуокислая фосфорнокислая известь — слабый положительный“.

И, по мнению Дэви, такая зависимость между величиной электрических сил и составом дает важный метод к выяснению состава и строения вещества.

„Если при дальнейшем исследовании этот основной закон в общем подтвердится, то измерение величины электрических сил различных тел может повести к новым и богатым последствиями выводам относительно состава и строения тел“*.

Такова была теория Дэви.

В более конкретной форме, близкой к условиям опыта, она может быть сформулирована следующим образом.

Химические соединения вновь образуются и разлагаются вследствие электрических притяжений и отталкиваний. Разложение при помощи электрического тока Дэви объяснял гипотезой, что вещества приобретают такой избыток электричества, что приходят в „свободное“ состояние и потому двигаются к отрицательному или положительному полюсу. Калий, например, сильно *электроположителен*, кислород — сильно *электроотрицателен*.

Все вещества можно разделить по своему электричеству на два класса или группы:

1. Водород, металлы, окиси металлов, щелочи, земли и т. д. выделяются на *отрицательном* полюсе.

2. Кислород, кислоты — на *положительном* полюсе.

Дэви как бы расширил теорию Вольты — теорию соприкосновения. Впоследствии, когда поколебалась эта последняя, теория Дэви, во многом верная, была оставлена. Ее сменила теория *Берцелиуса*.

Давая обзор исследованиям Дэви по электрохимии, мы должны указать здесь, что Дэви, кроме калия и натрия, открыл электролитическим методом целый ряд химических элементов.

Одновременно с *Гей-Люссаком* и *Тенаром* Дэви открывает бор (1808).

В 1808 г. он извещает Лондонское королевское общество, что им открыт при помощи гальванизма *магний, стронций, барий* и *кальций* путем электролиза едкого бария $[Ba(OH)_2]$, едкого стронция $[Sr(OH)_2]$, предварительно сплавив их с борной кислотой, и путем электролиза извести $[Ca(OH)_2]$ и окиси магния (магнезия) (MgO) , сплавив ее с сухим едким кали¹⁰.

ТЕОРИЯ ГРОТГУСА И ЭЛЕКТРО-ХИМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ БЕРЦЕЛИУСА

Почти одновременно с теорией Дэви, в 1805 г., появилась теория *Гротгуса* (Grothius, 1785—1822).

Вот как сам Гротгус излагает эту теорию¹¹:

„Вольтов столб, — пишет он, — обессмертивший имя его изобретателя, есть *как бы электрический магнит*, которого каждый элемент, т. е. каждая пара кружков, имеет свой положительный и

* Все приведенные в этом параграфе цитаты взяты из мемуара Дэви, опубликованного в 1807 г. в „Phil. Trans.“, стр. 32. В настоящее время имеется русский перевод этого мемуара: *Гемфри Дэви, О некоторых действиях электричества*, М. 1935. К сожалению, перевод не всюду удачен. Так, например, в этой книге фигурирует термин „энергия“, и у читателя может получиться впечатление, что закон сохранения энергии был известен в 1807 г.

отрицательный полюсы. Рассмотрение этой полярности породило во мне мысль, не устанавливается ли подобная полярность и среди элементарных частиц воды, побуждаемых тем же электрическим



Теодор Гроттус (1785—1822). С гравюры того времени.

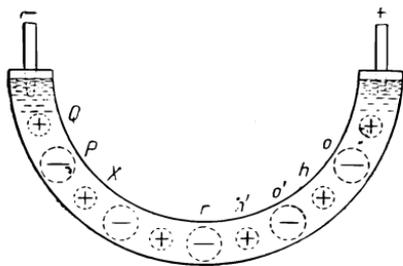
деятелем. Признаюсь, это было для меня проблеском света... Представим себе, что в момент начинающегося разделения водорода с кислородом в этих двух телах— вследствие ли прикосновения, вследствие ли трения одного об другое—происходит разложение их естественного электричества, так что водород приобретает *положительное* электрическое состояние, кислород — *отрицательное*. Отсюда следует, что полюс, доставляющий отрицательное электричество (отрицательный электрод), притянет водород, отталкивая кислород, тогда как положительный (электрод) притянет кислород, отталкивая водород“.

„Представим же себе некоторое количество воды, составленной из кислорода, означенного знаком минус, и водорода, отмеченного знаком плюс. Как скоро установится гальванический ток в воде, электрическая полярность обнаружится в ее элементарных частицах, так что они как бы будут составлять дополнение действующего столба. Все частицы кислорода, лежащие на пути тока, будут стремиться перенестись на положительный полюс (электрод), тогда как все частицы водорода, лежащие на том же пути, устремятся к отрицательному полюсу“.

„Отсюда следует, что как скоро частица *ОН* воды, ближайшая к положительному полюсу, отдаст свой кислород *О*, привлекаемый положительною жидкостью этого полюса, ее водород *Н* тотчас вновь окислится, соединяясь с кислородом второй частицы *О'*; водород же *Н'* этой частицы соединится с кислородом третьей, и т. д., и т. д.“¹¹.

и водорода, отмеченного знаком плюс. Как скоро установится гальванический ток в воде, электрическая полярность обнаружится в ее элементарных частицах, так что они как бы будут составлять дополнение действующего столба. Все частицы кислорода, лежащие на пути тока, будут стремиться перенестись на положительный полюс (электрод), тогда как все частицы водорода, лежащие на том же пути, устремятся к отрицательному полюсу“.

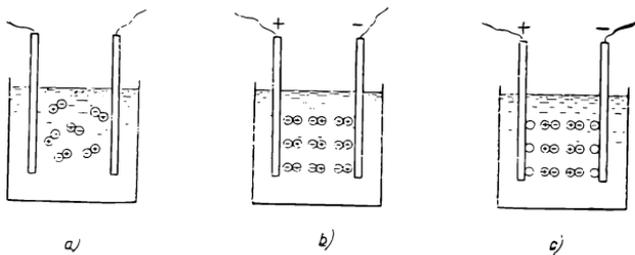
„Представим же себе некоторое количество воды, составленной из кислорода, означенного знаком минус,



Теория электролиза Гроттуса в 1805 г. (Схема из мемуара Гроттуса 1806 г.)

Последняя водородная частица останется свободною при отрицательном полюсе. Таким образом, на протяжении между электродами происходит ряд последовательных разложений и восстановлений частиц воды; свободные газы выделяются лишь при полюсах.

Теория Гротгуса просуществовала в науке долго, почти 75 лет. В университетских курсах она обычно излагалась в виде схемы, которую мы даем здесь.



Схема, объясняющая теорию Гротгуса: а) Ток не замкнут, и молекулы имеют беспорядочное направление. б) При замыкании тока молекулы располагаются под влиянием заряда на электродах в цепочки. Происходит разрыв молекул. в) Молекулы отдают свой заряд электроду, происходит обмен молекул, и затем после поворота на 180° молекулы вновь принимают положение б. Процесс повторяется.

Теории Дэви и Гротгуса были сменены электро-химической теорией Берцелиуса (Berzelius, 1779 — 1848).

Уже в 1803 г. Берцелиус опубликовал свои исследования над действием электрического тока на химические соединения. Он подтвердил наблюдение Крюикшенка, что при разложении поваренной соли на отрицательном полюсе отлагается едкий натр. Свою теорию Берцелиус развил в 1812 г.¹².

В основе этой теории лежит „дуалистическое воззрение“: в составе каждого тела можно различать две части.

По Берцелиусу, различное электрическое состояние атомов элементов не происходит от соприкосновения двух разнородных тел, а оно является основным свойством каждого элемента. В каждом атоме находятся два электрически-противоположных полюса; только количества электричества в обоих полюсах не одинаковы, и каждый атом является, таким образом, как бы *униполярным*. В атомах одних элементов, например металлов, количество электричества, сосредоточенного в положительном полюсе, превышает таковое же в отрицательном полюсе, и, таким образом, *атомы металлов являются заряженными положительным электричеством*; в атомах же таких элементов, как фосфор, сера, и других металлоидов находится избыток отрицательного электричества, и они являются *электроотрицательными*.

Каким же образом и почему происходит химическая реакция?

„Мы с уверенностью полагаем, — говорит Берцелиус, — что тела, — когда они близки к тому, чтобы соединиться, — обладают противоположными электричествами, напряжение которых увеличивается с приближением к той температуре, при которой они соединяются, пока, наконец, в момент соединения электричества не исчезают; при этом происходит повышение температуры, доходящее часто до воспламенения. С другой стороны, мы также уверены, что соединившиеся тела, — подвергнутые в соответствующей форме действию электрического тока, получающегося при разряде вольтового столба, — отделяются друг от друга и снова получают свои первоначальные химические и „электрические свойства“.



Берцелиус (1779 — 1848).

„При теперешнем состоянии наших знаний самое правдоподобное объяснение горения и происходящего при этом огня будет следующее: при каждом химическом соединении происходит нейтрализация противоположных электричеств; эта нейтрализация производит огонь совершенно так же, как она производит его при разряде электрической банки гальванического столба или же молнии, не сопровождаясь при последних явлениях химическими соединениями“¹².

Этой теорией Берцелиус легко объяснял старинное правило химиков: „*corpora non agunt nisi soluta*“*. В жидком состоянии атомы обладают подвижностью, необходимой для того, чтобы обращаться друг к другу противоположными полюсами.

Своей теорией Берцелиус мог объяснить все виды реакций. Когда, например, калий соединяется с кислородом, отрицательное электричество последнего нейтрализует не вполне, но только отчасти положительное электричество калия. Получающаяся при этом окись калия (по Берцелиусу, KO) несет на себе запас положительного электричества; поэтому она легко соединяется с серной кислотой (по нашему, серным ангидридом) SO₃, обладающей отрицательным электричеством. Образующаяся при этом соль — серно-

* Вещества не взаимодействуют, если они не находятся в растворенном состоянии.

кислый калий $\text{KO} \cdot \text{SO}_3$ (соединения второго порядка) не является вполне нейтральным, ибо положительное электричество окиси калия (до соединения) превышало отрицательное электричество серной кислоты. Поэтому сернокислый калий обладает некоторым запасом положительного электричества, что проявляется в его способности соединяться с некоторыми солями; так, например, с сернокислым алюминием он может образовать двойную соль-квасцы (соединение третьего порядка). Сернокислый же алюминий является электроотрицательным, так как отрицательное электричество серной кислоты превышает положительное электричество окиси алюминия.

Электрической полярностью объясняется также реакция обмена: тело C разлагает соединение AB так, что выделяется и получается тело AC оттого, что тело C может нейтрализовать большее количество свободного электричества тела A , чем тело B .

„Электричество, — говорит Берцелиус, — первая причина деятельности окружающей нас природы“¹².

Теория Берцелиуса оказала огромную услугу химии, охватив одним взглядом почти весь громадный фактический материал. Ею объяснились все химические процессы. Однако физическая сторона в этой теории была затронута мало. Это было сделано впоследствии великим Фарадеем.

Л и т е р а т у р а

¹ „Nicholson's Journal of. nat. phil.“, т. IV, стр. 179.

² Hoppe, Geschichte der El., Leipzig 1884, стр. 138.

³ „Gilb. Ann. der Phys.“, т. 6 (1800), стр. 470.

⁴ „Nicholson's Journal“, т. IV, стр. 187.

⁵ Ibid., т. IV, стр. 223.

„Gilb. Ann.“, т. 7 (1801), стр. 99.

⁶ „Nicholson's Journal“, т. IV и „Gilb. Ann.“, т. 7 (1801), стр. 114.

⁷ „Phil. Trans.“, т. 98 (1808), стр. 1.

„Gilb. Ann.“, т. 30 (1808), стр. 369.

„Bakerian Lecture“, 19 ноября 1807 г.

⁸ Ладенбург, Лекция по истории развития химии, Одесса 1917, стр. 62.

⁹ „Phil. Trans.“, 1807, стр. 32.

¹⁰ Encycl. Britt, изд. IX, т. VI, стр. 846.

Darmstädter утверждает, что Дэви, кроме того, открыл кальций и барий, но это не подтверждается другими биографами Дэви и историками химии (см. Darmstädter, Handbuch zur Geschichte der Naturw. und Technik, стр. 298).

¹¹ „Annales de Chimie“, т. 58, стр. 54—74.

Приведено у Оствальда в его „Электрoхимии“, Ostw. Klass., № 152, § 16, 17 и 19.

¹² „Mémoire of the Acad. of Stockholm“, 1812.

„Nicholson's Journal of nat. phil.“, т. 34 (1813), стр. 142, 153 и сл.

ОТКРЫТИЕ СВЕТОВЫХ И ТЕПЛОВЫХ ДЕЙСТВИЙ ТОКА

Электрическую искру впервые получил Лейбниц в 1672 г., как это мы узнаем из ответного письма Герике к Лейбницу 1 марта 1672 г. Искра была получена Лейбницем во время опытов с устроенной им машиной, представлявшей точную копию машины Герике (см. стр. 85)¹.

В 1705 г. Хоксби делал доклад на заседании Лондонского королевского общества „О ртутном фосфоре“. Хоксби показал, что при пропускании воздуха через ртуть воздух светится. Это было обычное свечение при электризации от трения².

В начале XVIII в. еще не умели готовить мощных электрических машин, и не были известны „лейденские банки“. Поэтому опыты Хоксби поражали современников своей загадочностью.

Однако уже в 1708 г. английский физик Уолл делает впервые сравнение электрической искры с молнией³.

Когда был открыт в 1800 г. „вольтов столб“ — источник „гальванизма“, то одной из первых была поставлена задача получить от этого нового источника электрическую искру и, таким образом, установить один из признаков тождественности обоих электричеств.

Никольсон, вместе с Карлейлем открывший химическое действие тока, был первым, кто заметил эту искру⁴. Никольсон при этом обнаружил, что цвет искры изменяется в зависимости от металлов, между которыми она проскакивает; искра тем ярче, чем легче металл испаряется или сгорает; причем раскрылась одна из особенностей ее: искра перескакивает в то время, когда мы прерываем цепь, а вовсе не при сближении концов проволоки. Впоследствии более точные опыты подтвердили это наблюдение: Якоби сближал концы проволок батареи, состоящей из 12 элементов (платино-цинковых), до 0,00127 мм, но не получал искры⁵.

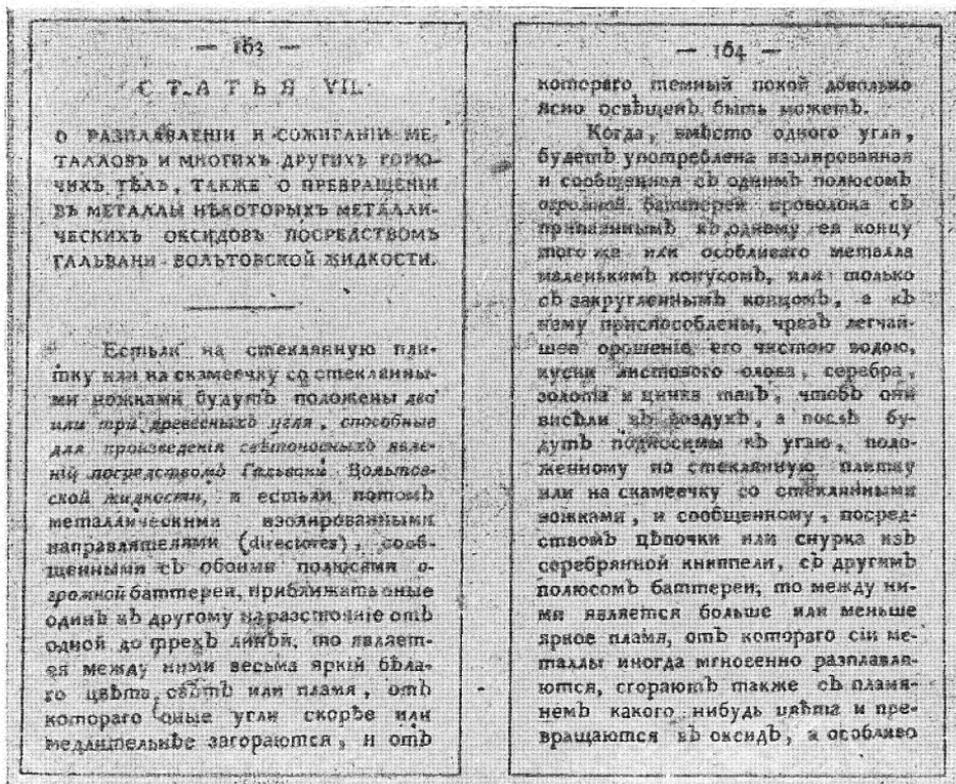
ОТКРЫТИЕ „ВОЛЬТОВОЙ ДУГИ“ В. В. ПЕТРОВЫМ

В истории учения об электричестве можно указать много примеров, когда открытия ученых совершенно забывались или потому, что

не были обнаружены (например труды *Кэвэндиша*), или потому, что появлялись слишком рано.

К числу этих последних принадлежит сочинение профессора медико-хирургической академии *Василия Владимировича Петрова* под заглавием: „Известия о гальвано-вольтовых опытах“ (1803).

Мы воспроизводим здесь факсимиле двух страниц этой книги: страницы 163 и 164. Особенно интересно замечание проф. Петрова (см. стр. 164 вверху), что от этого света „темный покой довольно ясно освещен быть может“.



Факсимиле двух страниц из соч. В. В. Петрова 1803 г., где впервые описана „вольтова дуга“.

Получивший впервые „вольтову дугу“, В. В. Петров родился 8 июля 1761 г. в Обояни Курской губернии, учился в Харьковской духовной академии, по окончании которой сделался преподавателем физики в Барнауле. Затем мы видим Петрова уже в Петербурге, где он получает степень „экстраординарного профессора“ за работу: „Собрание физико-химических опытов“. Эта книга вышла из печати в 1801 г.

В 1809 г. Петров получил звание академика. Он умер на 73-м году своей жизни 22 июля 1834 г. Портрета его не сохранилось.

В качестве источника тока В. В. Петрову служил „вольтов столб“ из 4200 кружков, медных и цинковых, разделенных толстой папкой; каждый кружок был „около 0,5 линии толщины“ (немного больше 1 мм).

Сочинение В. В. Петрова, в котором описан опыт с „вольтовой дугой“, вышло из печати в 1803 г.

Оно настолько исторически интересно, что мы считаем нужным познакомить читателя с содержанием его.

В первых пяти главах В. В. Петров подробно объясняет составление, употребление и свойства „вольтова столба“ в зависимости от перевертывания цинко-медных пар в обратную сторону. Далее следуют описания опытов над разложением воды, алкоголя и масла в вольтаметре, исследование влияния на разложение температуры, определение предельного числа пар, необходимого для разложения, опыты электризации животных, рыб и применения тока к терапии.

Остальные три главы посвящены описанию различных опытов, сопровождавшихся *появлением света и теплоты*. Сюда относятся наблюдения над явлениями свечения в жидкостях, не разлагающихся в масле, спирте и пр. В воде явления свечения обыкновенно не вызывались, но есть всетаки указание на один случай, когда это явление было замечено и в воде.

Таким образом, В. В. Петров, если не раньше, то по крайней мере одновременно с Крюикшенком⁶, наблюдал явление света между электродом и электролитом. Замечательно, что в опытах подобного рода отрицательный электрод был снабжен металлической шляпкой. Это указывает на то, что проф. Петров знал уже о влиянии формы электродов на разряд.

Далее В. В. Петров описывает явление „вольтовой дуги“, полученной им при замыкании большой батареи двумя углями, положенными на стеклянной плите.

Последняя, восьмая глава озаглавлена так:

„О светоносных явлениях и сжигании многосложных твердых горючих тел посредством гальвано-вольтовой жидкости в безвоздушном месте“.

В. В. Петров ясно отдавал себе отчет, какое важное открытие он сделал, так как говорит:

„Я надеюсь, что просвещенные и беспристрастные физики, по крайней мере, некогда согласятся отдать трудам моим ту справедливость, какую они заслуживают, отмечая особенно важность моих последних опытов“.

К сожалению, в 1803 г., когда появилась книга В. В. Петрова, на Западе русской научной литературой мало кто интересовался; в России же развитие науки было окончательно задавлено царизмом, и опыты этого замечательного русского ученого не нашли для себя настоящего читателя и надлежащего применения.

ОПЫТЫ ДЭВИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СВЕТОВЫХ И ТЕПЛОВЫХ
ДЕЙСТВИЙ ТОКА

На Западе о „вольтовой дуге“ узнали благодаря опытам Дэви* в 1812 г.

В 1810 г. была пущена в ход знаменитая батарея из 2000 пар пластинок, подаренная Лондонскому королевскому институту его почитателями.

В 1812 г. Дэви пишет об опытах с этой батареей следующее⁷:

„Она состояла из 200 аппаратов, соединенных в правильном порядке; каждый из них был составлен из десяти двойных досок (меди и цинка), опускавшихся в отделения фаянсового сосуда. Площадь каждой доски была около 32 кв. дюймов, а так как общее число двойных досок было 2000, то полная поверхность батареи была 128000 кв. дюймов. Батарея, когда ее отделения были наполнены 60 частями воды, смешанной (по объему) с одною частью азотной и одною частью серной кислоты, обнаруживала ряд блестящих и поразительных действий“.

„Когда сообщенные с полюсами куски углей около дюйма длиною и $\frac{1}{6}$ дюйма в диаметре приблизились один к другому (на $\frac{1}{30}$ или $\frac{1}{40}$ дюйма), образовалась широкая искра, и более чем половина объема углей дошла до белого каления. Раздвинув концы, мы получали постоянный разряд через разогретый воздух на протяжении около 4 дюймов, представлявший собою блестящую дугу света, широкую, конически расширяющуюся к середине. Если вводили в эту дугу какое-нибудь тело, оно тотчас раскалялось; платина плавилась так же быстро, как воск в пламени обыкновенной свечи; кварц, сапфир, магнезия, известь плавилась; кончики угля и графита быстро исчезали, как бы испаряясь, даже когда явление производилось в приемнике, из которого выгнан воздух; но не было признаков, чтоб они предварительно приходили в расплавленное состояние. Когда явление производится в воздухе, разрежаемом помощью насоса, то расстояние между концами углей может быть увеличиваемо по мере разрежения воздуха, и когда давление внутри колпака около четверти дюйма ртутного столба, разряд начинает проходить при расстоянии около половины дюйма между концами. Раздвигая концы, можно длину дуги довести до 6 и 7 дюймов; она представляет в высшей степени красивое блистание пурпурного света; уголь сильно раскаляется, и прикрепленная к нему платиновая проволока расплавляется с блестящим сверканием, падая широкими шариками на тарелку насоса“.

Это удивительное открытие Дэви долгое время не было, однако, использовано ни в технике, ни в науке.

* Впрочем, Curtet заметил еще в 1802 г., что „древесный уголь, лежавший на цинково-серебристом столбе, издавал при соприкосновении с железной проволокой, которой замыкалась цепь, такие яркие искры, что предметы на расстоянии до $1\frac{1}{2}$ дюйма были освещены белым светом“. („Gilb. Ann.“, т. 12, 1802, стр. 361).

С практической стороны не знали, что делать с этими дорогостоящими приборами, а с теоретической — колоссальное развитие света и тепла от гальванического тока только тревожило умы.

Био в своем учебнике пишет по поводу накаливания проволок следующее⁸:

„Необыкновенно трудно, чтобы не сказать невозможно, указать на способ происхождения этого светового явления и нагревания при таких условиях. Объяснять ли их сжиманием веществ, на которые действует электричество? Но в таком случае давление должно было бы обнаруживаться раз навсегда при самом начале опыта, так как ток идет непрерывно, и на счет этого давления можно было бы отнести разве первую вспышку света, но никак не его дальнейшее продолжение“.

„Не обуславливается ли свет обоими электрическими началами непосредственно при их столкновении?“

Более подробное исследование нагревания током было сделано только во второй половине XIX в. *Джоулем* и *Ленцом*.

Первое практическое приложение теплового действия тока было использовано в военном деле.

В 1810 г. *П. Л. Шиллингу* удалось настолько хорошо изолировать проволоку при помощи каучука, что вскоре он смог взрывать мины через Неву⁹.

Первые попытки использовать „вольтову дугу“ для освещения начались лишь в 40-х годах XIX столетия; еще позднее была использована „вольтова дуга“, как источник тепла.

Литература

- ¹ *Gerland*, Geschichte der Physik, 1913, стр. 507. Encyclop. Brit., IX изд. т. VIII, стр. 4.
- ² „Hawksbee, Physico-Mech. Experim.“, 1709.
- ³ „Phil. Trans.“, т. 26 (1708), Abridg. № 314, стр. 71.
- ⁴ „Nicholson's Journal“, т. IV, стр. 179.
- ⁵ „Gilb. Ann.“, т. VI (1800), стр. 358.
- ⁶ „Pogg. Ann.“, т. 44 (1838), стр. 633.
- ⁷ „Gilb. Ann.“, т. 9 (1801), стр. 353.
- ⁸ „Element of Chemical Philosophy“, London 1812, стр. 132 — 154.
- ⁹ *Biot*, Lehrbuch der Exp. Physik, 1824, II, стр. 320.
- ⁹ П. Т. Ж., 1891, стр. 400.

Глава четырнадцатая

ОТКРЫТИЯ ЯВЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

МАГНИТНЫЕ ДЕЙСТВИЯ МОЛНИИ

Молния часто производит перемагничивание компасной стрелки и намагничивание железных предметов. Об этом явлении знали еще задолго до того, как была открыта электрическая природа молнии.

В сочинении *Arago*¹: „Гром и молния“ приводится очень много подобных нижеприведенным примеров. Мы укажем здесь два случая.

„В июле 1681 г. корабль „Квин“, — рассказывает *Бойль*, — находился в сотни миль от мыса Код, как вдруг был поражен молнией. Удар молнии причинил значительные повреждения в мачтах, парусах и пр. Когда же наступила ночь, то оказалось по положению звезд, что из трех компасов, находившихся на корабле, два, вместо того чтобы, как и прежде, указывать на север, указывали на юг; прежний северный конец третьего компаса направлен был к западу“.

Другой случай:

„В июне 1731 г. один купец поместил в углу своей комнаты в Уэкфильде большой ящик, наполненный ножами, вилками и другими предметами, сделанными из железа и стали. Ящик этот был приготовлен для отсылки в колонию. Молния проникла в дом именно через тот угол, в котором стоял ящик, разбила его и разбросала все вещи, которые в нем находились. Все эти вилки и ножи — из которых одни представляли следы плавления, а другие оказались совершенно неповрежденными — *сделались сильно намагниченными*“.

С открытием электрической природы молнии должен был рано или поздно возникнуть вопрос, как объяснить ее магнитные действия, а также должны были начаться попытки обнаруживать связь электрического тока с магнетизмом.

Мы увидим ниже, что *Эрстед* произвел свой знаменитый опыт, принимая во внимание как раз магнитные действия молнии.

Однако, когда эта зависимость была открыта, она произвела впечатление чего-то нового, так как никто не ожидал, что зависимость будет именно такою, какою она оказалась на самом деле.

ОТКРЫТИЕ ЭРСТЕДА И ДРУГИЕ ОТКРЫТИЯ 1820 ГОДА

В конце лета 1820 г. многие европейские физики получили из Дании от копенгагенского профессора *Эрстеда* (*Oersted*, 1777 — 1851) небольшую брошюру, заглавие которой было таково:

„Опыты, касающиеся действия электрического конфликта на магнитную стрелку“ („Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam“).

В этом сочинении ток называется „электрическим конфликтом“. В 1820 г., когда Эрстед производил опыт, не было еще установлено понятия о направлении тока. Предполагалось, что электричество идет в двух направлениях, и, по представлению Эрстеда, очевидно, происходит „конфликт“ отрицательного и положительного электричества. Этот конфликт и действует на магнитную стрелку.

Книжка Эрстеда представляла собой небольшую брошюру менее пяти страниц*.

„Представим себе, — пишет Эрстед, — что два противоположных конца гальванического прибора соединены при помощи металлической проволоки. Последнюю я буду постоянно называть для краткости „соединительным проводом“ или „соединительной проволокой“ (filum conjugens); явление же, которое происходит в этом проводнике и вблизи него, я буду называть „конфликтом электричества“ (conflictus electrici)“.

Опыт 1. Соединительная проволока находится над магнитной стрелкой**.

„Прямолинейную часть этой соединительной проволоки располагают горизонтально над обыкновенной свободно движущейся магнитной стрелкой; проволоку для этой цели можно как угодно гнуть без ущерба. Когда все это налажено, магнитная стрелка приходит в движение и притом так, что под той частью соединительной проволоки, которая идет от отрицательного конца гальванического прибора, стрелка отклоняется к западу. Если расстояние проволоки от магнитной стрелки не превышает $\frac{3}{4}$ дюйма (2 см), то это отклонение составляет около 45° . При большем расстоянии отклонение уменьшается в такой же мере, в какой увеличивается расстояние. Сверх того отклонение изменяется с изменением силы прибора“.

„Соединительную проволоку можно повернуть к востоку или к западу, но если только она останется параллельна стрелке, она не окажет никакого влияния на результат; уменьшится только отклонение. Указанное действие, следовательно, никоим образом не может быть приписано силе притяжения, так как тот же самый полюс стрелки, который поворачивался к соединительной проволоке, когда последняя находилась на восток от стрелки, поворачивается в обратную сторону от нее, когда проволока находится к западу от стрелки, что было бы невозможно, если бы эти отклонения обуславливались притяжением и отталкиванием“.

Опыт 2. Влияет ли вещество соединительного провода на отклонение стрелки?

* Перевод брошюры Эрстеда имеется у Лакура и Аппеля. Историческая физика, т. II. В 1820 г. эта брошюра вышла в Копенгагене на шести языках.

** Для удобства читателя опыты Эрстеда перенумерованы, чего нет в тексте брошюры Эрстеда.

„Соединительный провод может состоять из нескольких проволок или металлических полос. Природа металла не меняет результата, разве только, пожалуй, в отношении величины. С одинаковым результатом мы пользовались проволоками из платины, золота, серебра, латуни и железа, а также оловянными и свинцовыми полосами и ртутью. Если прервать проводник водою, то действие прекращается не совсем, если, конечно, вода занимает длину лишь в несколько дюймов“.

Опыт 3. *Будет ли отклонение стрелки, если поставит экран?*

„Соединительный провод действует на магнитную стрелку сквозь стекло металлы, дерево, воду, смолу, сквозь глиняные сосуды и сквозь камень. Когда мы помещали между ними стеклянную или металлическую пластинку или деревянную доску, результат получился тот же, т. е. действие соединительного провода на магнитную стрелку имело место; даже в том случае, когда между ними помещалось все это одновременно: и стеклянная и металлическая пластинки, и деревянная доска, и смола, глина и пр., результат действия соединительного провода на магнитную стрелку едва ослаблялся. Также мало менялся результат при помещении электрофора, доски из порфира и глиняной посуды, даже наполненной водою. Наши опыты обнаружили, что указанное действие не меняется в том случае, если брать магнитную стрелку, помещенную в латунной коробке, наполненной водою. Что при электричестве и магнетизме до сих пор не наблюдалось действия через все указанные вещества, об этом едва ли нужно говорить. Следовательно действия, которые имеют место при конфликте электричества, совершенно отличны от действия той или другой электрической силы“.

Опыт 4. *Соединительный провод находится под магнитной стрелкой.*

„Если соединительная проволока находится в горизонтальной плоскости *под* магнитной стрелкой, то все перечисленные действия происходят в направлении, *противоположном* тому направлению, какое имело место, когда эта соединительная проволока находилась в горизонтальной плоскости *над* стрелкой; в остальном же все эти действия происходят совершенно одинаково. На восток отклоняется теперь тот полюс магнитной стрелки, под которым находится часть соединительной проволоки, куда прежде всего вступает электричество отрицательного конца гальванического прибора“.

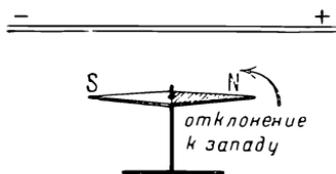
Правило Эрстеда.*

„Чтобы легче удержать это в памяти, — говорит Эрстед, — можно пользоваться следующей формулой: полюс, над которым вступает отрицательное электричество, поворачивается на запад, полюс же, под которым оно вступает, поворачивается на восток“.

Опыт 5. *Стрелка и соединительный провод находятся в одной горизонтальной плоскости.*

„Соединительный провод, находящийся в горизонтальной плоскости, в которой движется уравновешенная магнитная стрелка,

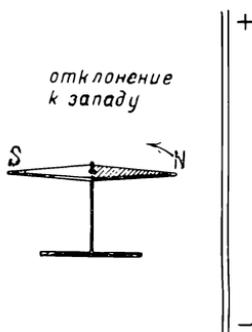
* Это правило Эрстеда не удержалось в науке.



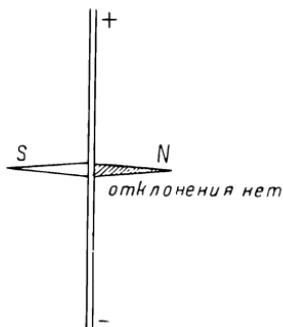
Соединительная проволока находится НАД магнитной стрелкой.



Соединительный провод находится ПОД магнитной стрелкой.



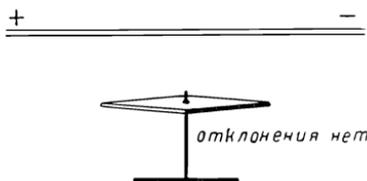
Соединительный провод помещен отвесно.



Соединительный провод помещен перпендикулярно к плоскости магнитного меридиана.



Магнитная стрелка и соединительный провод находятся в одной горизонтальной плоскости.



Соединительный провод помещен над НЕмагнитной стрелкой.

параллельная проводу, не отклоняет ее ни на восток, ни на запад; он заставляет ее колебаться в плоскости наклона таким образом, что полюс, вблизи которого в проволоку вступает отрицательное электричество, опускается вниз, если проволока находится с *западной* стороны стрелки, и, наоборот, поднимается вверх, если проволока находится с *восточной* стороны стрелки“.

Опыт 6. Соединительная проволока помещена перпендикулярно к плоскости магнитного меридиана.

„Если поместить соединительный провод над стрелкой или под нею перпендикулярно к плоскости магнитного меридиана, то стрелка остается в покое, за исключением того случая, когда проволока находится близко к полюсу. В этом случае полюс поднимается, если начало тока находится с *западной* стороны проволоки, и опускается, если оно находится с *восточной* стороны“.

Опыт 7. Соединительная проволока помещена отвесно.

„Если соединительный провод помещен *отвесно*, против одного из полюсов магнитной стрелки и близко к нему, и если верхний конец проволоки получает электричество от отрицательного конца гальванического прибора, то этот полюс поворачивается к *востоку*; если же, напротив, проволока находится вблизи такой точки стрелки, которая лежит между полюсом и серединой стрелки, то эта точка отклоняется на *запад*. Если верхний конец проволоки получает электричество от положительного конца прибора, то явления происходят в обратном порядке“.

Опыт 8. Отклоняет ли ток стрелку немагнитную?

„Латунная стрелка, подвешенная подобно магнитной стрелке, не приходит в движение от действия соединительной проволоки. Равным образом остается в покое при таких опытах и стрелка из стекла или каучука“.

„Все изложенное позволяет отметить, — говорит в заключение Эрстед, — некоторые важные пункты для объяснения этих явлений. Электрический конфликт обладает способностью действовать только на магнитные вещества. Все немагнитные тела, повидимому, пропускают сквозь себя электрический конфликт; напротив, магнитные тела или, вернее, магнитные частицы оказывают сопротивление прохождению этого конфликта, в силу чего они от столкновения борющихся сил могут придти в движение“.

„Из вышеизложенных наблюдений видно, что электрический конфликт не ограничен только проводящей проволокой, но, как уже сказано, распространяется и в окружающем пространстве довольно далеко“.

„Из сделанных наблюдений можно также заключить, что этот конфликт распространяется по кругам, ибо без этого допущения трудно понять, каким образом одна и та же часть соединительной проволоки, находясь под полюсом магнитной стрелки, заставляет стрелку поворачиваться к востоку, находясь же над полюсом, отклоняет стрелку к западу, круговое же движение происходит на противоположных концах диаметра в противоположных направлениях. Нужно думать, что круговое движение, в связи с поступа-

тельным движением вдоль по проводнику, должно давать улиткообразную линию или спираль; это, однако, если я не ошибаюсь, ничего не прибавляет к объяснению до сих пор наблюдавшихся явлений“.

Таково содержание замечательной брошюры Эрстеда.

Интересно было бы знать, что побудило Эрстеда исследовать действия тока на магнит.

Сам Эрстед описывает ход своего открытия следующим образом²:

„Изучая явления тепла, обнаружившегося в теле, через которое проходит электрический разряд, и в котором, следовательно, происходит соединение противоположных электричеств, я напал на предположение, что две противоположные электрические силы, проникая нагреваемое ими тело, так смешиваются в нем между собою, что ускользают от наблюдения; но в то же самое время они не приходят в полный покой и могут обнаруживать сильное действие, хотя и под формой, совершенно отличной от той, которую мы зовем электричеством...“ Не окажут ли эти силы в своем наиболее скрытом состоянии, в каком они находятся в раскаленной проволоке, какого-либо действия на магнит? „Я не преследовал, — говорит Эрстед, — задуманную идею с тем рвением, какого она заслуживала. На лекциях об электричестве, гальванизме и магнетизме, читанных мною весной 1820 г., я вспомнил, однако, о ней... Моя аудитория состояла из людей, сведующих в науке; потому в моих уроках и приготовленных к ним занятиях я мог предаваться размышлениям более глубоким, чем какие делаются на обыкновенных лекциях. Мое старое убеждение в тождестве сил электрических и магнитных предстало мне с новою ясностью, и я решился подвергнуть мое мнение испытанию опытом. Приготовление было сделано в тот же день, когда я вечером должен был читать лекцию. На этой лекции я показал опыт Кантона относительно влияния химических действий на магнитное состояние железа; *обратил внимание на перемены, испытываемые магнитной стрелкой во время грозы**, и выразил предположение, что электрический разряд может также оказать действие на стрелку, помещенную вне гальванического тока. Я решил тут же сделать испытание, и так как ждал наибольшего действия от разряда, сопровождающегося раскалением, то вставил в соединительный проводник тонкую платиновую проволоку и поместил под нею магнитную стрелку. Хотя действие было несомненно, но оно показалось мне таким смутным, что я отложил подробное исследование до другого времени, когда надеялся иметь более досуга. В начале июля опыты были повторены и продолжены, и я достиг результатов, которые опубликовал“.

Как мы видим, действие тока на магнитную стрелку было впервые обнаружено во время лекции. Это открытие Эрстеда произвело сенсацию.

Повсюду стали пробовать воспроизвести его опыты. Однако это можно было сделать не так легко. Затруднение состояло в том,

* Это место выделено мной. В. Л. (См. начало настоящей главы.)

что, согласно указанию Эрстеда, ток должен быть настолько силен, чтобы накаливать проволоку.

Тогда источником тока все еще был „вольтов столб“, и, по вычислению некоторых физиков (например *Мунке*), для этого необходим был столб, по крайней мере, в 100 пар. В действительности, однако, оказалось достаточным одной пары.

Одно из первых повторений опыта Эрстеда было сделано в Геттингене проф. *Н. Майером*, затем в Женеве на съезде естествоиспытателей — *де-ла-Ривом*³.

С тех пор производство наблюдений над электромагнетизмом пошло успешнее. Этому помог прибор *Швейгера* (*Schweigger*, 1779—1857), который давал возможность обнаруживать очень слабые токи. Прибор Швейгера получил название „мультипликатора“⁴. Устройство его основано на том, что действие очень слабого тока усиливается суммированием действий, когда стрелка помещается внутри мотка. Мультипликатор Швейгера имел намотку в виде „восьмерки“, в одну из петель которого и помещалась магнитная стрелка. *Погендорф* (*Pogendorff*, 1796—1877) придал мультипликатору форму, принятую теперь. На опытах де-ла-Рива во время съезда естествоиспытателей в Женеве присутствовал член Французской академии Араго.



Био (1774—1862). По фотографии.

Араго по возвращении во Францию сообщил о замечательном открытии Эрстеда своим сочленам на заседании Академии 4 сентября 1820 г. По общему желанию всех через неделю (11 сентября) Араго повторил опыт Эрстеда, и вслед за этим в том же 1820 г. последовал еще целый ряд новых открытий^{**}.

1. Араго открывает явление намагничивания током. (Должено на заседании Французской академии наук 25 сентября 1820 г.)

2. Ампер открывает взаимодействие токов, дает „правило пловца“, показывает, что при определенной форме проводника он ведет себя как магнит, обнаруживает на опыте действие Земли на подвижной проводник и устанавливает закон взаимодействия токов. (Должено на заседании французской академии наук 18 и 25 сентября, 9, 16 и 30 октября, 6 ноября 1820 г.)

* 16 сентября 1820 г. Швейггер демонстрировал свой прибор на съезде естествоиспытателей в Галле.

** О всех этих открытиях впервые узнали члены Французской академии наук. Доклады помещены в „Collection de Mémoires relatifs à la physique“, т. 2, Paris 1885.

3. *Био и Савар* путем измерений находят закон, по которому действует ток на магнитный полюс. (Должено на заседании Академии наук 30 октября и 18 декабря 1820 г.)

Изложение сущности этих открытий мы начинаем в другом порядке (не хронологически), тем более что эти открытия были сделаны почти одновременно, независимо друг от друга.

ЗАКОН БИО И САВАРА

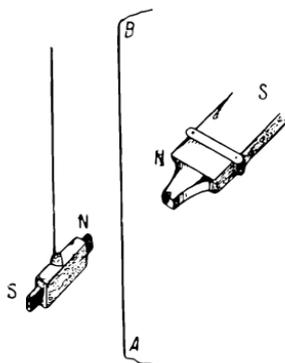
Био (Biot, 1774—1862) и Савар (Savart, 1791—1841) установили закон, с какой силой действует электрический ток, проходящий по проводнику, на магнитную стрелку при различных расстояниях этой стрелки от проводника.

Сначала Био и Савар установили закон для бесконечного прямолинейного проводника.

В некотором расстоянии от очень длинного вертикального прямолинейного проводника они подвешивали очень короткую магнитную стрелку.

Уничтожив влияние земного магнетизма соответствующим образом расположенным магнитом, они сообщали магнитной стрелке колебания, причем ток проходил на различных, строго определенных расстояниях. Затем они наблюдали продолжительность колебаний. Так как эти последние находились в зависимости от одних только токов, — положение же их было строго измерено, — то можно было вывести соотношение между действующими силами. Закон Био и Савара очень прост:

Опыт Био и Савара 1820 г., приведший их к открытию закона действия тока на магнитный полюс. (Из мемуара Био и Савара 1820 г.)



„Если проводник с проходящим по нему вольтовым током действует на частицу северного или южного магнетизма, находящуюся в известном удалении от середины проводника, то равнодействующая всех сил из проводника направлена перпендикулярно к кратчайшему расстоянию частицы от проволоки, и общее действие проводника на любой южно- или северо-магнитный элементы обратно пропорционально расстоянию последнего от проволоки“.

В виде формулы этот закон можно выразить:

$$F \text{ (сила)} = \text{const } \frac{1}{a},$$

где a — расстояние очень длинного проводника от полюса магнитной стрелки.

Приводим табличку из чисел, полученных Био и Саваром (см. стр. 139)⁵.

Номер наблюдений	Расстояние от проводника в м.м.	Продолжительность 10 колебаний		Разность между вычисл. и наблюд.
		Вычисления	Наблюдения	
2	40	48", 62	48", 85	- 0", 23
4	20	33", 88	33", 50	+ 0", 38
6	50	53", 74	54", 75	- 0", 01
8	60	59", 40	56", 75	+ 2", 65
10	120	84", 25	89", 00	- 4", 75
12	15	30", 99	30", 00	+ 0", 99

„Ошибки наблюдаются попеременно и в ту и другую сторону, без всякого правила, — говорят авторы, — и эти ошибки довольно чувствительны для больших расстояний (10-е наблюдение). Это и надо было ожидать, потому что на больших расстояниях действие тока очень слабо, в то же время влияние земного магнетизма хуже компенсировано магнитом“.

Впоследствии Био и Савар дали более общее выражение своему закону. Они вывели закон для элемента тока (ds), что дает возможность вычислить действие для всего проводника криволинейной формы (например для круга).

При своем выводе они сделали предположение⁶ относительно величины элементарной силы (dF), что она

1) пропорциональна длине элемента проводника (ds),

2) зависит от угла (α), составляемого напряжением тока с прямою, соединяющею элемент с полюсом,

3) пропорциональна некоторой функции расстояния (r) рассматриваемого элемента до полюса. Выражая это формулой, Био и Савар получили, что

$$dF = C \cdot ds \cdot f_1(\alpha) \cdot f_2(r),$$

где C — множитель пропорциональности, а f_1, f_2 — знаки функций. Благодаря Лапласу, показавшему⁷, что $f_2(r) = \frac{1}{r^2}$, а также в силу своих наблюдений, обнаруживших, что $f_1(\alpha) = \sin \alpha$, Био и Савар окончательно получили следующую формулу:

$$dF = C \frac{ds \cdot \sin \alpha}{r^2}.$$

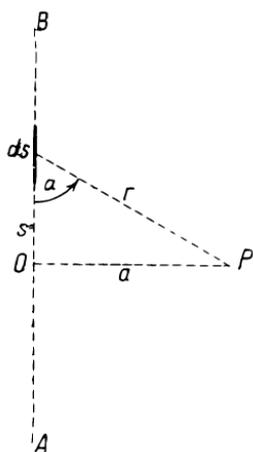
Это и есть закон Био и Савара или Лапласа-Био-Савара в более общем случае (для элемента тока ds).

Заметим, что исследование Колладона⁸ в 1826 г. показали, что множитель пропорциональности C пропорционален силе тока и количеству магнетизма в полюсе, т. е. $C = k \cdot i \cdot m$, где i — сила тока, а m — количество магнетизма. Тогда закон Лапласа-Био-Савара-Колладона примет вид:

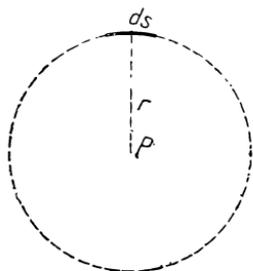
$$dF = k \frac{i \cdot m \cdot ds \cdot \sin \alpha}{r^2},$$

где k — множитель пропорциональности и зависит от выбора единиц.

При помощи математического анализа можно показать, что первый закон Био-Савара есть только частный случай закона для элемента тока⁹.



Элемент тока ds действует на полюс P с силой $dF = k \frac{im ds \sin \alpha}{r^2}$.



Элемент тока ds действует на полюс P , находящийся в центре.

В самом деле, покажем на двух примерах, как, пользуясь законом Лапласа-Био-Савара-Колладона, вычислить электромагнитную силу, с которой действует на количество магнетизма m в полюсе P электрический ток, проходящий по бесконечно длинному прямолинейному проводнику. (См. верхний рис. на данной стр. 140.)

Пусть a — расстояние количества магнетизма m , сосредоточенного в точке P . Будем считать S от точки O положительным по направлению OB . Равнодействующая F всех сил dF равна их сумме, так как силы dF имеют одинаковое направление, перпендикулярное к плоскости рисунка.

Поэтому

$$F = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{kim ds \sin \alpha}{r^2} = kim \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin \alpha ds}{r^2}.$$

После интегрирования, полагая $m = 1$, получим напряжение поля в P :

$$H = \frac{2ki}{a},$$

т. е. закон Био-Савара, доказанный на опыте. Здесь H — напряжение поля.

Еще проще вычислить напряжение магнитного поля в центре кругового тока (См. нижний рис. на этой стр. 140.)

В самом деле, в этом случае, так как окружность везде перпендикулярна к своему радиусу, для всех элементов $ds \sin \alpha = 1$, и так как, кроме того, r — постоянная величина, имеем:

$$H = \frac{ki}{r^2} \sum ds = \frac{k2\pi i}{r}.$$

Результат этот также подтверждается на опыте.

Между прочим, при установлении системы единиц из только что вычисленной формулы была получена электромагнитная единица силы тока.

ОТКРЫТИЕ АРАГО 1820 г.

Другое чрезвычайно важное открытие 1820 г., сделанное непосредственно сейчас же вслед за открытием Эрстеда, принадлежит Араго (Dominique François Arago, 1786 — 1853).

Вот как он описывал свои исследования перед членами Французской академии (25 сентября 1820 г.):

„Проведя, — говорит он¹⁰, — от одного из полюсов „вольтова столба“ довольно тонкую цилиндрическую медную проволоку, я заметил, что, когда эта проволока была в сообщении с другим полюсом (следовательно, в ней проходил ток), она притягивала железные опилки, как если бы была настоящим магнитом. Когда она погружалась в опилки, они приставали к ней равномерно

вокруг, так что она через это прибавление получала диаметр, почти равный диаметру ствола обыкновенного пера (в 1820 г. писали гусиными перьями. В. Л.). Как скоро проволока переставала быть в сообщении одновременно с обоими полюсами столба (т. е. ток не проходил более по ней. В. Л.), опилки отставали и падали. Я говорил о соединительной проволоке из меди; проволоки из серебра, платины и т. д. дали те же результаты... Соединительная проволока мягкому железу сообщает лишь временное намагничивание; но если взять маленькие кусочки стали, то их можно сделать постоянными магнитами. Мне удалось даже таким образом вполне намагнитить швейную иглку“.

Когда Араго показал свои опыты Амперу, последний тотчас же указал, что можно получить более сильное намагничивание,



Опыт Араго 1820 г. Намагничивание иглки, помещенной в стеклянную трубку.

если вместо прямой проволоки взять проволоку в виде спирали и внутри ее поместить иглку.

Араго говорит, что они заворачивали иглу в бумагу и помещали ее в таком виде внутри спирали¹¹. Затем Араго стал помещать при производстве этого опыта иглу внутри стеклянной трубки¹².

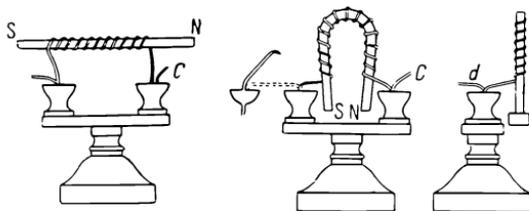
Этими опытами впервые была показана новая связь электричества с магнетизмом, было показано, что при помощи тока можно намагнитить сталь.

СТРАНИЦА ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТА

От опыта с намагничиванием стальной иглки, произведенного Араго (а также Дэви), „нужно сделать большой шаг, — говорит Сильванус Томсон¹³, — чтобы открыть тот факт, что стержень из мягкого железа, окруженный обмоткой из медной проволоки, может быть сделан не только мощным магнитом, но магнитом, силой которого можно распоряжаться, увеличивая ее до желаемой степени или заставляя ее действовать на неограниченном практически расстоянии от экспериментатора“.

Вот почему первый электромагнит был получен спустя много лет после опыта Араго.

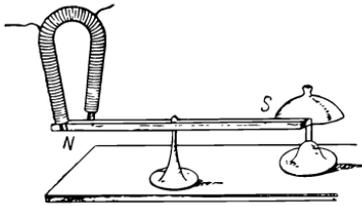
Электромагнит был впервые описан Уильямом Стерджоном (W. Sturgeon, 1783 — 1850) в его речи от 23 мая 1825 г. перед Society of Arts¹⁴.



Первые электромагниты Стерджона 1825 г. (Рисунок из мемуара Стерджона 1826 г.)

Вместе с этим Стерджен представил в Общество ремесел (Society of Arts) собрание электромагнитов, за что ему была выдана серебряная медаль и 30 гиней премии (около 300 рублей). Разумеется, комиссия, присуждавшая такую премию, не могла и подозревать, что впоследствии электромагнит станет главным органом почти всех электротехнических установок. Она не могла подозревать в 1825 г., что будет существовать особый отдел техники — „электротехника“; тогда бы эти 300 рублей и серебряная медаль показались бы слишком мизерными, чтобы премировать такое великое изобретение.

В 1825 г. еще не умели изолировать провод. Поэтому электромагнит Стерджона представлял собой стержень из мягкого железа длиной в 1 фут (30 см) и $1/2$ дюйма (12 мм) диаметром. Он был для изоляции покрыт лаком, и толстая неизолированная проволока наматывалась на стержень. Концы обмотки были выведены наружу и погружались в глубокие чашки со ртутью. Эти чашки заменяли современные клеммы. Дальнейшее усовершенствование в магните сделал американский физик Генри (Joseph Henry, 1799—1878) тем, что начал покрывать проволоку шелком.



Схема, объясняющая устройство первого электрического звонка Генри в 1831 г.

„Главная цель моих опытов,— пишет Генри,— была получить наибольшую магнитную силу при помощи возможного меньшего количества магнетизма“¹⁶.

Вот как он сам описывает в 1831 г. устройство своего электромагнита.

„Круглый кусок железа в $1/4$ дюйма (6 мм) в диаметре был согнут в подкову, но вместо того чтобы, как это

делается обыкновенно, обмотать его 5 футами проволоки так, чтобы обороты далеко отстояли друг от друга, его обмотали 35 футами ($10\frac{1}{2}$ м) проволоки, покрытой шелком так, чтобы каждое кольцо тесно примыкало к предыдущему. Всего оборотов было около 400“¹⁶.

Увеличив силу электромагнита (описанный электромагнит поднимал до 15 фунтов), Генри осуществил впервые *электрический звонок* (см. рис. на данной стр. 142). Звон производила сама магнитная стрелка, притягиваемая электромагнитом, помещенном так, что при притяжении одного конца стрелки другой конец ударял о медную чашку.

И Генри был прав, говоря впоследствии о своих работах: „Я первый намагнитил кусок мягкого железа на расстоянии и первый обратил внимание на то, что это явление может быть применено для телеграфа“.

„Я первый привел при помощи электромагнита в звучание колокольчик, находящийся на некотором расстоянии“¹⁷.

Еще до открытия закона Ома Генри убедился, что сила электромагнита зависит от силы тока, от числа оборотов и пр. Электромагнит Генри мог поднимать груз в 50 раз больший его собственного веса при действии одного элемента.

В „*Silliman's Journal*“ (апрель 1831 г.) Генри дает описание электромагнита, сердечник которого весил около 59 фунтов (24 кило). Обмотка состояла из 26 отдельных катушек. Длина всей проволоки была 728 футов (222 м). Батарея имела пластинки с общей поверхностью в $4\frac{7}{9}$ кв. дюйма (32 см^2). Этот электромагнит легко поддерживал на своем якоре, весившем 25 фунтов, груз в 2 063 фунта (845 кг)¹⁸.

На первых наблюдателей действие электромагнитов производило впечатление чего-то сверхъестественного.

„Дивишься, как чуду, — говорит *Пфаф*, — когда видишь, что в минуту, когда одной из проволок замыкается (гальваническая) цепь, и ток начинает итти, якорь, на котором висит груз в 8 фунтов и более, притягивается даже с расстояния и столь же мгновенно отпадает, когда цепь размыкается“¹⁹.

Приблизительно такое же впечатление произвел на Берцелиуса магнит Генри (1832).

„Нельзя, в самом деле, не удивляться, — говорит Берцелиус, — как в этом снаряде из малой силы развивается такое неслыханное притяжение на полюсах магнита“²⁰.

Долгое время магнит не находил себе применения в технике. Между тем в настоящее время почти во всех приборах и машинах, действующих при помощи электрического тока, электромагнит играет самую существенную роль. Достаточно вспомнить устройство электрического звонка, телеграфа, электродвигателей, моторов, телефона и т. п.

В области теоретического обоснования и установления законов силы магнитов работали *Джоуль*, *Якоби*, *Ленц* и др.

РАБОТЫ АМПЕРА ПО ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ

Едва ли не самым важным из перечисленных нами открытий 1820 г. было открытие французского математика Ампера (*Ampère*, 1775 — 1836).

Первое сообщение о своих трудах Ампер сделал на заседании Парижской академии 18 сентября 1820 г., т. е. ровно через неделю после того, как опыты Эрстеда были повторены Араго в присутствии членов этой Академии.

Чтение своего мемуара Ампер окончил в следующее заседание 25 сентября. В это-то именно заседание Ампер и сообщил об открытии *нового явления*, для которого явление Эрстеда, по мнению Ампера, становилось лишь частным случаем: это новое явление было — *притяжение и отталкивание электрических токов*.

После этого открытия не проходило почти заседания Академии, чтобы Ампер не сообщил чего либо нового.

Чрезвычайно было бы интересно вскрыть нить идей Ампера, приведших его к открытию. К сожалению, первый печатный мемуар Ампера появился только в ноябре 1820 г. Между тем многое гово-

рит за то, что самое важное открытие Ампера — „взаимодействие токов“ — было сделано в промежутке между первым докладом Ампера и вторым*.

Вот краткое содержание сообщений Ампера в течение 1820 г.**

18 сентября. Ампер разбирает опыты Эрстеда, делая из них выводы; излагает историю магнетизма; устанавливает понятие о направлении тока и дает „правило пловца“; развивает свою теорию магнетизма.

25 сентября Ампер, исходя из развитой им теории магнетизма, докладывает о своем новом открытии, т. е. о взаимодействии электрических *круговых токов* (спиралей).

9 октября Ампер показывает на опыте взаимодействие токов прямолинейных (станок Ампера).

16 октября Ампер говорит об опытах Араго над намагничиванием железа помощью токов с точки зрения своей теории.

30 октября Ампер докладывает о новом своем открытии: о действии Земли на токи; показывает, что это открытие вытекает из его теории магнетизма.

6 ноября Ампер демонстрирует устройство „соленоида“, излагает второй закон равносвесья токов.

13 ноября Ампер докладывает о своих электро-химических исследованиях.



Ампер (1775—1836). Рисунок карандашом, сделанный в 1833 г. графиней де Сент-Гресси.

* Электрическая теория магнетизма предшествовала, как мы увидим ниже, открытию взаимодействия токов. Иначе Ампер не мог бы внести поправку в опыт Араго; причем, как значится в протоколе заседания Академии от 25 сентября 1820 г., Ампер демонстрировал взаимодействие круговых токов; взаимное притяжение и отталкивание прямолинейных токов были доказаны опытно уже после (9 октября).

** Содержание докладов Ампера в их хронологической последовательности восстановить точно очень трудно, так как протокольные записи заседаний Академии, где эти доклады делались, чрезвычайно кратки.

4 и 26 декабря Ампер развивает основы математического исследования о действии токов.

Чрезвычайно интересно, что электрическая теория магнетизма предшествовала у Ампера самому открытию взаимодействия токов.

В заметках о заседаниях Парижской академии, помещенных в „Bibliothèque Universell“²¹ при отчете о заседании 25 сентября 1820 г., сказано: „Ампер известил, что в этот самый день он заметил явление, которое особенно должно остановить внимание ученых. Это явление взаимодействия электрических токов — факт, замеченный вначале на проводнике, вертикально подвешенном и составленном из спирально согнутой проволоки. К ней поднесли другой проводник, и тогда обнаружилось их притяжения и отталкивания, смотря по тому направлению, в каком проходили токи. Ампер сделал этот опыт в присутствии членов Академии“.

Весь же *первый* доклад (18 сентября) был посвящен следствиям, которые вытекают из опыта Эрстеда.

Какие же это следствия?

Ампер прежде всего дает понятие о направлении тока и затем правило для явления Эрстеда, т. е. правило направления отклонения стрелки под влиянием тока (правило пловца). Это правило Ампер формулирует следующим образом:

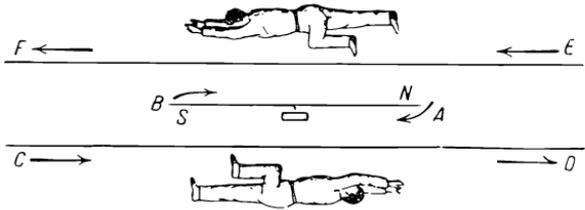
„Если мысленно представить себя плывущим по направлению тока, т. е. ток будет идти от ног к голове наблюдателя,

и этот последний будет смотреть на стрелку, то всегда отклонится тот конец стрелки, который обращен к северу“.

Дальше Ампер говорит:

„Первое размышление, какое я сделал, когда хотел изыскать причины новых явлений, открытых Эрстедом, было следующее. Так как порядок, в котором открыты факты, очевидно не имеет никакого значения по отношению к следствиям, выведенным из аналогий, представляемых этими фактами, то мы вполне вправе предположить следующее. Прежде чем сделалось известным свойство магнитной стрелки направляться от юга к северу, сперва было установлено ее свойство располагаться под действием тока перпендикулярно к его направлению так, что северный полюс находится влево от тока. Только впоследствии уже было открыто свойство стрелок направляться к северу...“

„Простейшая мысль, какая бы естественно могла возникнуть у того, кто захотел бы объяснить постоянное направление стрелки от юга к северу, заключалась бы в том, чтобы предположить в Земле

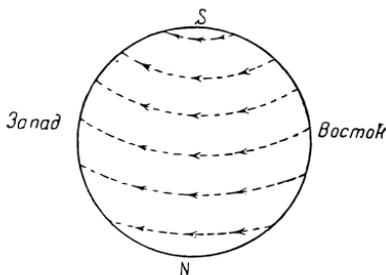


Схема, иллюстрирующая „правило пловца“ Ампера 1820 г.

электрический ток. Направление этого тока таково, что для человека, лежащего на поверхности Земли лицом, обращенным к стрелке, север приходится слева, и ток идет от ног к голове. Отсюда можно заключить, что ток этот идет от востока к западу, перпендикулярно к магнитному меридиану²².

Такое предположение гораздо более вероятно, чем то, что Земля по вещественному своему составу есть естественный магнит; прикосновение, химические действия различных веществ, составляющих толщу нашей планеты, ... являются достаточным источником разложения электричества и образования токов. Токи эти (связанные, повидимому, в своем расположении, а может быть, и по своему происхождению с обращением Земли около оси) направляются в каждом месте от востока к западу, приблизительно по параллели этого места, и в общей совокупности действуют как один главный экваториальный пояс токов.

„Но если, — говорит далее Ампер, — электрические токи суть причина направляющего действия Земли на стрелку, то не в них ли должны мы искать причины действия и одного магнита на другой? Сравнивая в отношении магнитного действия магнит с Землею, мы должны рассматривать его как *собрание электрических токов*, имеющих место в плоскостях, перпендикулярных к его оси...“²³



Схема, объясняющая исходную гипотезу всей теории Ампера о существовании „земного тока“ с востока на запад.

Нетрудно решить, какое должно быть направление этих токов. Если бы мы мысленно заменили действие Земли действием некоторого магнита, помещенного под магнитной стрелкой, то должны бы вообразить магнит этот так, чтобы южный его полюс приходился под северным полюсом стрелки. При таком положении магнита, если действие его зависит от

находящихся в нем электрических токов, токи эти на его верхней поверхности должны, следовательно, проходить в том же направлении, как на Земле, т. е. *от востока к западу*.

Это направление совпадает с направлением стрелки часов для наблюдателя, который поместился бы лицом своим к южному полюсу рассматриваемого магнита. Наоборот, по отношению к наблюдателю, держащему перед собою северный полюс магнита, токи последнего имеют направление, обратное с направлением стрелки часов.

Как мы видим, Ампер предложил не считать магнетизм особой силой природы, так как каждый магнит — носитель круговых электрических токов; каждая молекула обтекается током. При этом Ампер полагал, что эти молекулярные токи не встречают никакого сопротивления.

Земной магнетизм Ампер объяснил существованием токов, обтекающих Землю с востока на запад. Такого, надо думать, было содержание доклада Ампера 18 сентября 1820 г.

Ампер, как мы видим, изобрел прежде всего гипотезу для объяснения явления Эрстеда и магнитных явлений. Его метод напоминал метод Ньютона.

Ньютон также, *владея гипотезой* всемирного тяготения, сделал из нее соответствующие выводы. Имея в руках законы *Кеплера*, Ньютон нашел форму, выражающую открытый им закон; он объяснил приливы и отливы...

Ампер также, владея гипотезой об электрических токах, объясняющих магнетизм, сделал из этой гипотезы соответствующие выводы... и открыл новое явление. При чтении первого своего доклада он еще не знал о явлении взаимодействия токов.

Основываясь на своей теории, Ампер начал искусственно подражать магниту. Для этого он изогнул спиральную медную проволоку и повесил ее помощью прямолинейных ее концов, сообщавшихся с полюсами гальванической батареи и заключенных каждый в стеклянной трубке, чтобы они не касались между собою. Эта спираль, когда проходил через нее ток, представляла собою как бы одно из сечений магнита, перпендикулярных оси. Одна сторона ее (та, где для смотрящего на ее наблюдателя ток идет по *стрелке часов*) должна обнаружить южную магнитную полярность и, следовательно, притягиваться северным полюсом перпендикулярно подносимому к ней магниту и отталкиваться южным; другая сторона, обнаруживая северную полярность, должна притягиваться южным и отталкиваться северным полюсом магнита. Спыт вполне оправдал теоретические предположения.

Обнаружив действие магнита на спираль, Ампер сделал новый опыт. Он заменил магнит спиралью и поднес ее к вышеописанной спирали. Между этими спиральями обнаружилось взаимодействие. Таким образом, *взаимодействие токов было впервые открыто на круговых токах*. Это взаимодействие можно показать на простых мотках из проволоки. Об этом-то открытии Ампер сообщил 25 сентября 1820 г.

В своих опытах, произведенных на заседании Парижской Академии 9 октября 1820 г., Ампер обнаружил взаимодействие между *прямолинейными* проводниками.

Снаряд, которым пользовался Ампер, состоял из двух прямолинейных проводников (см. верхний рис. на стр. 148): „Один помещался на двух подставках в горизонтальном положении и был неподвижен; другой прикреплялся своими вертикальными ветвями к стеклянной оси, покоящейся помощью двух стальных острий на металлических подставках; острия эти припаяны к концам только что упомянутых металлических ветвей проводника; таким образом, сообщение с батареею устанавливается через подставки и острия. Имеем, следовательно, рядом два параллельных проводника *CD* и *AB* в той же горизонтальной плоскости; из них *CD* — подвижной, могущий делать качания около горизонтальной линии, проходящей

через концы стальных остриев; в своем движении он необходимо остается параллельным неподвижному проводнику. Посредине стеклянной оси помещается над нею противовес, чтобы увеличить подвижность качающейся части снаряда через повышение ее центра тяжести²⁴.

Изучая законы взаимодействия токов и магнита на ток, Ампер приходит к следующим результатам²⁵:

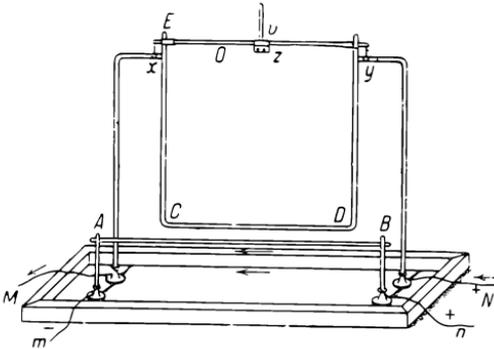
„1. Два электрических тока *притягиваются*, когда они идут параллельно в одном направлении; они *отталкиваются*, когда идут параллельно в противоположных направлениях.

2. Если два металлических проводника, по которым идет ток, могут вращаться в параллельных плоскостях, то каждый из них действует на другой так, что токи идут параллельно и в одном направлении.

3. Притяжения и отталкивания между токами совершенно не похожи на притяжения и отталкивания статического электричества.

4. Все явления, которые представляют взаимодействие тока и магнита, открытые

Станок, изготовленный по заказу Ампера в 1820 г. для демонстрации взаимодействия прямолинейных токов. (Из мемуара Ампера 1820 г.)



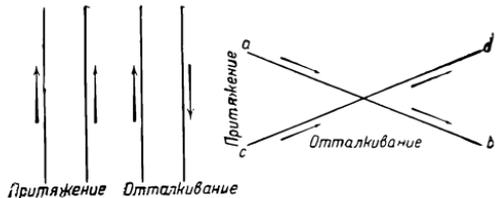
Эрстедом, входят как частный случай в законы притяжения двух электрических токов, если допустить, что магнит не что иное, как *собрание электрических токов*, обтекающих молекулы стали перпендикулярно к оси, которая соединяет два полюса магнита.

5. Когда магнит находится в положении, которое он принимает под влиянием земного магнетизма, эти молекулярные токи направлены *против* видимого движения Солнца.

6. Явления, которые мы наблюдаем при взаимодействии двух магнитов, подчиняются тому же закону.

7. Под влиянием того же земной шар действует на стрелку, если допустить в нем электрические токи в плоскости, перпендикулярной направлению стрелки склонения, причем эти токи идут с востока на запад.

8. Нет никакой разницы между северным и южным полюсами; единственное различие только в том, что один находится на лево, а другой направо от токов, которые дают стали магнитные свойства“.



Схема, объясняющая законы взаимодействия токов, открытые Ампером.

Как мы видим, Ампер кладет в основу всех своих объяснений явление взаимодействия токов (см. нижний рис. на стр. 148), причем он подчеркивает 3-й пункт о существенной *разнице* между статическим и динамическим электричеством. И в самом деле, притяжения и отталкивания электрических токов существенно разнятся от притяжений и отталкиваний, какие производит электричество в состоянии покоя. *Во-первых*, подобно химическим разложениям, они прекращаются тотчас, как скоро прерывается цепь. *Во-вторых*, в случае обыкновенных электрических притяжений и отталкиваний притягиваются разноименные электричества, а отталкиваются одноименные; в случае же притяжений и отталкиваний *токов*, наоборот, одноименные притягиваются, а *отталкивание* обнаруживается тогда, когда токи идут в *противоположных* направлениях. *В-третьих*, в случае притяжения, достаточно сильного, вместо того чтобы сблизить подвижной проводник до прикосновения с неподвижным, проводники эти остаются прилипшими друг к другу, как два магнита, и не удаляются тотчас один от другого, как бывает, когда прикасаются между собою два проводника, притянувшиеся потому, что один был наэлектризован положительно, другой — отрицательно. Наконец, токи притягиваются в пустоте точно так же, как в воздухе, что также не согласуется с тем, что мы наблюдаем при взаимодействии двух проводников, наэлектризованных обыкновенным способом.

Заметив существенную разницу между покоящимся и текущим электричеством, Ампер считает полезным вполне отделить обе области электричества друг от друга, обозначая их различными именами: „*электростатикой* и *электродинамикой*“²⁶.

ТЕОРИЯ АМПЕРА И ОТНОШЕНИЕ К НЕЙ ДРУГИХ ФИЗИКОВ

Открытие Эрстеда при первом своем появлении обещало повести к новым и обширным обобщениям. Удивительное сходство между явлениями магнетизма и электричества не могло не поражать внимательных наблюдателей; однако было странно, что воздействие электрического тока на магнитную стрелку отличается коренным образом от воздействия всех прочих сил природы. Ток оказывает на магнитный полюс действие, которое не может быть названо ни силой притяжения, ни силой отталкивания; это скорее — *поперечная* сила. Все известные до открытия Эрстеда силы, как-то: сила тяжести, сила притяжения Солнца и планет, притягательная и отталкивательная силы магнита и наэлектризованного тела, — все эти силы стараются притянуть или оттолкнуть ту точку, на которую направлено их действие. Вновь открытая сила стремится привести точку в направление, *перпендикулярное* к линии, соединяющей ее с точкой приложения силы.

„Северный полюс магнитной стрелки приходит в такое движение, что кажется, будто он подхвачен каким-то вихрем, движущимся вокруг проволоки в одном направлении, между тем как южный полюс, повидимому, уносится противоположным вихрем. Этот случай казался новым и в высшей степени парадоксальным“²⁷.

Какую теорию можно было бы построить, чтобы объяснить явление Эрстеда?

Естественно было бы предположить, что или проволока состоит из поперечных магнитных стрелок, или же стрелка состоит из поперечных электрических токов. Большинство естествоиспытателей — Эрстед, Берцелиус, Вульстен и др. — приняло сначала *первое воззрение*.

Ампер, как мы теперь знаем, принял *второе* воззрение, показав, что оно объясняет не только действие тока на магнит, но и действие магнита на магнит (закон Кулона), действие тока на ток (явление Ампера) и магнита на ток. . .

Большинство физиков отнеслось к теории Ампера с недоверием. Почти все считали ее ненужной и объясняли все явления, даже взаимодействие токов, тем, что ток, проходя по проводнику, „разлагает в нем магнетизм“. Так, например, Био представлял себе, что медная проволока вследствие прохождения по ней тока делается магнитом; разъединение магнетизмов происходит в каждом поперечном разрезе проводника таким образом, как будто в касательных к поперечному разрезу, действующему на вне лежащую магнитную частицу, находились сплошь магнитные иглы. Отсюда Био выводит электрические притяжения и отталкивания токов: „Если представить себе вокруг поперечного разреза тока четыре таких касательных иглы, то при двух противоположных направлениях тока и расположении игол будет обратное“.

Био до такой степени уверен в справедливости своего объяснения и несостоятельности гипотезы Ампера, что тут же прибавляет:

„Когда физики, как я в этом уверен, вскоре бросят разные гипотезы, построенные для объяснения электромагнетизма, и вернуться к столь простому воззрению молекулярного намагничивания, то мне, я надеюсь, будет отдана справедливость, что я никогда не рассматривал этот обширный класс явлений с иной точки зрения“.

Вскоре как будто подтвердилась теория Био. Араго открыл „магнетизм вращения“.

Об этом явлении, однако, мы будем говорить в другом месте.

Но вот Фарадей открывает в 1821 г. вращение тока вокруг магнита и магнита вокруг тока.

Это было сильное доказательство в пользу теории Ампера.

А когда Фарадей объяснил магнетизм вращения также при помощи токов индукции, амперова теория надолго окончательно утвердилась в науке.

ФОРМУЛА АМПЕРА

Примерно с 1822 г. Ампер был занят исключительно математической стороной электродинамики. Так как, согласно его теории, вся область магнетизма — земного магнетизма, электромагнетизма и т. д. — объяснялась взаимодействием токов, то основная задача Ампера свелась к тому, чтобы установить закон, согласно которому

один элемент тока действует на другой его элемент, так как действие всего тока на другой можно было рассматривать лишь как совокупность действия этих элементов.

Ампер с самого начала выдвинул гипотезу, что взаимодействие происходит по прямой, соединяющей элементы, причем величина силы этого взаимодействия зависит лишь от расстояния, от направления этих элементов в пространстве и пропорциональна их величине и силе токов в них.

Математически это взаимодействие или сила выражается формулой:

$$dF = k i_1 i_2 ds_1 ds_2 f(r, \theta_1, \theta_2),$$

где dF — элемент силы взаимодействия; k — множитель пропорциональности, зависящий от выбора единиц; i_1 и i_2 — силы токов в элементах ds_1 и ds_2 ; ds_1 и ds_2 — элементы тока; r — расстояние между элементами ds_1 и ds_2 ; θ_1 и θ_2 — углы между ds_1 и r , ds_2 и r ; f — знак функции.

При выводе своей формулы Ампер прибег к тому способу, которым пользовался Ньютон. Ньютон вывел свой закон всемирного тяготения из закона Кеплера; подобным же образом Ампер выводит свой общий закон из некоторых частных законов, полученных им путем опыта.

Ампер на опыте убедился, что есть случай, когда действие одного замкнутого проводника на другой при определенном взаимном положении этих проводников равно нулю.

Из таких опытных данных, как эмпирические законы, Ампер и вывел свою знаменитую формулу:

$$dF = k \frac{i_1 i_2 ds_1 ds_2}{r^2} \left[\cos \varepsilon - \frac{3}{2} \cos \theta_1 \cos \theta_2 \right],$$

где dF — величина взаимодействия элементов ds_1 и ds_2 ; k — множитель пропорциональности, зависящий от выбора единиц; $\left. \begin{matrix} ds_1 \text{ и } ds_2 \\ i_1 \text{ и } i_2 \end{matrix} \right\}$ — элементы тока и их сила; r — расстояние между элементами тока; ε — угол между элементами; θ_1 и θ_2 — углы, образуемые элементами ds_1 и ds_2 с прямой, соединяющей их середины.

Впервые вывод этого общего закона действия элементов токов в том виде, как он изложен в VI томе мемуаров Французской академии наук (за 1822—1823 гг.), был напечатан в 1827 г. Этот вывод есть следствие многолетних трудов Ампера.

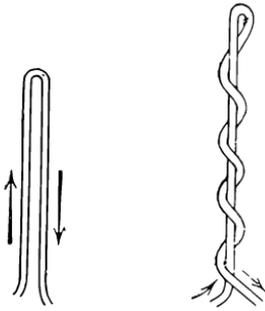
Между тем чрезвычайно интересно было бы вскрыть весь тот ход мыслей, которому следовал Ампер при открытии своего закона.

Что было известно Амперу на основании опытов 1820 г.? Ему известно было в основном лишь законы качественного характера.

К этим законам Ампер присоединил еще следующие частные случаи взаимодействия токов, но в них имеется уже элемент числа.

Первый опыт (или закон). *Два тока, идущие рядом и один другому противоположные, не обнаруживают никакого действия на токи, вне их находящиеся.*

Для обнаружения справедливости этого закона Ампер построил специальный станок.



Первый закон Ампера: два тока, идущие рядом, не обнаруживают действия на токи, вне их находящиеся.

Второй закон Ампера: два тока, из которых один — прямолинейный, а другой составлен из зигзагов, оказывают на третий одинаковое действие.

Второй опыт (или закон). Два параллельных проводника, из которых один прямолинейный, а другой составлен из зигзагов, находясь в равных расстояниях от третьего, оказывают при пропускании через них равных токов одинаковые действия на третий проводник.

Эти законы найдены Ампером в конце 1820 г. и были обнаружены при помощи точных опытов и специально устроенного для них станка.

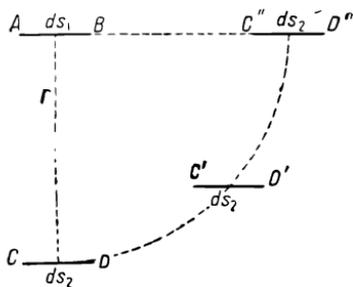
Последнее предложение (второе) чрезвычайно важно, так как оно позволило Амперу рассматривать действие элемента тока как совокупность электродинамических действий трех проекций этого тока.

Эти два опыта (закона) позволяют установить общий вид формулы взаимодействия двух элементов.

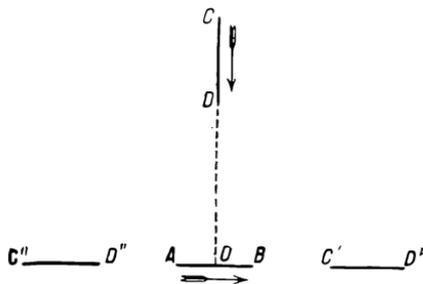
Но предварительно надо рассмотреть два простейших случая:

1. Элементы ds_1 и ds_2 находятся на одной прямой. (См. левый рис. на данной стр. 152). Ампер рассуждал следующим образом:

Если элементы AB и CD , оставаясь параллельными между собою и перпендикулярными к линии, соединяющей их середины, будут находиться на расстоянии один от другого, равном r , то их взаимное действие уменьшится в зависимости от этого расстояния, вообще будет обратно пропорционально какой-нибудь степени r и может быть выражено через $\frac{i_1 i_2 ds_1 ds_2}{r^n}$. Если элемент CD , оставаясь на том же расстоянии от AB и сохраняя с ним параллельность, перейдет в $C'D'$, то действие его на AB не будет равно прежнему и, вообще говоря, уменьшится. Представим себе, что элемент CD примет положение $C''D''$, т. е. будет находиться



Взаимодействие двух элементарных токов, параллельных между собой.



Взаимодействие двух перпендикулярных между собой элементов токов.

на одной прямой линии с AB , тогда нельзя решить *à priori*, какова будет величина действия. Она может быть равна нулю, тогда нечего ее и рассматривать. Но вообще ее можно выразить некоторою частью того действия, которое оказывают эти элементы, когда они расположены на том же расстоянии перпендикулярно к линии, соединяющей их середины. Следовательно, действие AB и $C''D''$ можно

представить через $\frac{k \cdot i_1 i_2 \cdot ds_1 ds_2}{r^n}$, где k — постоянный коэффициент, о знаке и величине которого нельзя ничего заключить *à priori*. При первых попытках составить формулу взаимного действия токов Ампер думал ²⁶, что $k = 0$; впоследствии обнаружилось, что k имеет величину отрицательную.

2. Элементы ds_1 и ds_2 перпендикулярны между собою. (См. правый рис. на этой стр. 152). Представим себе два элемента AB и CD , расположенные в одной плоскости так, что CD находится где-нибудь на перпендикуляре, восстановленном из середины AB . Легко доказать, что величина взаимного действия таких перпендикулярных между собою элементов равняется нулю.

Пусть ток по CD проходит вниз, а по AB — слева на право. По свойству токов, расположенных под углом, ясно, что действие на CD всякого элемента $C''D''$, помещенного влево от точки O , имеет положительную величину (притяжение), а помещенного вправо — отрицательную (отталкивание). Следовательно, величина действия элемента AB , помещенного в самой точке O , должна равняться нулю.

Другими словами, притяжение, оказываемое на CD половиною элемента OA , уничтожится отталкиванием, происходящим от другой половины OB .

Запасшись этими сведениями, Ампер перешел к случаю, когда элементы ds_1 и ds_2 расположены как-нибудь. В результате долгой работы он получил следующую формулу:

$$\frac{i_1 i_2 ds_1 ds_2}{r^n} [\cos \epsilon + (k - 1) \cos \theta_1 \cos \theta_2].$$

Чтобы получить окончательный вид, необходимо было определить постоянные n и k .

В первом сообщении о своей формуле Ампер принял $n = 2$, т. е. взаимное действие двух элементов обратно пропорциональным квадрату расстояния (закон, которому повинуются большинство сил природы), а k считал равным нулю, основываясь на том, что чем менее при первых попытках предполагал он величину этого постоянного, тем точнее выводы теории согласовывались с данными опыта. Но вскоре оказалось такое предположение неправильным. Новые исследования привели Ампера к открытию третьего закона равновесия токов и дали возможность определить уравнение, выражающее связь между n и k , по которой, зная одно из этих постоянных, можно определить другое.

Третий опыт (или закон) Ампера. *Замкнутый ток не вызывает движения проводника с током, если этот проводник представляет собою дугу круга и может вращаться только около оси, перпендикулярной к плоскости дуги и проходящей через центр ее.*

Иначе говоря, действие замкнутого тока на элемент тока происходит по направлению нормали к этому элементу.

Чтобы определить два неизвестных, надо иметь два уравнения. Так и здесь, для определения n и k нужны два соотношения.

Одно из этих соотношений путем высшего анализа Ампер получил из своего третьего опыта.

Именно он получил, что

$$1 - n - 2k = 0,$$

откуда при $n = 2$, $k = -\frac{1}{2}$.

И формула принимает вид:

$$dF = \frac{i_1 i_2 ds_1 ds_2}{r^2} (\cos \epsilon - \frac{3}{2} \cos \theta_1 \cos \theta_2).$$

Однако а priori нельзя решить, что $n = 2$, ибо нет необходимости, чтобы все взаимодействия в природе подчинялись закону квадратов расстояний.

Для получения значения n Ампер ввел свой четвертый опыт (или закон) равновесия токов.

Этот закон состоит в следующем. Имеем три тока одинакового напряжения и направления, каждый из которых образует собою окружность, и которые все находятся в одной плоскости. Два из них неподвижны, третий — подвижный — помещен между ними. Опыт показывает, что если эти круглые токи расположены так, что их центры находятся на одной прямой линии, и, кроме того, если радиус первого из них (неподвижного) относится к радиусу второго (подвижного) так, как радиус этого второго к радиусу третьего (неподвижного), притом если такое же отношение существует между расстояниями центра второго от центров первого и третьего, то подвижный ток останется в равновесии. Например, если радиус первого тока есть единица, второго — два, третьего — четыре, то для равновесия среднего тока (второго) их должно расположить так, чтобы расстояние центров первого и второго было вдвое меньше, нежели расстояние центров второго и третьего. Основываясь на этом явлении, Ампер доказал закон квадратов расстояний для взаимного действия двух элементов токов.

Таким образом, свое предположение, что $n = 2$, Ампер подтвердил на опыте, и формула, написанная выше, действительно выражает закон взаимодействия двух элементов тока.

По поводу формулы Ампера знаменитый английский физик Максвелл писал впоследствии (1873 г.) следующее²⁸:

„Исследования Ампера, которыми установлены законы механического взаимодействия электрических токов, принадлежат к блистательнейшим подвигам в науке. Теория и опыт, повидимому, в полной мощи и законченности вылились сразу из головы „Ньютона электричества“. Сочинение его—„Thèorie des phénomènes“—совершенно по форме, недостижимо по определенности выражений. Он дает в результате формулу, из которой можно вывести все явления, представляемые электричеством, и которая навсегда остается основной формулой электродинамики“.

Л и т е р а т у р а

- ¹ Араю, Гром и молния, СПб 1859.
- ² „Schweigg. Journ.“, т. 32 (1821), стр. 202, Note.
- ³ Норре, Gesch. der Electric, Leipzig 1884, стр. 200.
- ⁴ „Schweigg. Journ.“, т. 31 (1821), стр. 12.
- ⁵ „Coll. de Mém.“, II, стр. 96.
- ⁶ Ibid., стр. 113.
- ⁷ Ibid., стр. 113.
- ⁸ „Ann. de Ch. et de Phys.“, 33 (1826), стр. 62.
- ⁹ Борман, Основания учения об электр. и магн. явл., ч. 2, стр. 290 и сл., СПб., 1899.
- ¹⁰ „Coll. de Mém.“, т. II, стр. 55. „Ann. de Ch. et de Phys.“, т. 15 (1820), стр. 93.
- ¹¹ „Coll. de Mém.“, т. II, стр. 57.
- ¹² Ibid., стр. 59.
- ¹³ Сильванус Томпсон, Электромагнит и электромагнитные механизмы, СПб., 1892, стр. 9.
- ¹⁴ Ibid., стр. 1.
- ¹⁵ Ibid., стр. 10.
- ¹⁶ Ibid., стр. 17.
- ¹⁷ Сajori, A history of physics, New-Iork 1914, стр. 239 и сл.
- ¹⁸ Сильванус Томпсон, Ibid., стр. 24.
- ¹⁹ „Schweigg. Journ.“, т. 58, стр. 275.
- ²⁰ „Jahresberich.“, XII (1832), стр. 45.
- ²¹ „Bib. Univ.“, т. 17 (1821), стр. 82.
- ²² „Coll. de Mém.“, т. II, стр. 43 и 44.
- ²³ Ibid., стр. 47.
- ²⁴ Ibid., стр. 53.
- ²⁵ Ibid., стр. 48 — 49. „Ann. de Phys.“, т. 15 (1820), стр. 209.
- ²⁶ „Recueil de observ. électrodyn.“, стр. 298.
- ²⁷ Уэвелль, История индуктивных наук, т. III, стр. 115.
- ²⁸ Maxwell, т. II, стр. 175.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ТЕОРИИ ТОКА В ПЕРВОЙ
ПОЛОВИНЕ XIX СТОЛЕТИЯ

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЭВИ ПО ТЕОРИИ ТОКА

Еще Кэвендиш произвел исследования о способности металлов проводить электричество при разряде *лейденских банок*. Проводимость гальванического тока впервые исследовал Дэви в 1821 г.¹

В 1825 г. *Беккерель* подтвердил те результаты, к которым пришел Дэви.

Метод Дэви заключался в том, что он включил в цепь параллельно сосуд для разложения воды и испытуемый проводник. Когда длина проводника оказывалась меньше известной величины, вода переставала разлагаться.

Дэви получил следующие законы „*проводимости*“:

1. *Проводимость металла изменяется с температурой*: чем выше температура, тем меньше проводимость металла.

Дэви нагревал платиновую проволоку простой спиртовой лампочкой и уже замечал изменение в ее проводимости.

2. *Проводимость проволоки зависит от вещества, из которого она сделана*.

Дэви путем измерения убедился, что если приготовить проволоки из различных металлов одной и той же толщины, то 1 дюйм платиновой, 6 дюймов серебряной, 5,5 дюйма медной, 4 дюйма золотой, 3,8 дюйма свинцовой, 0,9 дюйма палладийной и 0,8 дюйма железной будут иметь проводимость одинаковую.

3. *Проводимость зависит от площади поперечного сечения*.

Когда Дэви брал платиновую проволоку определенной длины, и она, не нагреваясь, могла разрядить батарею, то проволока той же длины, но всящая в 6 раз больше, могла уже разрядить 6 батарей, причем картина не менялась, была ли взята одна толстая проволока или 6 тонких.

Этот последний закон убедил Дэви, что „ток идет через весь проводник, а не по его поверхности“.

Изложенными здесь тремя законами и исчерпываются все исследования Дэви в области общей теории тока. Само собой разумеется, что они недостаточны.

ЗАКОН ОМА И ЗНАЧЕНИЕ ЕГО ИССЛЕДОВАНИЙ

Уже Вольте было известно, что сила тока зависит не только от проводников, но и от самой батареи.

Поэтому для установления общей теории тока необходимо было произвести исследование и в этом направлении.

Это было сделано в 1826 — 1827 гг. Омом (Ohm, 1787 — 1854).



Георг Ом (1787—1854). Фотография.

ональна углу кручения, так что удержать стрелку в меридиане, несмотря на действие тока, — голову надо повернуть на 450° (т. е. полный оборот и еще 90°), а в другом — на 225° , то, значит, сила, гонящая стрелку и уравнивающаяся кручением нити, во втором случае вдвое меньше, чем в первом.

Измерения показали, что отклонения стрелки всюду оказались одинаковыми. Это явление Ом объяснил тем, что сила тока во всех точках цепи одинакова.

Понятие о сопротивлении Ом установил следующим образом. В начале своих опытов Ом пользовался гальваническим элементом из меди и цинка, опущенным в воду с серной кислотой. В цепь включались гальванометр M и две чашечки со ртутью. От гальванического элемента E ток шел к чашечкам со ртутью A и B и через

Метод, которым пользовался этот ученый, теперь неупотребителен. Все же его постановка опытов не лишена интереса.

Для изменения величины действия тока на стрелку Ом пользовался приемом Кулона², построив специальный прибор для этого (см. рис. на стр. 158).

Поместив проволоку, через которую проходит ток, параллельно магнитному меридиану, он вешал над нею магнитную стрелку на нити; ток стремился отклонить стрелку, но Ом закручивал нить до тех пор, пока стрелка оставалась в положении равновесия, несмотря на действие тока. Действие тока уравнивалось, следовательно, кручением нити. Из исследований Кулона известно, что сила кручения пропорци-

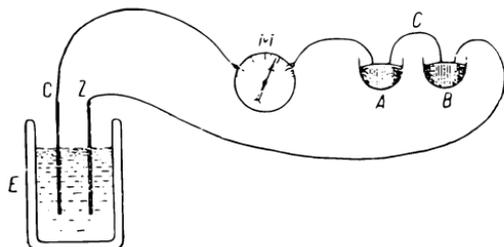


Схема опыта Ома 1826 г. при измерении сопротивления.

провода C . При опытах между A и B вводились различные проводники C и на мультимпликаторе наблюдалась сила тока. Ом установил, что ослабление тока тем сильнее, чем длиннее провод C ; сила тока зависит от толщины, от вещества и пр.

Вскоре, однако, Ом заметил непостоянство своего элемента и по совету Поггендорфа прибег к *термоэлектрическому* элементу ³.

Ом составил термоэлектрический элемент из согнутого под прямым углом висмута, концы которого винтами скреплялись с медными полосками. Один конец элемента окружался кипящей водой, другой обкладывался тающим льдом. От полюсов шли проволоки, опускавшиеся в чашечки со ртутью; через их соединение помощью проволоки разной длины происходило замыкание тока. Сила тока определялась, как раньше было указано, действием на магнитную стрелку, которая кручением нити удерживалась в магнитном меридиане вопреки гонящей силе тока. Медные проволоки, какими соединялись чашечки со ртутью, были последовательно в 2, 4, 10, 18, 34, 66, 130 дюймов длиною, $\frac{7}{8}$ линии толщиной.

Результат пяти различных опытов приведен в нижеследующей таблице ⁴:

Длина введенной проволоки (в дюймах)	Сила тока, измеряемая углом кручения (в градусах)				
2	$326\frac{3}{4}$	$311\frac{1}{4}$	307	$305\frac{1}{4}$	305
4	$300\frac{3}{4}$	287	284	$281\frac{1}{2}$	282
6	$277\frac{3}{4}$	267	$263\frac{3}{4}$	259	$258\frac{1}{4}$
10	$238\frac{1}{4}$	$230\frac{1}{4}$	$226\frac{1}{4}$	224	$223\frac{1}{2}$
18	$190\frac{3}{4}$	$183\frac{1}{2}$	181	$178\frac{1}{2}$	178
34	$134\frac{1}{2}$	$129\frac{3}{4}$	$128\frac{3}{4}$	$124\frac{3}{4}$	$124\frac{3}{4}$
66	$83\frac{1}{4}$	80	79	79	$78\frac{1}{4}$
130	$48\frac{1}{2}$	46	$44\frac{1}{2}$	$44\frac{1}{2}$	44

„Эти числа, — говорит Ом, — весьма удовлетворительно выражаются уравнением:

$$I = \frac{A}{B + X},$$

где I есть сила тока, измеряемая магнитным действием; X — длина (введенного в цепь) проводника; A и B — постоянные величины, зависящие от электродвижущей силы и от сопротивления остальных частей цепи. Если принять (для описанных опытов), что $B = 20\frac{1}{4}$ во всех пяти родах опытов, и что A в первом ряду равняется 7285, во втором — 6965, в третьем — 6885, в четвертом — 6800 и в пятом — 6800, то вычисления, произведенные по вышеуказанной формуле, дают для силы тока числа, приведенные в таблице на стр. 158.

„Если, — указывает Ом, — сравнить величины, полученные вычислением, с величинами, полученными путем опыта *, то окажется самая незначительная разница в пределах, какие можно ожидать от подобного рода опытов“.

* То-есть если сравнить числа в обеих таблицах, приведенных на стр. 157 и 158

Длина проволоки (в дюймах)	Сила тока, вычисленная по формуле				
2	328	313	309 ^{1/2}	305 ^{1/2}	305 ^{1/2}
4	300 ^{1/2}	287 ^{1/4}	284	280 ^{1/2}	280 ^{1/2}
6	277 ^{1/2}	265 ^{1/3}	262 ^{1/3}	259	259
10	240 ^{3/4}	230 ^{1/4}	228	224 ^{3/4}	224 ^{3/4}
18	190 ^{1/2}	182	180	177 ^{3/4}	177 ^{3/4}
34	134 ^{1/2}	128 ^{1/3}	127	125 ^{1/4}	125 ^{1/4}
66	84 ^{1/4}	80 ^{3/4}	79 ^{3/4}	79	79
130	48 ^{1/2}	46 ^{1/3}	45 ^{3/4}	45	45

Ом показал далее, что величина A зависит от электродвижущей силы элемента. Так, поддерживая один конец элемента при 0° , другой же оставляя при комнатной температуре ($7\frac{1}{2} R$) и, вводя проволоки в 2, 4, 6, 10, 18, 34, 66, 130 дюймов, Ом получил для силы тока числа 27, 25, $23\frac{1}{3}$, 20, $15\frac{3}{4}$, $10\frac{1}{2}$, $6\frac{1}{2}$, $3\frac{2}{3}$. Сохраняя предыдущую величину $B = 20\frac{1}{4}$, Ом, согласно формуле, определил A так, чтобы

$$\frac{A}{B + X} = 27$$

или

$$\frac{A}{22\frac{1}{4}} = 27.$$

Тогда для A получилось значение, равное $600\frac{3}{4}$.

Предыдущая формула $I = \frac{A}{B + X}$

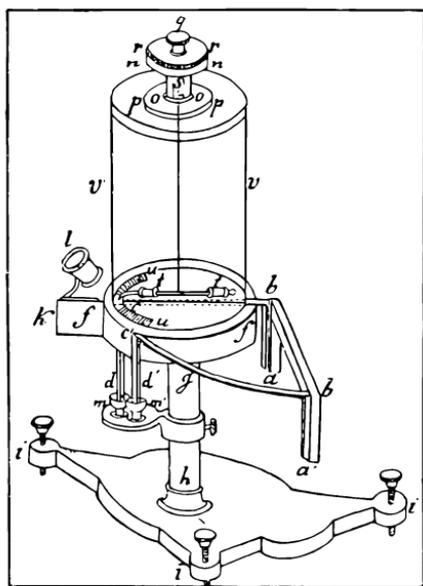
если вставить в нее указанные величины A и B , весьма точно удовлетворяет данным наблюдениям. В последнем случае мы видим, что A уменьшилось более чем в 10 раз, тогда как B осталось без перемены. Этим подтверждается

то положение, что B зависит от неизменяющейся части цепи, а A — от электродвижущей силы, которая, как надо заключить из тех же опытов, пропорциональна разности температур в местах прикосновения действующих металлов.

В 1826 г. Ом, при помощи которого в 1826 г. был открыт основной закон о силе тока. (Рисунок из мемуара Ома 1826 г.)

При своих рассуждениях он пользовался аналогией между теплом и электричеством.

Еще в 1782 г. появилась книга Фурье: „Théorie analytique de la chaleur“, где, между прочим, рассматриваются явления теплопроводности и выводится формула для „теплового тока“.



Прибор Ома, при помощи которого в 1826 г. был открыт основной закон о силе тока. (Рисунок из мемуара Ома 1826 г.)

то положение, что B зависит от неизменяющейся части цепи, а A — от электродвижущей силы, которая, как надо заключить из тех же опытов, пропорциональна разности температур в местах прикосновения действующих металлов.

В 1827 г. Ом опубликовал сочинение, в котором закон, носящий теперь его имя, выведен теоретически.

При своих рассуждениях он пользовался аналогией между теплом и электричеством.

Еще в 1782 г. появилась книга Фурье: „Théorie analytique de la chaleur“, где, между прочим, рассматриваются явления теплопроводности и выводится формула для „теплового тока“.

Чтобы вывести эту формулу, мы можем рассуждать следующим образом:

Пусть у нас имеется стена, проводящая тепло. Как известно, при установившемся токе тепла от одной границы стены до другой падение температуры внутри стены можно представить прямой линией, соединяющей конец перпендикуляров, выражающих графически температуры на поверхности стены.

Количество тепла Q , протекающее через площадку S за время T , пропорционально коэффициенту теплопроводности, зависящему только от природы вещества стены, пропорционально времени T и падению температуры для данного сечения. Это падение равно разности крайних температур $T_1 - T_2$, деленной на толщину L стены, т. е.

$$Q = K \frac{T_1 - T_2}{L} S \cdot T,$$

откуда „сила теплового тока“

$$I = \frac{Q}{T} = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{L}{KS}\right)}$$

Если обозначить $\frac{L}{KS}$ через W , то

$$I = \frac{T_1 - T_2}{W}.$$

Чем больше $\frac{L}{KS} = W$, тем, при прочих равных условиях, меньше протечет тепла через данную площадку S ; поэтому W можно называть *сопротивлением току тепла*.

Аналогичную формулу можно было бы вывести для водяного тока. Количество протекшей жидкости через трубу с поперечным сечением S :

$$Q = K \frac{H_1 - H_2}{L} \cdot S \cdot T,$$

где $\frac{H_1 - H_2}{L}$ — падение уровня для данного сечения.

Отсюда I — „сила водяного тока“ — будет:

$$I = \frac{Q}{T} = \frac{H_1 - H_2}{\left(\frac{L}{KS}\right)}$$

Обозначив $\frac{L}{KS}$ через W , получим $W = \frac{L}{KS}$, а

$$I = \frac{H_1 - H_2}{W},$$

где $H_1 - H_2$ — разность уровней, W — сопротивление водяного тока

Ом, повидимому, применил эти выводы к стационарному электрическому току, заменив разность температур разностью напряжений, и получил закон, который он формулирует следующим образом:

„Величина тока гальванической цепи пропорциональна сумме всех напряжений и обратно пропорциональна длине цепи“:

$$S = \frac{A}{L}.$$

Для вольтова столба Ом дает формулу:

$$S = \frac{nA}{nL + \lambda} = \frac{A}{L + \frac{\lambda}{n}},$$

где L — внутреннее сопротивление одной пары, λ — внешнее сопротивление, A — напряжение одной пары и n — число пар. Ом указывает, что если L можно пренебречь в сравнении с величиной $\frac{\lambda}{n}$, то действие столба возрастет пропорционально числу пар.

Своим сравнением электрического тока с тепловым Ом способствовал развитию более ясных представлений о некоторых электрических величинах, которые до него были довольно смутны.

Принимая во внимание представление Вольты о разности напряжений, Ом измеряет разность напряжений при помощи электроסקопа, соединяя один из полюсов с Землей.

„Когда проводники приведены в соприкосновение, — говорит Ом в своем сочинении: „Die galvanische Kette“, — между ними образуется одинаковая во всех точках разность напряжений — „электродвижущая сила“, которая *гонит* электрическую жидкость“.

Введение понятий: „сопротивление“, „сила тока“, составляет несомненную заслугу Ома.

После работ этого ученого стало ясно, что „сила тока“ зависит, с одной стороны, от проводимости, присущей проводнику, с другой — от величины (разности напряжений), которая в электрических явлениях играет ту же роль, что и температура в тепловых.

Закон Ома долго не получал распространения, так как многие физики относились к нему отрицательно. Например Депре в 1852 г. писал, что „закон Ома никак не представляет собой точного выражения фактов“⁵. Между тем Кирхгоф положил закон Ома в основание своих знаменитых работ „о ветвлении тока“ уже в 1847 г. и в 1849 г. заменил „напряжение“ словом „потенциал“; значение закона Ома стало несомненным.

Еще более утвердился в науке закон Ома, когда Гельмгольц в своей работе: „Ueber die Dauer und Verlauf der durch Stromschwankungen inducirten electrischen Ströme“ показал, что закон Ома имеет место не только по отношению к постоянным токам, где выравнивание силы происходит по всей длине проводника, но что в видоизмененном виде закон приложим и к индуктивным токам.

Наконец в 1876 г. „Комиссия Британской ассоциации“ подтвердила еще раз уже старый в то время закон.

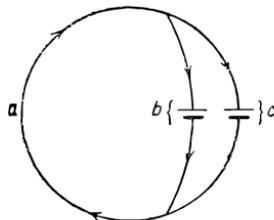
ЗАКОНЫ ВЕТВЛЕНИЯ ТОКА

Эти законы были даны в общем случае Кирхгофом (Kirchhoff, 1824—1887) в 1847 г. В некоторых частных случаях задача ветвления тока была решена рядом физиков еще раньше. Поггендорф еще в 1841 г. показал, какова будет сила тока в различных частях цепи, где соединены два элемента параллельно, и где следует определить силу тока в трех ветвях (см. нижеследующий рис.)

Введем обозначения:

В ветвях

Сила тока	$i = x$	$i_1 = y$	$i_2 = z$
Сопротивление	W	W_1	W_2
Электродвижущая сила . .	O	E_1	E_2



Сила тока в цепи, где соединены два элемента параллельно.

Поггендорф дает следующие решения ⁶:

$$i = \frac{E_2 W_1 + E_1 W_2}{W W_1 + W W_2 + W_1 W_2},$$

$$i_1 = \frac{E_1 (W + W_2) - E_2 W}{W W_1 + W W_2 + W_1 W_2},$$

$$i_2 = \frac{E_2 (W + W_1) - E_1 W}{W W_1 + W W_2 + W_1 W_2}.$$

Эти формулы вытекают из двух соотношений, которые можно написать на основании закона Ома:

$$iW + i_1 W_1 = E_1, \tag{1}$$

$$iW + i_2 W_2 = E_2, \tag{2}$$

и соотношения, которое следует из того, что ток установился, и не может быть накопления электричества в каком-либо месте:

$$i - i_1 - i_2 = 0 \text{ или } i = i_1 + i_2. \tag{3}$$

Мы получили три уравнения. Первые два уравнения и выражают собой 2-е правило Кирхгофа, третье — есть следствие 1-го правила.

Решим теперь наши уравнения, введя новые обозначения: $i = x$; $y = i_1$; $i_2 = z$. Тогда нам придется решать систему уравнений:

$$Wx + W_1 y = E_1,$$

$$Wx + W_2 z = E_2,$$

$$x = y + z,$$

путем исключения неизвестных ^{*}; мы и получим вышенаписанные формулы.

Кирхгоф дал более „общие правила“ или теоремы, позволяющие решать вопрос о силе тока в ветвях цепи ⁷.

Теорема 1-я. „Если несколько проволок 1, 2, 3, . . . , μ сходятся в одной точке, и токи, направленные к ней, считать поло-

^{*} Так, например, чтобы найти $x = i$, умножаем первые два уравнения на W_2 (1-е) и W_1 (2-е) и складываем их, тогда легко исключить $(y + z)$. Получим уравнение с одним неизвестным.

жительными, а от нее — отрицательными, то

$$i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_\mu = 0,$$

или

$$\Sigma i = 0."$$

Эта теорема Кирхгофа выражает собой равенство количества электричества, притекающего в определенный промежуток времени к месту пересечения проволок, и количества, утекающего в тот же промежуток времени от этого места. При отсутствии такого равенства должно было бы происходить накопление или уменьшение количества электричества. (См. верхний левый рис. на этой стр. 162).

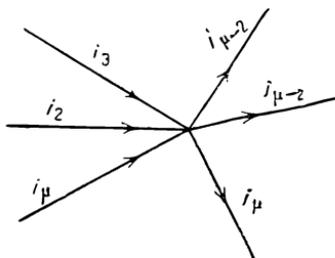


Схема для пояснения 1-го правила Кирхгофа.

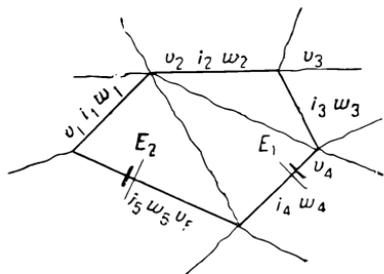


Схема для пояснения 2-го правила Кирхгофа.

Теорема 2-я „Если несколько проволок образуют замкнутую фигуру, то сумма произведений

$$i_1 \omega_1 + i_2 \omega_2 + i_3 \omega_3 + \dots + i_\mu \omega_\mu$$

равна сумме всех электродвижущих сил на всем пути 1, 2, 3, ..., μ , где i_1, i_2, \dots, i_μ — силы токов, а $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_\mu$ — сопротивления, и где токи в одном направлении считаются положительными“. (См. верхний правый рис. на этой стр. 162).

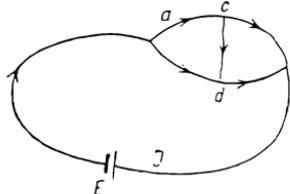


Схема „мостика Уитстона“ 1844 г.

Это второе правило есть обобщенный закон Ома, и оно выводится довольно просто применением закона Ома для отдельных частей цепи.

В целях демонстрации „правил Кирхгофа“ применим их для цепи, использованной Уитстоном в 1844 г. для его „мостика“ и спустя два года (в 1846 г.) — Вебером для общего случая⁵.

Итак, пусть дана цепь, схему которой мы помещаем здесь. Введем обозначения:

Проводники

	aEb	ac	cb	ad	db	cd
Сила тока	I	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5
Сопротивление	W	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5

Тогда, согласно 1-й теореме Кирхгофа, для точек a, b, c и d имеем:

$$\begin{aligned} I - i_1 - i_3 &= 0, & i_1 - i_2 - i_5 &= 0, \\ I - i_2 - i_4 &= 0, & i_3 + i_5 - i_4 &= 0. \end{aligned}$$

Согласно 2-й теореме Кирхгофа для различных контуров, мы можем написать уравнения:

$$\begin{aligned} i_1 w_1 + i_5 w_5 - i_3 w_3 &= 0 && (\text{контур } acd), \\ i_5 w_5 + i_4 w_4 - i_2 w_2 &= 0 && (\text{контур } cdb), \\ IW + i_1 w_1 + i_2 w_2 &= E && (\text{контур } EacbE), \\ IW + i_3 w_3 + i_4 w_4 &= E && (\text{контур } EadbE). \end{aligned}$$

Решая их, мы получим, между прочим, для ветви cd значение силы:

$$i_5 = \frac{E (w_2 w_3 - w_1 w_4)}{A},$$

где

$$\begin{aligned} A = w_5 \{ (w_1 + w_2 + w_3 + w_4) W + (w_1 + w_3) (w_2 + w_4) \} + \\ + W (w_3 + w_4) (w_1 + w_2) + w_1 w_3 (w_2 + w_4) + w_2 w_4 (w_1 + w_3). \end{aligned}$$

Эта сила тока равна нулю в том случае, когда $w_2 w_3 - w_1 w_4 = 0$, или

$$w_2 w_3 = w_1 w_4,$$

или

$$w_1 : w_2 = w_3 : w_4,$$

т. е. когда сопротивления ветвей составляют геометрическую прогрессию. Этот случай нулевого значения и используется в „мостике“ Уитстона.

Литература

- ¹ „Phil. Trans.“ (1826), стр. 433.
- ² „Schweigg. Journ.“, т. 46 (1826), таблица.
- ³ Ibid., стр. 143.
- ⁴ Ibid., стр. 151.
- ⁵ С. R. т. 34 (1852), стр. 781.
- ⁶ Pogg Ann. т. 54 (1841).
- ⁷ Ibid., т. 64 (1845), стр. 512.
- ⁸ Ibid., т. 67 (1846), стр. 273.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрением вопросов по общей теории тока мы заканчиваем данную книгу. Большинство из разобранных нами явлений находили себе объяснение в теории дальнего действия Кулона и теории Саймера или Франклина об „электрических жидкостях“.

Эти теории, не исключая одна другую, могли объяснить, как казалось физикам первой четверти XIX века, почти все явления по электричеству.

Ученые того времени почему-то мало обращали внимания на тепловое действие тока, на свойство пламени разряжать электроскоп, — факт, который был известен еще Джильберту и ученикам Галилея — академиком дель Чименто. Также крайне мало внимания обращали на химические действия тока.

Дальнейший шаг в развитии электричества был сделан Фарадеем — знаменитым ученым первой половины XIX века. Деятельность и изобретения этого ученого самоучки, а также дальнейшая история электричества будут освещены в последующих наших работах по истории развития науки.

ЛЕТОПИСЬ ОТКРЫТИЙ, ИЗОБРЕТЕНИЙ И СОБЫТИЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ, МАГНЕТИЗМУ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

- 590 (до н. э.) Греческому мудрецу Фалесу известно, по свидетельству Аристотеля (см. „*О душе*“, кн. I, гл. 2), что *магнит* притягивает железо, а янтарь при натирании электризуется.
- 48 (н. э.) Римский врач Скрибоний применяет электричество некоторых рыб для лечения болезней. Ударами электрического угря он лечит подагру (*Scrib., Larg. Compositiones, Leipzig 1887, стр. 9*).
- 60 Римский поэт Лукреций в своей поэме: „О природе вещей“ упоминает о многих свойствах магнита (кн. VI, строфы 1031, 1041, 908 и пр).
- 121 Китаец Сю-Цзин говорит в знаменитом словаре „Шо — вэнь“, что „магнит — название камня, который может дать игле направление“ (*A. Wittstein, Klapproth's Schreiben an Humboldt, Leipzig 1885, стр. 2—3*).
- 235 Уже с уверенностью можно сказать, что в 235 г. в Китае существовали „югоуказатели“, как это видно из книги „Цзун-цзянь-ганму“ (изд. 1707 г., лист 29).
- 380 Во времена царствования династии Цинь (Ch'in) (265—419) китайские корабли при помощи компаса имеют возможность посетить восточные берега Африки [D].
- 815 В Китае при царе Хао-Цзун известно уже явление склонения магнитной стрелки (*Feldhaus-Fitze, стр. 12*).
- 854 Из одного арабского сочинения 854 г. можно сделать заключение, что арабам известен компас (*G. Jakob, „Oestliche Kulturelemente im Abendland“, Berlin 1902, стр. 13*).
- 1068 Норвежская летопись сообщает, что при ориентации в шахтах употреблялся компас (*Боднарский, О земном магнетизме, М. 1914, стр. 5*).
- 1110 Исландцам известен компас („*Schweigg. Journ.*“, т. 15, стр. 61).
- 1181 В поэме Гюйо (*Guyot de Provins*) описывается намагниченная игла, которая „непрерывно поворачивается к полярной звезде, если ее положить на соломинку“ (*Уэвель, История индуктивных наук, т. III, стр. 57*).
- 1190 Трубадур Юз де-Берси (*Huges de Bercy*) описывает компас в виде плавающей намагниченной иглы (*Rühlman, Alg. Maschinenlehre, т. V, стр. 214*).
- 1195 Англичанин Некэм (*Neskam*) в своей рукописи: „О природе вещей“ (1195) впервые указывает, что сталь можно намагнитить, а также описывает водяную буссоль („*De naturis rerum*“, гл. 98, стр. 183).
- 1242 Арабский ученый Байлак (*Bailak*) свидетельствует, что дорогу морякам может указать компас [D].
- 1269 Француз Петр из Марекюра (*Petrus Peregrinus de Marécourt*) или „Петрус Перегринус“ производит исследования по магнетизму и делает попытку построить при помощи магнита вечный двигатель

- В этом сочинении имеется рисунок компаса — самый древний, дошедший до нас (1-е изд. 1558 г. „*Epistola Petri Peregrini de magnete*“, „*Neudruck*“, Berlin 1898, № 10).
- 1286 В сочинении алхимика Раймонда Лулла „О мореходстве“ указано, что моряки пользуются „измерительными инструментами, морскими картами и магнитною стрелкою“ (*Гумбольдт*, *Космос*, ч. II, изд. 1876 г., стр. 212).
- 1302 Флавио Джойя, которому в Италии поставлен памятник, как изобретателю компаса; на самом же деле он снабжает в это время компас лишь циферблатом (*Rühlman*, *Alg. Maschinenlehre*, т. V, стр. 214) [D] (*I. Klaproth*, *Lettre à Mr. Humboldt*, Paris 1834).
- 1400 В книге архитектора Вилляра впервые дается рисунок карданового подвеса для морского компаса (*Rühlman*, *Alg. Maschinenlehre*, т. V, стр. 216).
- 1451 Древнейший компас, дошедший до нас, относится к 1451 г. и хранится в Инсбурге („*Mitt. d. geogr. Geselsch.*, München 1905, стр. 161).
- 1492 Колумб замечает изменение склонения магнитной стрелки из О в W (*Гумбольдт*, *Космос*, т. II, М. 1868, стр. 230).
- 1530 Фракасторо (*Girolamo Fracastoro*) впервые говорит о магнитном полюсе Земли, представляя его себе, однако, в виде „горы на севере“ (*Fracastoro*, *De Sympthatia*, кн. I, гл. 7, 1574, стр. 63).
- 1538 Джоао да-Касторо (*João da Castoro*) делает впервые большое число наблюдений, пользуясь прибором Нунеса (*Nunez*), т. е. нониусом [D].
- 1539 Астроном Ретикус (*Rhaeticus*) дает впервые указания о намагничивании компаса путем натирания [D].
- 1544 Гартманн в письме от 4 марта 1544 г. к герцогу Альбрехту Прусскому сообщает, что „северный конец стрелки уклоняется вниз“, т. е. открывает наклонение магнитной стрелки (*Брит. энц.*, т. 15, стр. 221, 9-е изд.).
- 1562 Выходит книга о магните Ганнонио (*Hannonio*) „*De natura magnetis et ejus effectibus*“ („*Почт.-тел. ж.*“, 1900, стр. 1165).
- 1576 Лондонский компасный мастер Норман (*Norman*), слыша отовсюду жалобы, что его компасы верны только для Лондона, впервые измеряет наклонение магнитной стрелки и находит его величину $71^{\circ}50'$ (*Боднарский*, *О земном магнетизме*, стр. 7).
- 1580 Сарпи (*Paolo Sarpi*) указывает впервые, что магнит через влияние становится также магнитом (*S. P. Thompson*, *Notes on the „De magnetete“*, London 1901, стр. 16).
- 1588 Ливьо Сануто (*Livio Sanuto*) впервые говорит о двух магнитных полюсах Земли [D].
- 1597 Вильям Барлоу (*William Barlow*) впервые замечает, что железные массы корабля нарушают работу компаса, в сочинении, им изданном: „*The navigator's supply*“ [D].
- 1600 Выходит из печати книга английского врача Джильберта: „О магните, магнитных телах и большом магните — Земле“, — сочинение, содержащее в себе все, что было известно о магнетизме до 1600 г. Джильберт излагает основы учения о земном магнетизме и дает впервые правильное объяснение наклонения. Джильберт указывает, что кусок железа можно намагнитить от земного магнетизма. Джильберту известно, что кроме янтаря имеются еще другие тела, которые при натирании „электризуются“. Он вводит понятие „электрическая сила“.
- 1635 Джильберт пользуется в качестве электроскопа „электрической стрелкой“. Генри Геллибранд впервые приводит доказательства о вековом изменении склонения магнитной стрелки („*A discourse mathematical on the variation of the magnetic needle etc.*“, London 1635).
- 1639 Выходит из печати „Магнитная философия“ — Кабео, где дана „теория истечения“ для объяснения магнитных притяжений (*Gerland*, *Geschichte der Physik*, стр. 311).

- 1641 В третьей книге своего сочинения „О магните“ Кирхер употребляет впервые слово „электромагнетизм“, но не в том смысле, как понимаем мы его теперь [D].
- 1657 Академиком дель Чименто известно свойство пламени производить разряд наэлектризованного тела (*Gerland, Geschichte der Physik*, стр. 524).
- 1663 Герике закончил свою книгу „Об опытах над получением пустоты“, как это видно из предисловия. В этой книге описана электрическая машина трения и впервые указано, что наэлектризованное тело не только притягивает, но может также и отталкивать („*Experimenta nova*“, *Amsterd.* 1672, стр. 142).
- 1672 В письме от 1 марта 1672 г. к Герике Лейбниц указывает, что он наблюдал электрическую искру [„*E.T.Z.*“, т. 4 (1883), стр. 249].
- 1675 Роберт Бойль обнаруживает на опыте, что все тела электризуются лучше, если их перед трением нагреть (*Boyle, Experiments... of Electricity*, London 1676).
- 1683 Галлей развивает новую теорию земного магнетизма, предполагая в Земле вместо двух полюсов, как это предполагал Джильберт, четыре („*Phil. Trans.*“, 1683).
- 1684 Гук делает доклад 21 мая 1684 г. на заседании Лондонского королевского общества об изобретенном им оптическом телеграфе (*Birch, History of Roy. Soc.*, т. III, стр. 12).
- 1695 Амонгон (*Guillaume Amontons*) изобретает оптический телеграф, где показывались большого размера буквы на крыльях медленно движущейся ветряной мельницы („*Mém de l' Acad. de Paris.*“, 1705).
- 1705 Хоксби (*Hawksbee*), наблюдая электризацию стекла в торичеллиевой трубке, предлагает в электрической машине заменить серный шар — стеклянным („*Phil. Trans.*“, 1705).
- 1708 Английский физик Уолл (*Wall*) впервые делает сравнение между электрической искрой и молнией („*Phil. Trans.*“, abridg., т. 26, № 314, стр. 71).
- 1716 Галлей делает попытку объяснить наблюдаемое им северное сияние (17 марта 1716) земным магнетизмом („*Phil. Trans.*“, т. 29, стр. 73).
- 1722 Георг Грэм (*George Graham*) открывает изменение склонения и наклона даже в течение суток (*Брит. энц.*, т. 16, стр. 168).
- 1729 Стефан Грей (*Gray*) открывает 3 июля 1729 г. разницу между проводниками и непроводниками электричества („*Phil. Trans.*“, т. 37, стр. 417).
- 1730 Французский физик дю-Фей (*du-Fay*) впервые открывает „два рода“ электричества, которые он называет одно — „стеклянным“, а другое — „смоляным“ („*Mém. de l'Acad. de Paris*“, 1733, стр. 23, 73).
- 1732 Грей изобретает прибор для изоляции наэлектризованных тел в виде смоляного кружка („*Phil. Trans.*“, 1731—1732).
- 1733 Дю-Фей обнаруживает, что воздух вблизи докрасна накаливаемого тела оказывается проводником электричества („*Mém. de l' Acad. de Paris*“, 1733, стр. 467).
- 1741 Хиергер (*Hjörter*) в Упсале наблюдает 1 марта 1741 г. полярное сияние и обнаруживает его влияние на магнитную стрелку (*Feldhaus-Fitzke*, стр. 30).
- 1742 Дезагюлье вводит термин „кондуктор“ для обозначения проводников электричества (*Desaguliers, Cours. of. Exp. Phys.*, 1744).
- 1743 Гаузен (*Hausen*) строит электрическую машину трения, где натирается руками стеклянный шар (*Hausen, Novi profectus in historia electricitatis*, 1743).
- 1744 Даниил Бернулли впервые придает магниту подковообразную форму. Бозе (*Bose*) вводит в электрическую машину „кондуктор“ для собирания электричества („*Phil. Trans.*“, т. 3, стр. 296).
Лейпцигский профессор Винклер (*Johann Heinr. Winkler*) обнаруживает, что Земля — проводник электричества и улучшает электрическую машину трения тем, что вводит „подушку“, прижимая ее к стеклу пружиной (*Winkler, Gedanken von der Eigenschaften der Electr.*, 1744).

- 1745 На заседании Берлинской академии наук 24 января 1745 г. впервые зажигают при помощи электрической искры эфир (*Feldhaus, Techn. d. Forz.*, стр. 253).
- 1745 Клейст открывает 11 октября 1745 г. свойство проводников, отведенных к земле, увеличивать свою емкость (См. *Feldhaus, Kleist* 1903).
- 1746 Нолле впервые показывает, что с помощью электричества можно убить живое существо, умертвив разрядом воробья (*Nollet, Lettres sur l'électricité*, Paris 1853, т. V, стр. 83).
- Крюгер (I. G. Krüger) показывает, что электричество может произвести химические действия, заставив под влиянием искры изменить окраску мака (*Krüger, Geschichte der Erde*, Halle 1746, стр. 176).
- Вильсон (Benjamin Wilson) впервые в своей машине употребляет гребенку в качестве „коллектора“ (*Pristley, Geschichte der El.*, 1772, стр. 348).
- Лейденский профессор Мушенбрек пишет письмо в Париж 2 апреля 1745 г. о своем „опыте с банкой“, получившем название „опыта с лейденской банкой“ (см. 1745 г.) (*Figuiet, Merv. de la Science*, т. I, стр. 461).
- Вильсон обнаруживает, что количество электричества, собираемое в „лейденской банке“, пропорционально величине обкладки и обратно пропорционально толщине изоляционного слоя (*Wilson, Essay*, стр. 88).
- 1747 В письме от 11 июля 1747 г. Франклин впервые указывает свойство остриев собирать электричество (*Hoppe, Gesch. d. Electr.*, Leipzig 1834, стр. 34).
- Уатсон во время опытов 24 июля 1747 г. открывает проводимость земли (см. 1744 г.) (*Albrecht, Gesch. d. Electricität*, 1885, стр. 36).
- В письме от 29 июля 1747 г. Франклин развивает свою теорию электричества („унитарная теория“) (*Feldhaus, Technik d. Forz.*, 1914, стр. 253).
- Уатсону удается передать 14 августа 1747 г. электричество на расстоянии 6 км („*Phil. Trans.*“, abr., т. 10, стр. 363).
- В письме от 1 сентября 1747 г. Франклин развивает свою теорию лейденской банки (*Feldhaus-Fitze*, стр. 33).
- 1749 Франклин впервые сооружает 7 ноября 1749 г. громоотвод, как это видно из его писем (*Franklin, Lettres*, стр. 62 и 124).
- 1751 Парижский ботаник Адаксон во время своего путешествия на Сенегал впервые сравнивает удар электрического урга с ударом лейденской банки („*Mém. de l' Acad. de Paris*“, 1782).
- 1752 Далибару путем опыта 10 мая 1752 г. удается показать электрическую природу молнии (*Figuiet, Merv. de la Science*, т. I, стр. 521).
- Франклин производит в июне 1752 г. свой знаменитый опыт со змеем и обнаруживает электрическую природу молнии (*Feldhaus-Fitze*, стр. 35).
- Парижский врач Лемонье (Le Monnier) путем опытов, начиная с 6 июня 1747 г., обнаруживает присутствие атмосферного электричества даже при ясном небе („*Mém. de l' Acad. de Paris*“, 1752, стр. 233).
- 1753 Английский физик Кантон открывает „электричество через влияние“. Вильке в том же году дает теорию этого явления („*Phil. Trans.*“, т. 48, 1754, стр. 486).
- Во время опытов по атмосферному электричеству убит молнией 6 августа 1753 г. (нов. ст.) русский академик Рихман („СПБ Ведомости“, 1753, 3 августа).
- Английский физик Уатсон описывает в английском журнале „*Phil. Trans.*“ (т. 47, стр. 350) изобретенный Рихманом „электрический указатель“, который по существу является электрометром.
- 1754 Джон Кантон показывает, что турмалин от нагревания электризуется, т. е. открывает „пироэлектричество“ („*Phil. Trans.*“, 1754—„On some new electric experiments.“).
- 1755 Планта (Martin Planta) строит первую электрическую машину трения со стеклянными дисками (*Gehler, Phys. Wörterbuch*, 2. Aufl., т. III, стр. 431).

- 1756 Марко Кальдани наблюдает явление с лапкой лягушки вблизи электрической машины, не придавая, однако, значения этому явлению (*Caldani, Sull Insesivita ed irritabilita di alcune parte degli animali, Bologna 1757*) (см. 1780 г.).
- 1757 Эйлер пытается показать, что двух полюсов достаточно для объяснения земного магнетизма, причем он показывает, что эти полюса лежат не в одном меридиане (*„Mém. de l' Acad. à Berlin“, 1757*).
- 1758 Вильке впервые показывает, что при натирании образуются оба электричества [см. *Riess, „Pogg. Ann.“, т. 160 (1877), стр. 592*].
- 1759 Роберт Саймер развивает свою „дуалистическую теорию электричества“ (*Symmer, „Phil. Trans.“, 1759, 4 статьи*). Вильке делает впервые попытку расположить все тела в ряд: + стекло, шерсть, дерево, бумага, лак, белый воск, матовое стекло, свинец, сера, металлы. — Рисс впервые в 1877 г. сделал возражение против подобных рядов [„*Phil. Trans.“, т. 11 (1759), стр. 401; „Pogg. Ann.“, (1877), стр. 589*]. Кантон докладывает на заседании Лондонского королевского общества 13 декабря 1759 г., что с 1756 г. им производились наблюдения магнитной стрелки, и из 4000 наблюдений он делает заключение, что „вариация летом больше, чем зимой“ (*Брит. энц., т. 16, стр. 168*). Петербургский академик Эпинус (*Aepinus*) впервые отказывается от картезианской теории и вводит в учение об электричестве философию Ньютона, т. е. развивает теорию „действия на расстоянии“ (*Aepinus, Tentamen electricitatis., Rostock 1759*).
- 1760 Впервые в Европе водружен громоотвод на Эдистонском маяке [„*Phil. Trans.“, т. 54 (1764), стр. 247*].
- 1762 Кантон улучшает устройство электрической машины трения тем, что предлагает подушку покрывать амальгамой [„*Phil. Trans.“, т. 52 (1762), стр. 461*]. Женевец Лесаж проектирует род электрического телеграфа, в котором при помощи 24 изолированных проволок передавалось статическое электричество и обнаруживалось на другом конце обыкновенным электроскопом. В 1774 г. он осуществил этот телеграф (*Figuiet, Merv. de la Science, т. II, стр. 14*). Вильке открывает принцип электрофора (*Feldhaus-Fitze, стр. 37*).
- 1767 Беккариа путем электрического разряда от лейденской банки разлагает некоторые окиси металлов „*Lettere dell' elettricismo“*, 1767, стр. 282).
- 1768 Вильке строит первую карту наклоения — „изоклиническую карту Земли“ (*Бондарский, О земном магнетизме, стр. 8*).
- 1773 Хэнтер (*Hunter*) публикует свои исследования над электрическим органом электрического угря [„*Phil. Trans.“, т. 64 (1773), стр. 365*].
- 1775 Вольта строит „электрофор“ („*Sull' elettroforo*“) в сочинении „*Sceleta di oruscoli interessanti di Milano*“, т. 9, стр. 91). Пристли наблюдает, каким изменениям подвергается воздух под влиянием искры и получает неверный результат, что при разряде образуется углекислота (*Оствальд, История электрохимии, СПб. 1911, стр. 31*).
- 1777 Лихтенберг открывает новые фигуры, носящие его имя. Вольта в письме к Барлетти от 15 апреля 1777 г. показывает, что при помощи батареи лейденских банок можно выстрелить из пистолета („*Tage der Technik.*“). Кавалло улучшает предложенный Кантоном электроскоп, поместив в стеклянный сосуд маятник.
- 1778 Бругманс (*Brugmans*) замечает „совсем противоположное действие магнита на висмут“ (*Брит. энц., т. 15, стр. 261*). В письме к Соссюру от 20 августа 1778 г. Вольта впервые вводит понятие „напряжение“ („*Coll dell' opere.*“, 1816, т. I, стр. 165). Лихтенберг вводит „плюс“ и „минус“ для обозначения положительного и отрицательного электричества („*Comm. Societ. Reg. Götting.*“, 1778, стр. 69).

- 1780 Гальвани производит 6 ноября 1780 г. свой знаменитый опыт с лягушечьей лапкой и объясняет его „животным электричеством“ (Ostw. Klass., № 52).
- 1781 Лавуазье и Лаплас делают доклад 6 марта 1781 г., что электричество получается при испарении („Mém. de l'Acad. de Paris.“, т. 100, 1781).
- 1782 Гай (Нау) открывает „пиезоэлектричество“ [D].
Вольта строит свой электроскоп с конденсатором [„Phil. Trans.“, т. 72 (1782), стр. 237].
- 1784 Кулон строит „электрические и магнитные весы“ и о своем изобретении докладывает Парижской академии наук („Mém. de l'Acad. de Paris“, 1784, стр. 229 и 1785, стр. 569).
- 1785 Кулон устанавливает закон взаимодействия двух магнитных полюсов („Mém. de l'Acad. de Paris“, 1785, стр. 569).
Кулон изучает вопрос о потере заряда через воздух („Mém. de l'Acad. de Paris“, 1785, стр. 612).
Спутником экспедиции Ла-Перуза Ламаноном при помощи метода качаний было обнаружено изменение напряжения земного магнетизма, но это явление стало известно только после работ Гумбольта (см. 1804 г.) (см. „Космос“, ч. I, стр. 363).
- 1786 В письме к Пристли Беннет описывает 14 сентября 1786 г. электроскоп с золотыми листочками [„Phil. Trans.“, т. 77 (1787), стр. 26].
Кулон открывает закон взаимодействия двух электрических зарядов („Hist. et Mém. de l'Acad. de Paris“, 1786, стр. 67—77).
Кулон на опыте впервые показывает, что электричество расположено на поверхности проводника (Ibid., 67—77).
Гальвани 26 апреля 1786 г. при помощи лягушечьей лапки и проволоки обнаруживает приближение грозы (Oettingen, Galvani, Leipzig 1894).
- 1787 Беннет (Benpet) изобретает „дубликатор“ [„Phil. Trans.“, т. 77 (1787), стр. 228].
- 1788 Кавалло улучшает электрофорную машину Беннета [„Phil. Trans.“, т. 78 (1788), стр. 1].
В письме к Банксу от 5 июня 1788 г. Никольсон описывает свой прибор, который он называет „удвоитель“ [„Phil. Trans.“, т. 78 (1788), стр. 255].
- 1789 Кулон развивает новую теорию магнетизма, согласно которой каждая молекула является магнитом [„Coll. de Mém. relat. à la Phys.“, т. I (1834), стр. 302].
Вольта, повторив опыт Гальвани с лягушечьей лапкой, обнаруживает явление электризации через соприкосновение разнородных металлов („Coll. dell' opere“, т. 2, стр. 59).
- 1791 Гальвани публикует свой мемуар „О животном электричестве“ („De viribus electricitatis in motu musculari“) (Ostw. Klass., № 52).
- 1792 Французский изобретатель Шапп (Charpe) излагает перед национальным конвентом 23 марта 1792 г. устройство своего оптического телеграфа („Электричество“, 1880, стр. 34, № 2).
Вольта устанавливает законы напряжений при соприкосновении проводников (письмо к Альдини от 24 ноября 1792 г.).
- 1796 Вольта в письме к Грэнну от первого августа 1796 г. впервые употребляет слово „гальванизм“ (Ostw. Klass., № 118, стр. 55).
- 1800 В письме к Банксу от 20 марта 1800 г. Вольта извещает об открытии им „электрического органа“, который впоследствии получает название „вольтова столба“, а затем „гальванического элемента“ („Phil. Trans.“, 1800, стр. 403—431).
Никольсон и Карлейль производят 6 мая 1800 г. разложение током воды [„Gilb. Ann.“, т. 6 (1800), стр. 340].
Крюикшенк (Cruiss Shank) открывает, что при электролизе поваренной соли на отрицательном полюсе отлагается едкий натр [„Gilb Ann.“, т. 6 (1800), стр. 360].
- 1801 Крюикшенк дает вольтову столбу форму „ящичкового столба“ [„Gilb. Ann.“, т. 7 (1801), стр. 99].

- Риттер (Ritter) открывает свойство гальванического тока приводить в движение жидкости [D].
- Эрман путем опытов устанавливает, что вода проводит ток тем хуже, чем она чище [„Gilb. Ann.“, т. 8 (1801), стр. 197].
- Дэви показывает, что газы, получаемые от разложения воды, находятся в том же отношении, что и при образовании из них воды [„Gilb. Ann.“, т. 7 (1801), стр. 114].
- Симон (P. L. Simon) показывает, что серная кислота, так же как вода, дает при пропускании через нее тока водород и кислород [„Gilb. Ann.“, т. 8 (1801), стр. 32].
- Симон строит „гальваноскоп“, который по существу является „гальванометром“, т. е. измерителем силы тока. Он превосходит законы Фарадея [„Gilb. Ann.“, т. 8 (1801), стр. 28].
- 1802 Готеро открывает гальваническую поляризацию [„Journ. de Phys.“, т. 56 (1803)].
- 1802 Вольта устанавливает свой ряд напряжений при соприкосновении металлов: цинк, свинец, олово, железо, медь, серебро, золото, уголь, графит [„Gilb. Ann.“, т. 10 (1802), стр. 421].
- Никольсон впервые наблюдает искру при „гальваническом токе“. „При прерывании тока, — говорит он, — возникает искра, очень похожая на электрическую искру“ [D].
- Робертсон замечает искру между углями при прохождении через них тока [„Journ. de Paris“, 22 ventôse, an X (12 марта 1802 г.)].
- В. В. Петров получает впервые „вольтову дугу“, которой он освещает комнату, — 23 ноября 1802 г. („Почт.-тел. ж.“, 1894, стр. 175).
- 1803 Дэви обнаруживает при электролизе сернокислого калия (K_2SO_4), что едкий калий (KOH) осаждается на отрицательном полюсе, а на положительном — серная кислота (H_2SO_4) [D].
- Берцелиус впервые указывает, что „вещества, направляющиеся к одному и тому же полюсу, имеют нечто общее между собой...“ [„Neu allg. Journ. der Ch.“, т. I (1803), стр. 115].
- Риттер строит первый вторичный элемент [D].
- 1804 Гумбольдт открывает изменение напряжения земного магнетизма во время путешествия по Южной Франции, Испании, Африки и Америки („Космос“ 1866, т. I, стр. 362).
- 1805 Брунетелли производит золочение при помощи тока [„Phil. Mag.“, т. 21 (1805), стр. 187].
- Гротгус развивает свою теорию электролиза [„Ann. de Ch.“, т. 58 (1806), стр. 54].
- 1806 Дэви в своей лекции 20 ноября 1806 г. развивает новую электротехническую теорию электричества [„Phil. Trans.“, т. 97 (1807), стр. 1].
- Беренс впервые строит так называемый „сухой элемент“ [„Gilb. Ann.“, т. 23 (1806), стр. 1 и 25].
- 1807 При помощи огромной батареи Дэви открывает 6 ноября 1807 г. новый металл, который он называет „потассием“ (калий). А затем вскоре и натрий [„Phil. Trans.“, т. 98 (1808), стр. 1].
- Реусс впервые наблюдает электрический эндосмос [D].
- 1808 Дэви извещает Королевское общество в Лондоне, что им открыты магний и стронций (Брит. энц., т. 6, стр. 846).
- Дэви открывает *барий* в барите и *кальций* в извести [D].
- 1809 Семмеринг изобретает электролитический телеграф с 35 проводками. 22 июля 1809 г. в его записной книжке помечено: „Наковец телеграф готов“ („Почт.-тел. ж.“, 1896, стр. 1321.)
- 1810 П. А. Шиллинг производит опыты с проволокой, покрытой для изоляции раствором каучука (О. Д. Хвольсон, Популярные лекции по электричеству, 1884, стр. 199).
- 1811 Пуассон дает теорию распределения электричества на двух шарах („Mém. de l'Inst. de France.“, 1811, стр. 1163).
- Вульстен (Wollaston) улучшает „вольтов столб“ [„Thoms. Journ.“, т. 6 (1815), стр. 209].

- 1812 Замбони изобретает „сухой столб“ [„Gilb. Ann.“, т. 40 (1812), стр. 151].
П. А. Шиллинг впервые делает опыт путем кабеля взорвать мину через Неву („Почт.-тел. ж.“, 1897, стр. 400).
- 1815 Пипис (Pepys) цементировал нагретую током проволоку [„Phil. Trans.“, 15 (1815), стр. 370].
- 1816 Рональдс строит электрический телеграф (*Feldhaus*, *Techn. d. Forz.*, стр. 1141).
Био (Biot) дает формулу $y = a(b^x - b^{2y-x})$ для вычисления распределения магнетизма [„Traité de Phys.“, т. 3 (1816), стр. 76].
- 1817 Лампадиус издает учебник по „электрохимии“. Слово „электрохимия“ введено им. (*Lampadius*, *Grundriss d. Electrochemie*, 8°, Freiburg 1817).
Робертсон — известный аэронавт — строит часы, которые приводятся в движение столбиком Замбони (*Feldhaus*, *Techn. d. Forz.*, стр. 1203).
- 1818 Боненберг строит свой электроскоп [„Schweigg. Journ.“, т. 25 (1819), стр. 159].
- 1818 Дэви путем электролиза окиси лития (Li_2O) открывает литий [D].
Берцелиус, развивая свою теорию, считает, что каждое сложное тело может быть разложено на две части, из которых одна электроотрицательна, а другая — электроположительна (*Ostwald*, *Electrochemie*, стр. 337).
- 1819 В декабре этого года Эрстед делает открытие действия тока на магнитную стрелку („Schweigg. Journ.“, 1820, стр. 275).
Ганстен публикует свою работу по земному магнетизму („Untersuchungen über d. Magn. d. Erde.“, in 4°, Atlas, Christiania, 1819).
Сабайн (Sabine) во время путешествия Парри производит много наблюдений по земному магнетизму, которые впоследствии используются Гаусс для вывода своей формулы потенциала земного магнетизма („Phil. Trans.“, 1819).
- 1820 А. С. Беккерель 20 марта 1820 г. показывает, что электричество возникает при давлении и резании (*Albrecht*, *Gesch. d. Electr.*, стр. 102).
Эрстед публикует в журнале 21 июня 1820 г. свое открытие — действие тока на магнитную стрелку (*Feldhaus*, *Lex.*, стр. 76).
Де-ла-Рив впервые, по мнению Норре, получает „вольтову дугу“ 24 июля 1820 г. на съезде естествоиспытателей (*Norpe*, *Gesch. d. El.*, стр. 514).
Швейггер на съезде естествоиспытателей в Галле 16 сентября 1820 г. демонстрирует свой „мультипликатор“ [„Journ. f. Ch. et Ph.“, т. 31 (1821), стр. 2].
Ампер в докладе Академии наук 18 сентября 1820 г. впервые развивает свою теорию магнетизма и устанавливает „правило пловца“, а вместе с ним понятие о направлении тока („Coll. de Mém.“, т. II, стр. 22).
Араго на заседании в „Бюро долгот“ 20 сентября 1820 г. демонстрирует притяжение опилок проволокой, по которой течет ток (*Figuiet*, *Mérv. de la Science*, т. I, стр. 719).
Ампер, исходя из развитой им теории магнетизма, докладывает 25 сентября 1820 г. о своем новом открытии — взаимодействии *кру-товых* токов (*Launay*, *Le grand Ampère*, стр. 196).
Ампер на заседании Академии наук 2 октября 1820 г. высказывает идею об электромагнитном телеграфе („Почт.-тел. ж.“, 1896, стр. 1186).
Ампер демонстрирует 9 октября свой „станок“ („Mém.“, т. II, стр. 50).
23 октября 1820 г. Ампер на заседании Академии наук указывает, что опыт Араго произойдет лучше, если проволоку взять в виде спирали, и также отмечает, что все известные факты очень хорошо укладываются в его теорию („Mém.“, т. II, стр. 64).
Био и Савар докладывают об открытом ими законе действия тока на магнитную стрелку 30 октября 1820 г. [„Ann. de Ch. et Ph.“, т. 15 (1820), стр. 222; „Coll. d. Mém.“, т. II, стр. 80].
Араго извещает в журнале „Moniteur“ (№ 315, 10 ноября 1820 г.), что ему удалось при помощи тока намагнитить иглу (*Norpe*, *Gesch. d. El.*, стр. 217).

- Ампер 30 октября 1820 г. докладывает о своем новом открытии — действии Земли на токи („Mém.“, т. II, стр. 33).
- Ампер читает на заседании Академии наук 4 декабря 1820 г. свой мемуар о законе взаимодействия элементарных токов („Coll. de Mém.“, т. II, стр. 128).
- Зеебек в докладе 14 декабря 1820 г. сравнивает ток с магнитом (Albrecht, стр. 188).
- 1821 Дэви делает первые измерения проводимости металлов („Gilb. Ann.“, т. 71 (1821), стр. 425).
- Дэви открывает, что „вольтова дуга“ отклоняется магнитом, и об этом докладывает в Лондонском королевском обществе 5 июля 1821 г. („Phil. Trans.“, (1821), стр. 425).
- Зеебек открывает явление „термоэлектричества“, которое называет „термомагнетизмом“, о чем он и докладывает 22 августа 1822 г. в Берлинской академии наук („Gilb. Ann.“, т. 73 (1823), стр. 115 и 430).
- 1821 Ампер развивает теорию электрохимии („Journ. d. Phys.“, т. 93 (1821), стр. 450).
- Фарадей открывает электромагнитное вращение тока вокруг магнита („Exp. Res.“, т. II, стр. 127).
- Ампер строит прибор, где вращается ток вокруг магнита (Ann. de Ch. et Ph.“, т. 18, стр. 331).
- Ампер публикует свою теорию магнетизма в журнале („Journ. de Phys.“, т. 93 (1821), стр. 441).
- 1822 Ампер сообщает на заседании Французской академии наук общую формулу, выражающую взаимодействие двух элементарных токов („Ann. de Ch. et Ph.“, т. 20 (1822), стр. 60).
- 1823 Гаррис делает опыт зажечь порох на расстоянии (ср. 1812 г.) [D].
- Зеебек устанавливает „ряд“ по термоэлектричеству, аналогичный ряду Вольты („Abh. d. Akad. z. Berlin“, 1822/23, стр. 284).
- Эрстед и Фурье строят первый термоэлектрический элемент из висмута и сурьмы, при помощи которого удается произвести химическое действие тока [D].
- 1824 Барлоу строит свое „колесо“ („Coll. de Mém.“, т. II).
- Араго открывает в ноябре 1824 г. „магнетизм вращения“. Об этом открытии он докладывает в Академии 7 марта 1825 г. (Брит. энц., т. II, стр. 303).
- Астроном Сэвери наблюдает аномалию в намагничивании при помощи лейденской банки [D].
- Пуассон развивает на заседании Академии наук свою теорию магнетизма 2 февраля и 27 декабря 1824 г. („Mém. de l'Acad. de Paris“, т. 5, стр. 247).
- 1825 Купфер открывает, что намагничивание убывает с повышением температуры [D].
- Нобили соединяет аstaticкую стрелку с мультипликатором и строит таким образом „гальванометр“ („Bibl. Univ.“, т. 29 (1825), стр. 119).
- Стерджен (William Sturgeon) в речи, произнесенной на заседании общества ремесел (Society of Arts), описывает электромагнит и затем в 1826 г. публикует это изобретение („Trans. of the Soc. of Arts.“, 1826).
- 1826 Ом на опыте с термоэлементом открывает основной закон электрического тока („Schweigg. Journ.“, т. 46 (1826), стр. 137).
- А. С. Беккерель открывает зависимость термоэлектродвижущей силы от температуры („Ann. de Ch. et Ph.“, т. 31 (1826), стр. 420).
- Поггендорф предлагает для измерения суточного магнитного склонения воспользоваться „зеркальным отсчетом“ („Pogg. Ann.“, т. 7 (1826), стр. 127).
- 1827 Генри публикует 10 октября 1827 г. свои исследования по электромагнетизму, где впервые предлагает изолировать провода шелком (Брит. энц., т. II, стр. 675).
- На маневрах под Красным П. Л. Шиллинг показывает опыты взрывов мин посредством тока, „что приводит в восторг и удивление всех присутствующих“ („Электричество“, 1881, стр. 208).

- Пулье (Pouillet) на основании опытов старается показать, что источником атмосферного электричества является испарение воды с поверхности морей [*Ann. de Ch. et Phys.*., (2), т. 35 (1827), стр. 401].
- 1828 А. С. Беккерель наблюдает диамагнетизм *сурьмы*, о чем он докладывает 27 сентября 1827 г. *Bull. univ. de Sciences*, т. 7 (1827), стр. 371.
- 1829 Фехнер (Fechner) строит телеграф согласно идее Ампера, с 24 магнитными стрелками, 48 проводами [D].
- Пуассон дает полное теоретическое решение вопроса о равновесии компасной стрелки корабля (*А. Н. Крылов*, *Земной магнетизм*, 1922, стр. 25).
- Эдмонд Беккерель (Bequerel) изобретает элемент, аналогичный элементу Даниэля (см. 1840 г.) [*Ann. de Ch. et Ph.*., т. 41 (1829), стр. 22]. Спор о приоритете. [*Ann. de Ch. et Ph.*., т. 3 (1841), стр. 401, 412, 436].
- 1829 А. Гумбольдту удается в 1829—1830 гг. распространить наблюдения относительно земного магнетизма по всему земному шару путем обращений к русскому правительству и Лондонскому королевскому обществу (*„Космос“*, т. I, стр. 364).
- 1830 Ом дает впервые метод измерения электродвижущей силы различных элементов [*Schweigg. Journ.*., т. 58 (1830), стр. 416].
- Фехнер дает метод измерения электродвижущей силы различных элементов [*Schweigg. Journ.*., т. 60 (1830), стр. 17].
- Стерджен (Sturgeon) вводит амальгамирование цинка для элементов. Нобили строит „термоэлектрический столбик“. [*Bibl. univ. de Genève.*., т. 44; *„Pogg. Ann.“*, т. 36 (1835), стр. 525].

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

- Адамс** 90
Адавсон 168
Альбрехт 100
Альдини 108
Амонтон 167
Ампер 3, 113, 137, 143—154, 172, 173
Анаксагор 25
Араго 113, 131, 137, 140—41, 144, 154, 172, 173
Аристотель 14
Армстронг 91—92
- Байлак** 165
Банкс 115, 170
Барлоу 166
Бевис 47
Беккариа 169
Беккерель А. С. 155, 172, 173, 174
Белли 96—97
Беннет 95, 170
Беренс 171
Бернулли Даниил 167
Берцелиус 123—125, 150, 171, 172
Био 130, 138—140, 172
Блекрод 99
Боднарский 165, 166
Бозе 45, 86, 99
Бойль 131, 167
Боненберг 172
Боргман 154
Бругманс 169
Брунетелли 171
Бэкон Верлуамский 21
- Ван-Марум** 91
Вильке 62, 62—63, 168, 169
Вильсон 90, 168
Вимсхерст 99
Винклер 45, 53, 60, 88, 99, 167
Вольта 70, 71, 84, 93, 104—113, 114, 121, 169, 170, 171
Вульстен 150, 171
- Галилей** 21, 22, 36
Галлей 37, 167
Гальвани 101—104, 113, 170
Ганнонио 166
Ганстен 172
Гаррис 173
Гартманн 19, 23, 30, 166
Гаузен 45, 167
Гаи 170
- Гаусс** 71, 82, 84
Гебер 18
Гей-Люссак 121
Геллибранд 37, 166
Гельмгольц 71, 84, 160
Герике 38, 42, 85—86, 94, 126, 167
Генри 142, 143, 173
Герланд 44, 99, 130, 166, 167
Гильберт (см. Джилльберт)
Гольц 97—98
Гоппе (Норре) 125, 154
Готеро 171
Гравезанд 38
Грей 39—41, 53, 167
Грин 71, 80—82, 174
Гротгус 121—123, 171
Грэм 167
Грэн 108
Гук 167
Гумбольдт 27, 166, 171, 174
Гюйо де Прованс 26, 165
- Далибар** 54—55, 168
Дармштедтер 3, 10, 17, 125
Деккарт 37
Дезаголье 167
Де ла Рив 172
Депре 160
Джилльберт 22, 25, 28—38, 44, 166
Диджиби 38
Дюбуа-Раймонд 113
Дю-Фей 39, 41, 42, 61, 88, 167
Дэви 116—121, 129, 155, 171, 172
- Замбони** 172
Зеебек 173
Зульцер 106
- Кабео** 37, 166
Кавалло 49, 108, 169, 170
Кальдани 169
Кантон 45, 62, 90, 136, 168, 169
Карлейль 115, 126, 170
Кельвин (см. Томсон Вильям)
Кирхгоф 160—163
Кирхер 25, 167
Клейст 45, 47, 168
Колладон 139
Коллинсон 48, 49, 51
Колумб 19, 26
Крюгер 163

- Крюкшэнк 116, 170
 Кудон 64—69, 74, 101, 150, 156
 Купфер 173
 Кэджори 44, 60, 154
Лавуазье 170
 Лагранж 78
 Лакур и Аппель 132
 Ламанон 170
 Лампадиус 172
 Лаплас 82, 83, 170
 Лахер 25
 Лебедев В. И. 3
 Лейбниц 126, 167
 Лемонье 45, 55, 168
 Ленц 99
 Лесаж 169
 Лихтенберг 100, 169
 Ломоносов 45, 55, 58—60
 Лукреций 14—16, 25, 37, 165
 Лулл 26, 166
 Любимов 13
Майер 137
 Максвелл 3, 71, 84
 Маркс 4, 5, 12, 13, 27
 Маттеучи 113
 Меньшуткин Б. Н. 60
 Милликэн 51
 Мушенбрек 45—47, 168
Нейман 71
 Некэм 18, 26, 27, 165
 Никольсон 95, 96, 115, 125, 126, 170
 Нобили 113, 173, 174
 Нолле 43, 44, 47, 53, 60, 168
 Норман 19, 27, 166
 Ньютон 35, 37—39, 44, 151
 Ньрн 90
Ом 71, 84, 156—160, 162, 174
 Оствальд 125, 169
Петров В. В. 126—128, 171
 Перегринус 18, 26, 165
 Панта 45, 90, 94, 168
 Платон 14
 Плиний 13, 16
 Поггендорф 27, 71, 137, 173
 Порта 22—25, 27, 32
 Пристлей 90
 Пулье 174
 Пуассон 78—81, 83, 171, 173, 174
 Пфаф 143
Рамзден 90, 91
 Реомюр 45
 Ретикус 166
 Риттер 116, 171
 Рихман 45, 55—59, 168
 Робертсон 171
 Рома 45
 Рональдс 172
 Румовский 88
Сабайн 172
 Савар 138—140
 Саверен 87
 Саймер 64, 69, 169
 Сануто 166
 Сарпи 166
 Семмеринг 171
 Скрибониус 13, 165
 Соссюр 70, 169
 Спенс 48
 Стерджен 141, 142, 173, 174
 Сэвери 173
Тенар 121
 Теофраст 12
 Теплер 97, 98
 Томпсон Сильванус 141, 154
 Томсон Вильям 68, 72—73
Уатсон 45, 47, 48, 56, 168
 Уиллер 40, 41
 Уолл 53, 60, 126, 167
 Уэвель 69, 154, 165
Фаброни 113
 Фалес 12, 14, 165
 Фарадей 3, 92, 99, 113, 150, 173
 Фельдгаус 3, 10, 17, 27, 44, 165, 167, 168, 169, 172
 Фехнер 174
 Фигье 99
 Флавио Джойа 26, 166
 Фосс 99
 Франклин 45—55, 60—62, 168
 Фракасторо 166
 Фурье 158, 173
Хентер 169
 Хиертер 167
 Хоксби 86, 91, 126, 167
Шапп 170
 Шведов 99
 Швейгер 137, 172
 Шиллинг П. Л. 130, 171, 173
Юз де Берси 165
Эйлер 45, 87, 88, 94, 99, 169
 Энгельс 4, 5, 13, 27
 Эпинус 45, 49, 61—64, 69, 169
 Эркслебен 49
 Эрстед 131—137, 149, 150, 172, 173

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Стро- ка	Напечатано	Должно быть	Био- вник
54	19 сн.	Долибар	Далибар	Тип.
71	12 „	параграф. Элементарное	параграф: „Элементарное	„
77	19 „	заряд равен единице)	(заряд равен единице)	„
78	13 св.	x, y, z	X, Y, Z	Ред.
3	14 „	$p = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2}$	$p = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2}$	Тип.
83	16 сн.	$\frac{\partial V}{\partial z} = \sum \frac{(cz)\mu}{r^3}$	$\frac{\partial V}{\partial z} = \sum \frac{(c-z)\mu}{r^3}$	„
137	6 „	французский	Французской	Корр.
154	12 „	New Iork	New-York	„

В. Лебедев. Электричество, магнетизм и электротехника в их историческом развитии.

