

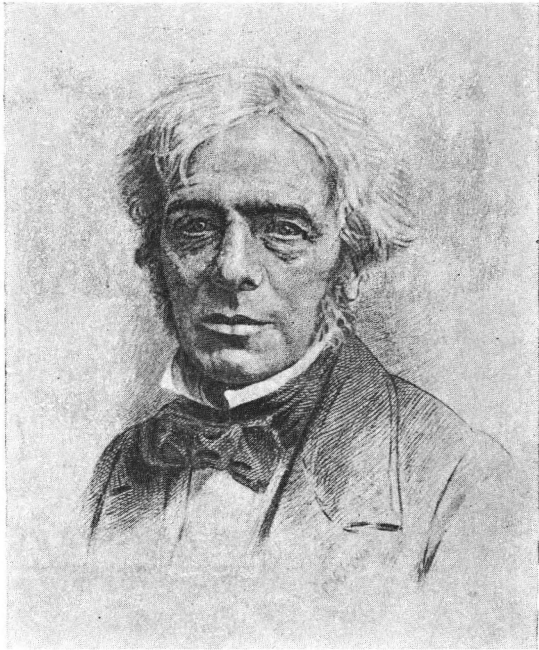
М. Ф А Р А Д Е Й

ИЗБРАННЫЕ
РАБОТЫ
ПО
ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

ГОИТИ • 1939

КЛАССИКИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Ф И З И К А
М Е Х А Н И К А
М А Т Е М А Т И К А
А С Т Р О Н О М И Я



М. ФАРАДЕЙ

ИЗБРАННЫЕ РАБОТЫ
ПО
ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

ПЕРЕВОД ПОД РЕДАКЦИЕЙ
С БИОГРАФИЧЕСКИМ ОЧЕРКОМ
И ПРИМЕЧАНИЯМИ
З. А. ЦЕЙТЛИНА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
РЕДАКЦИЯ ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1939 Ленинград

Редактор *Г. Н. Кольченко.*

Техн. редактор *Е. Г. Шпак.*

Т 14-5-4. Прот. ТКК № 11.
Сдано в производство 28/XII 1938 г.
Подписано к печати 21/IV 1939 г.
Тираж 3000.
Тип. зн. в 1 бум. л. 158400
Печ. листов 19¹/₈. Учетно-авт. листов 17,1

Формат 84 × 108¹/₃₂.
Изд. № 157
Учетн. № 4760
Уполном. Главлита № А-9663
Бумага Каменской ф-ки
Заказ № 1097.

2-я типогр. ГОНТИ им. Евгении Соколовой. Ленинград, пр. Красных Командиров, 29.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В основу настоящего издания положен текст „Experimental Researches in Electricity“ 1838—1855 гг. Перевод сверен с трехтомным немецким изданием S. Kalischer'a (1889—1891 гг.) и изданием Ostwalds Klassiker под редакцией A. Oettingen'a. Последнее издание является, собственно, изданием исправленного перевода Поггендорфа, опубликованного в Poggendorffs Annalen. Ввиду важности вопроса в качестве исключения приведена шестая лекция из популярной работы Фарадея: „A course of six lectures on the various forces of matter and their relations to each other“. Эта лекция дает формулировку закона сохранения энергии.

При отборе статей и отрывков для настоящего сборника составитель имел в виду, во-первых, дать документы, касающиеся важнейших открытий Фарадея в области электромагнетизма и электрохимии, во-вторых, показать эволюцию физических воззрений Фарадея и, наконец, выявить философские основы физики Фарадея.

Материал, приведенный в сборнике, расположен в хронологическом порядке и начинается с двух работ Фарадея исторического характера: „Опыт истории электромагнетизма“ и „Историческая заметка, касающаяся электромагнитного вращения“. Основная работа 1831 г. об электромагнитной индукции дана полностью. В качестве документа исторического значения ей предшествует письмо Фарадея к Филлипсу от 29 ноября 1831 г.

Большинство примечаний принадлежит редактору и отмечено знаком (*Ред.*). Примечания, заимствованные у Калишера и из издания Ostwalds Klassiker, помечены знаками (*К*) и (*О*). Некоторые из примечаний последнего рода даны в сокращенном виде.

СОДЕРЖАНИЕ

Опыт истории электромагнетизма	9
Историческая заметка, касающаяся электромагнитного вращения	54
Письмо к Филлипсу об открытии электромагнитной индукции	58
Об индукции электрических токов	62
Идентичность электричеств, получаемых из различных источников	111
Количественное соотношение между обыкновенным и вольтовым электричествами	144
Об электрохимическом разложении	152
Об абсолютном количестве электричества, соединенного с частицами или атомами материи	178
Об индукции (1837—1838 гг.)	185
Природа электрической силы или сил	195
Невероятность гипотезы контактной силы	200
Гипотеза об электропроводности и о природе материи	205
Мысли о лучевых вибрациях	216
О магнетизации света и об освещении магнитных силовых линий	223
О новых магнитных действиях и о магнитном состоянии всякой материи	228
О природе магнитокристаллической силы и общие соображения	239
О возможной связи тяготения и электричества	244
О физических линиях магнитной силы	251
О некоторых пунктах теории магнетизма	258
О соотношении физических сил	270
з. цейтлин. Биография М. Фарадея	281

М. ФАРАДЕЙ

ИЗБРАННЫЕ РАБОТЫ
ПО
ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

ОПЫТ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

(Редактору „Annals of Philosophy“, 1821—1822 гг.)

Милостивый государь, дорогой сэръ,

Имея недавно случай ознакомиться с большим количеством сочинений, посвященных электромагнетизму, я убедился, что встречающиеся в них многочисленные отклонения от истины, большое количество рассматриваемых теорий, неточные даты и прочие обстоятельства не позволяют создать себе ясное представление о том, что произошло в этой области и кому должны быть приписаны эти заслуги. Это побудило меня составить перечень работ и распределить их в известной системе. Настоящий опыт не претендует на то, чтобы дать точную картину этой области науки и того, что в ней было достигнуто; но может быть, за отсутствием другого, более проработанного и научного описания, Вы сочтете этот труд достойным опубликования. Работающие в этой вновь открытой области не узнают здесь ничего для себя поучительного, но другие смогут почерпнуть здесь сведения о деятельности этих ученых, а пропагандирование достижений новой науки всегда желательно.

Эрстед¹, профессор физики и секретарь Копенгагенского

¹ Ганс Христиан Эрстед (1777—1851 гг.) — датский физик. Кроме электромагнетизма занимался исследованиями в области механики, акустики, явлений капиллярности, химии, натурфилософии и эстетики. Знаменитое сочинение Эрстеда: „*Experimenta circa effecasiam conflictus electrici in acum magneticam*“ появилось в 1820 г. отдельной брошюрой. Некоторые историки приписывают приоритет открытия электромагнетизма итальянцу Романьози (Domenico Romagnosi, 1765—1835 гг.). Кроме указанной работы по электромагнетизму Эрстед на ту же тему опубликовал в *Gehlen N. Journ.* III, 1804 г. „*Galvanochemische Bemerkungen*“ и в *Annales of Philosophy*, XVI, стр. 276, статью „On the identity of the chemical

Королевского общества, посвятил долгие годы исследованию тождества химической, электрической и магнитной сил и уже в 1807 г. поставил себе целью изучить, „оказывает ли электричество в его латентном состоянии какое-либо действие на магнит“. В то время его оригинальные взгляды не были подтверждены опытами, но настойчивость, с которой он как теоретически, так и практически стремился к своей цели, была вознаграждена зимой 1819 г. открытием одного факта, существование которого никто кроме него даже отдаленно не мог предполагать, но который, став известным, не замедлил привлечь внимание всех могущих оценить его важность и значение.

Собственное сообщение Эрстеда об этом открытии помещено в XVI т. первой серии Ваших *Анналов*. Оно содержит массу важных сведений, выражает в немногих словах результаты большого числа наблюдений и вместе со второй частью его работ обнимает большую часть известных в настоящее время фактов.

В интересах связного изображения я вынужден привести многое из изложенного в этих сообщениях, хотя, конечно, всякий желающий сам изучить этот предмет не избежит необходимости прочесть их полностью.

Известно, что полюсы, или концы вольтаического аппарата, в результате подходящего расположения пластинок в жидкости, обладают некоторыми силами, благодаря которым они, будучи соединены с электрометром, через отклонение последнего указывают на наличие известного электрического напряжения или, будучи соединены друг с другом при помощи жидкостей, проводов или других проводящих веществ, разлагают или нагревают последние. Эти эффекты были известны уже давно и обычно приписывались возбужденному аппарату электричеству, а именно, эффекты напряжения изолированному состоянию полюсов, эффекты же разложения и нагревания — тому состоянию полюсов, в котором они были соединены друг с другом.

Когда оба полюса такого аппарата или батареи соединены друг с другом проводниками электричества, то батарея разряжается, т. е. электрическое напряжение на полюсах уменьшается в большей или меньшей степени в зависимости

and electrical forces“, а в журнале *Schweiggers Journ.*, „*Neuere elektromagnetische Versuche* (XXIX, 1820 г.) и „*Betracht. über d. Elektromagn.*“ (XXXII и XXXIII, 1821 г.). (Ред.)

от проводимости вещества. Хорошие проводники, как, например, металлы, разряжают ее моментально и полностью, плохие проводники — с большей или меньшей степенью трудности. Однако, так как аппарат сам по себе обладает свойством при удалении проводящих сред возвращаться в течение короткого времени в прежнее состояние напряжения, то очевидно, что вещество, замыкающее цепь, ведет себя в продолжении всего контакта так же, как и в первый момент, независимо от того, является ли оно хорошим или дурным проводником. Очевидно также, что оно при этом должно находиться в состоянии, отличном от того, в котором оно находится, не будучи связано с аппаратом.

Чрезвычайно важно выяснить роль, которую играет хороший проводник при разряде батареи, так как в этом случае рассматриваемые явления более ярко выражены. Если для соединения обоих полюсов применяется металлическая проволока, то последняя сможет разрядить мощную батарею и, следовательно, процесс, всегда имеющий место в среде, замыкающей цепь, будет здесь сконцентрирован в очень малом пространстве. Считающие, что электричество есть флюид или два флюида, полагают, что в течение всего времени замыкания действующей батареи по проводу проходит ток или два тока. Имеется много доводов в пользу материальности электричества и лишь немного доводов против; однако это все же лишь гипотеза и поэтому при рассмотрении электромагнетизма лучше пока полагать, что у нас нет доказательств ни материальности электричества, ни существования проходящего по проводу тока. Какова бы ни была действующая причина в замыкающем проводе, будь то прохождение через него чего-то материального или индукция своеобразного состояния его частицами, провод так или иначе обнаруживает некоторые весьма замечательные явления. Если он тонок, то становится горячим, причем с уменьшением диаметра провода или усилением батареи температура весьма сильно повышается. Это повышение ограничено, повидимому, только внешними влияниями и изменениями, претерпеваемыми самим проводом. Другое действие, именно открытое Эрстедом, состоит в том, что провод притягивает и отталкивает согласно некоторым простым законам находящуюся вблизи него магнитную стрелку.

Если кусок прямолинейного замыкающего провода располагается параллельно магнитной стрелке, находящейся

в нормальном положении и над ней, то конец стрелки, обращенный к отрицательному полюсу батареи, поворачивается к западу. При этом безразлично, с какой из двух сторон стрелки расположен провод, последний должен лишь находиться над стрелкой и быть ей параллельным. Если замыкающий провод находится в горизонтальной плоскости самой стрелки, то последняя не поворачивается в этой плоскости, но стремится двигаться в вертикальной окружности, чему мешает несовершенное ее прикрепление и влияние земного магнетизма. Если провод находится на восточной стороне стрелки, то полюс стрелки, расположенный ближе к отрицательному полюсу батареи, поднимается; при переносе провода на западную сторону стрелки он опускается. При опускании провода ниже уровня стрелки наблюдаются те же явления притяжения и отталкивания, но в обратном направлении сравнительно с тем, которое мы наблюдаем, когда проволока положена на стрелку сверху. Теперь полюс стрелки, расположенный против отрицательного конца батареи, поворачивается к востоку, независимо от того, с какой стороны, с соблюдением всех вышеупомянутых условий, мы бы ни помещали провод.

Для более легкого запоминания этих положений магнитной стрелки Эрстед составил следующее правило: „полюс, над которым входит *отрицательное* электричество, поворачивается к западу, полюс, под которым оно входит, поворачивается к *востоку*“.

Затем Эрстед показал, и это нетрудно видеть из выше описанных опытов, что повороты стрелки образуют круг около замыкающего провода. Хотя в своих первых опытах он выражает отклонение, испытываемое стрелкой под влиянием провода в градусах, однако затем он прибавляет, что величина эта изменяется с увеличением мощности батареи. Как скоро стрелка выводится из своего естественного положения и поворачивается по горизонтальному или иному кругу, сила земного магнетизма стремится вернуть ее в прежнее положение; мы имеем здесь силу, противодействующую влиянию замыкающего провода и уменьшающую возможное отклонение магнитной стрелки. Даже в том случае, когда магнитная стрелка лежит в одной горизонтальной плоскости с проводом, влияние которого проявляется в опускании одного и поднятии другого конца последней, сила земного магнетизма является, наряду со

способом укрепления стрелки, причиной, препятствующей ей двигаться по вертикальному кругу. Когда же эти причины устраняются, т. е. стрелка укрепляется таким образом, что может свободно вращаться во все стороны, а земной магнетизм равен нулю, т. е. компенсируется либо положением стрелки, либо другим магнитом, расположенным поблизости, удастся достичь гораздо более простого представления о движении стрелки относительно провода.

Наладить такую, вполне совершенную установку является делом нелегким. Однако совсем нетрудно устроить ее таким образом, чтобы позволить исследовать раньше движение в одном, а затем в другом направлении. Тогда мы увидим, что если замыкающий провод достаточно мощный батареи расположен вблизи центра стрелки, то последняя устанавливается поперечно проводу, независимо от положения, которое стрелка и провод занимали до этого. Если

обводить провод вокруг центра стрелки или центр стрелки вокруг провода, то стрелка и провод сохраняют свое положение друг относительно друга, причем расположение стрелки поперечно проводу не является индифферентным, но полюсы последней находятся в определенном положении относительно полюсов батареи. Если положительный полюс батареи находится справа, а соединенный с ним прямым проводом отрицательный полюс—слева, то северный полюс, расположенный над проводом магнитной стрелки,

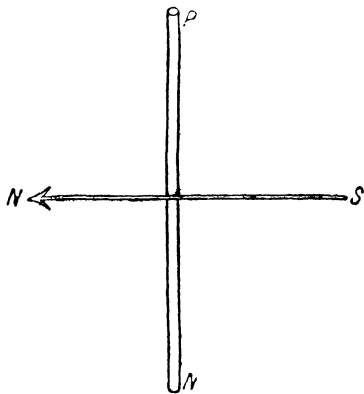


Рис. 1.

будет показывать направление от нас, а южный полюс в нашу сторону. Если стрелка находится под проводом, то северный полюс будет указывать от нас, а южный в нашу сторону (рис. 1 и 2). Если представить себе замыкающий провод и стрелку в виде двух жестко закрепленных стержней, то таким путем могут быть представлены все положения провода и стрелки относительно друг друга, ибо любому положению одного стержня будет соответствовать

определенное положение другого. Или же, если на нижней поверхности прямоугольной стеклянной пластинки провести черту сверху вниз и назвать верхний конец отрицательным,

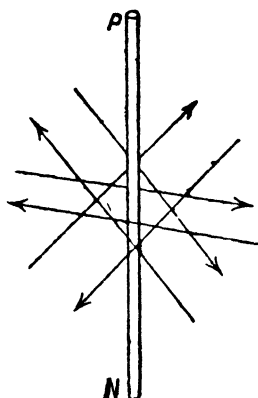


Рис. 2.

а нижний положительным, а на верхней поверхности провести линию слева направо и назвать левый конец ее южным, а правый — северным, то нижняя линия будет всегда изображать замыкающий провод, а верхняя магнитную стрелку (рис. 3).

Теперь если при этом взаимном расположении провода и стрелки мы будем двигать провод вдоль стрелки по направлению к тому или другому концу, то будет наблюдаться сильное притяжение между последним и тем полюсом, против которого он будет находиться. Это явление будет наблюдаться, если даже принять меры, чтобы в обоих положениях под полюсом находилась та же часть провода, и

несмотря на то, что полюсы противоположны. Таким образом в этом случае, повидимому, та же самая точка провода вызывает притяжение как северного, так и южного полюсов

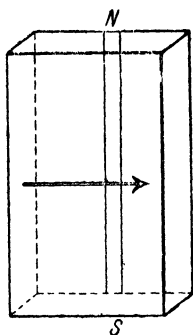


Рис. 3.

стрелки. Если при таком положении провода вблизи конца стрелки последнюю повернуть так, чтобы на месте первого полюса оказался противоположный, то наблюдается сильное отталкивание, независимо от того, вблизи какого полюса первоначально находился провод. Таким образом та точка, которая раньше притягивала оба полюса, теперь их отталкивает. Если провод, расположенный вблизи конца стрелки, где притяжение всего сильнее, переходя, поворачиваясь вокруг стрелки, с одной стороны на другую, оставаясь направленным к одной и той же точке стрелки, то сила притяжения на стрелку возрастает по мере приближения провода к концу последней, поскольку провод остается на той же стороне. Она убывает при обходе провода вокруг конца, становится равной нулю, когда провод расположен

прямо против полюса, и при переходе на другую сторону превращается в силу отталкивания, которая наиболее сильна в положении, противоположном исходному (рис. 4).

Во всех описанных случаях положения провода и стрелки, как вызывающие притяжение, так и вызывающие отталкивание, соответствуют опи-

санным выше, за исключением того, что теперь провод находится не по середине, а у конца стрелки. На рис. 5 представлены два положения провода, в которых он притягивает противолежащий полюс, и мы

видим, что все притяжения и отталкивания могут быть сведены к четырем положениям стрелки относительно провода, в которых она образует к нему касательные. На рис. 6 и 7 показаны положения, в которых оба полюса притягиваются: северный на рис. 6 и южный на рис. 7. Если в одном из этих положений полюсы будут обращены так, что касательные сохраняют прежнее направление, то наблюдается отклонение. Из этого легко вывести, что путем простого изменения положения можно добиться того, чтобы определенная часть провода действовала притягательно или отталкивательно на любой полюс магнитной стрелки.

Я постарался сделать возможно более ясным этот, хотя и простой, но важный пункт о взаимоотношении провода и магнитной стрелки, ибо убедился, что для многих он представляет большие трудности для понимания, а как раз в нем заключается одна из наиболее важных частей открытия Эрстеда. После этого я могу перейти к описанию некоторых других пунктов этого открытия.

Проявления магнитной силы не связаны с определенным металлом, применяемым при включении батареи, или с фор-

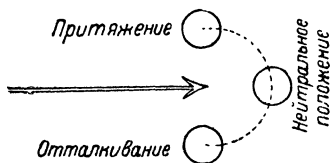


Рис. 4.

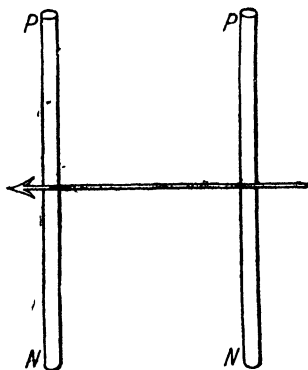


Рис. 5.

мой последнего, но свойственны им всем — наполненная ртутью трубка производит то же действие; различие заключается лишь в силе эффекта. Последний имеет место и в том случае, когда проводник прерывается водой, если только включенный водный промежуток не слишком велик.

Магнитное действие провода проходит сквозь все вещества и действует на находящуюся за ними магнитную стрелку так же, как и обычный магнетизм. Провод не действует на стрелки из латуни, стекла и гуммилака.

В своем втором сообщении Эрстед показывает, что получение очень сильного эффекта зависит не от интенсив-

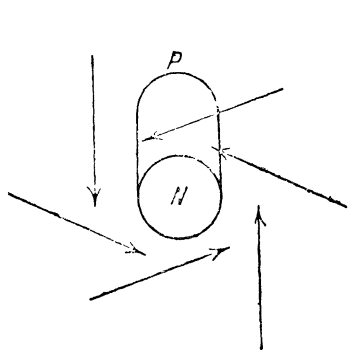


Рис. 6.

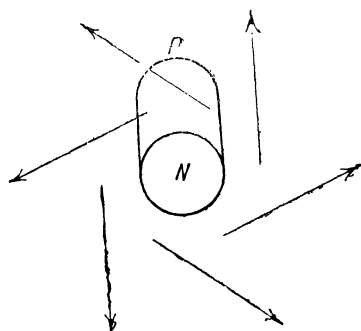


Рис. 7.

ности вольтова аппарата, а от выделяемого им количества электричества¹. Для этого достаточен один гальванический элемент. Замыкающий провод одного элемента, состоящего из цинковой пластинки размером в шесть квадратных дюймов, опущенной в медный сосуд с разбавленной кислотой, оказывает сильное действие. Когда же в аналогичной установке пластинка была заменена таковой размером в 100 квадратных дюймов, то действие на стрелку ощущалось на расстоянии трех футов². Эрстед описывает также конструкцию столь легкой вольтовой батареи, что она, будучи подвешена, могла двигаться при приближении к ней

¹ То-есть силы тока в цепи. (Ред.)

² Внутреннее сопротивление цепи сильно уменьшилось вследствие увеличения поперечного сечения внутренней части цепи почти в 17 раз. (Ред.)

магнита. Эти движения совершались в полном соответствии с вышеизложенным и не нуждаются в более подробном объяснении.

Результаты, полученные Эрстедом, были тотчас же повторены и подтверждены многими физиками в различных странах. Среди них в особенности Ампер¹ стремился к увеличению количества опытов, постановке новых и их теоретической обработке. 18 сентября этот физик сделал в Парижской академии наук сообщение, в котором он развивает теорию, сводящую все магнитные явления к чисто электрическим процессам. В своих последующих работах он подкрепляет эту теорию новыми как теоретическими, так и экспериментальными доводами. В настоящий момент я стремлюсь скорее к изложению фактов, а не теорий, во-первых, потому, что они наиболее важны, а во-вторых, потому, что нег оснований опасаться, что теории не будут приписаны их творцам.

Факты, открытые Ампером, не многочисленны, но чрезвычайно значительны. В заседании 18 сентября он описал опыт, доказывающий, что вольтов столб действует так же, как и провод, соединяющий его полюсы, и продемонстрировал инструмент, служащий не только для доказательства этого действия, но оказавшийся также чрезвычайно полезным при опытах с электрическими токами. Инструмент представляет собой в сущности простую магнитную стрелку и вследствие своего применения получил название гальванометра. В соседстве замкнутого столба, замыкание которого производится при помощи провода или жидкости, этот инструмент приходил в движение, подчинялся батарее тем же образом, что и замыкающему проводу, и движения его происходили так, как если бы батарея была простым продолжением или частью провода. Стало быть, стрелка является подходящим инструментом для выявления тех состояний действующего вольтова столба и его замыкающего провода, в которых до этого обнаруживали един-

¹ Ампер (1775—1836 г.), знаменитый французский физик, разрабатывал теорию электромагнетизма на основе принципа мгновенного дальнего действия (закон Кулона для взаимодействия электрических зарядов и магнитных полюсов). Первое сообщение, о котором упоминает Фарадей, было должно Парижской академии наук 18 сентября 1820 г. и опубликовано в *Collection de Memoires relatifs à la Physique*. т. II, стр. 22. (Ред.)

ственно лишь магнетизм и причиной которых полагают электрический ток.

25 сентября Ампер сообщил об открытии взаимного притяжения и отталкивания двух замыкающих проводов батарей¹ и показал, что магнитную стрелку, служившую для указания магнитных притяжений и отталкиваний провода, можно заменить подобным ему замыкающим проводом. Это открытие лишает явления магнетизма их обособленности, коренящейся якобы в существовании некоей специфической силы, сосредоточенной в магните, и показывает, что единственной причиной их возникновения является электричество. После открытия Эрстеда, показавшего, что замыкающий провод вольтовой батареи действует притягательно и отталкивающе на магнит так же, как и сам магнит, имелись все основания для предположения, что провод обладает силами магнита. Теперь же, после того как опыт Ампера показал, что магнит можно заменить замыкающим проводом, который, как оказывается, сам обладает всеми свойствами и силами магнита, можно с полным правом рассматривать эти свойства и силы как магнитные и считать доказанным, что магнетизм способен проявляться в отсутствии магнитов, обычно считаемых таковыми, и без помощи обычно применяемых способов возбуждения, а единственно с помощью электричества и в любой хорошо проводящей среде.

Явления, обнаруживаемые двумя проводниками, через которые течет ток, таковы:

Если проводники расположены параллельно друг другу и соединены с батареей аналогичным образом, т. е. проходящие через них токи имеют одинаковое направление, то они притягиваются. Если же они соединены с батареей в обратном направлении, так что токи в них имеют противоположное направление, то они отталкиваются. Даже в том случае, когда один из этих проводников укреплен неподвижно, а другой подвижен и токи в них имеют противоположные направления, то подвижный проводник поворачивается таким образом, что направления обоих токов становятся одинаковыми. Различие между этими притяжением и отталкиванием и обычными электрическими резко бросается в глаза. Первые наблюдаются исключительно при

¹ См. *Collection de Memoires*, т. II. (Ред.)

замкнутой цепи, вторые — исключительно при разомкнутой. В первом случае одноименные концы проволок притягиваются, разноименные отталкиваются, во втором — разноименные притягиваются, а одноименные отталкиваются. Первые происходят в вакууме, вторые — нет. Два провода, соединенные силой магнитного притяжения, остаются соединенными, тогда как два тела, соединенные силой электрического притяжения, после соприкосновения снова разъединяются.

Ампер многократно варьировал свои опыты, и аппарат, при помощи которого они были произведены, является, судя по рисункам и описаниям, весьма чувствительным, остроумным и действительным. Сам Ампер с его помощью пришел к следующим выводам: 1. Два электрических тока притягиваются, когда они параллельны и одинаково направлены, и отталкиваются, когда они параллельны и противоположно направлены. 2. Когда проволоки, по которым проходят эти токи, могут вращаться только в параллельных плоскостях, то каждый ток стремится привести другой в такое положение, чтобы стать ему параллельным и одинаково направленным. 3. Эти притяжение и отталкивание совершенно отличны от обыкновенных электрических притяжения и отталкивания.

25 сентября Араго¹ доложил Академии наук о своем открытии, а именно, что замыкающий провод батареи притягивает железные опилки подобно тому, как это наблюдается в случае магнита. Этот факт доказал, что провод не только действует на уже намагниченные тела, но в состоянии также возбуждать магнетизм в намагниченном железе. Будучи опущен в железные опилки, замыкающий провод батареи столь густо покрывается ими, что диаметр ее возрастает до диаметра гусиного пера. При перерыве соединения с одним из обоих полюсов опилки немедленно осыпаются, чтобы снова быть притянутыми при возобновлении контакта. Это притяжение наблюдалось с проводом из

¹ Араго Франсуа Доминик Жан (1786—1853 гг.) — известный французский физик и астроном. Из его открытий в области электромагнетизма особое историческое значение имело открытие притяжения опилок током (*Coll. de Memoires*, т. II) и так называемого магнетизма вращения, т. е. собственно индукционных токов Фуко (открытие было сделано в ноябре 1824 г., доложено Академии наук 7 марта 1825 г.; см. *Coll. de Memoires*, т. II). (Ред.)

латуни, серебра, платины и др. и было столь сильным, что опилки притягивались даже в том случае, когда проволока лишь подносилась к ним близко, не входя с ними в непосредственное соприкосновение. Это притяжение не может объясняться постоянным магнетизмом самого провода или железных опилок, ибо это явление наблюдалось лишь при замкнутой цепи. Это не могло быть также и электрическим притяжением, что доказывается тем, что замыкающий провод не оказывал никакого действия на медные, латунные или древесные опилки. При применении мягкого железа последнее намагничивалось лишь временно, однако путем некоторого видоизменения опыта Араго удалось длительно намагнитить швейную иглу¹.

Теория, выдвинутая Ампером для объяснений магнитных явлений, вызванных исключительно электрическими силами, принимает, что магниты являются материальными массами, вокруг осей которых по замкнутым кривым проходят электрические токи. После того как Араго сообщил Амперу о своих опытах, Ампер на основании своей теории мог ожидать большего эффекта в том случае, когда замыкающий провод имел форму спирали и намагничиваемое тело лежало на его оси². Согласно теории Ампера токи, проходящие в верхней части магнитной стрелки или магнитного стержня, ориентированных в направлении север—юг, должны быть направлены с запада на восток³.

Поэтому Ампер и Араго поставили опыты с проводом спиральной и винтообразной формы, результаты которых изложены в сообщении Араго о намагничивании железа посредством вольтова тока, напечатанном в „Annales de Chimie et de Physique“, т. XV, стр. 93. Эта статья не датирована, но по всей вероятности опыты были произведены 25 сентября⁴.

Провод может быть намотан на стержень двояким образом, и таким путем можно получить две различные, но сим-

¹ См. *Collection de Memoires*, т. II, стр. 57, и журнал *Moniteur* от 10 ноября 1820 г. (Ред.).

² См. *Collection de Memoires*, т. II, стр. 64, и журнал *Moniteur* от 10 ноября 1820 г. Доклад относится к 23 октября 1820 г.

³ В оригинале (стр. 277), явно ошибочно сказано: „согласно этой теории в верхней части стрелки или магнита, ориентированных на север, токи будут проходить с востока на запад“. (К)

⁴ См. *Collection de Memoires*, т. II, стр. 55 и 57, где указана отмечаемая Фарадеем дата. (Ред.)

метричные спирали, носящие у ботаников название *правой* и *левой*. Несмотря на одинаковый диаметр и одинаковый наклон отдельных витков, спирали не могут быть наложены одна на другую, ибо направление их остается неизменным, как бы их ни поворачивать. Правая спираль идет справа вниз и налево через ось. Усики многих растений представляют пример подобной спирали, и в ремеслах и искусствах находит применение почти исключительно эта спираль. Левая спираль идет слева вниз и направо через ось.

Внутри такой спирали, концы которой соединялись с полюсами батареи, вкладывалась завернутая в бумагу стрелка, которая, будучи вынута по истечении нескольких минут, оказывалась сильно намагниченной. Действие спирали оказалось во много раз превышающим действие прямолинейного провода.

Что же касается положения полюсов, то оказалось, что при применении правой спирали конец стрелки, обращенный к отрицательному полюсу батареи, оказывался северным полюсом, а другой конец — южным полюсом, тогда как при применении левой спирали конец, обращенный к положительному полюсу батареи, оказывался северным, а другой — южным полюсом.

Для проверки и подтверждения этого пункта из замыкающего провода были сделаны сначала одна, а затем две и три спирали. Провод накручивался на стеклянную трубочку или палочку сначала в одном, а затем в другом направлении. Когда затем внутри этих спиралей вкладывались завернутые стрелки, то обретаемая последними полярность совпадала со сделанным выше предположением. Когда в одном случае из замыкающего провода были изготовлены три соединенные между собой спирали, из которых средняя отличалась от двух других, и в них был вложен заключенный в стеклянную трубочку кусок стали такой длины, что он проходил через все три спирали, то, после того как последний был вынут, на нем оказалось шесть полюсов, причем за северным полюсом следовал через короткий промежуток южный полюс, затем снова южный, затем северный, снова северный и, наконец, за ним южный.

Можно сразу заметить, что полярность, постоянно вызываемая в стрелке действием спирали, является естественным следствием доказанного опытом Эрстеда неизменного положения стрелки относительно замыкающего провода, ибо,

сравнивая небольшой отрезок одной из спиралей вместе с намагниченной его стрелкой с рис. 1, 2 или 3, мы увидим, что первые представлены вторыми. Как видно на рис. 8 и 9, изображающих спирали вместе с заключенными в них стрелками, каждая часть спирали поперечна стрелке.

Если наложить друг на друга два рисунка на стекле (рис. 3) с их линиями, изображающими стрелки так, чтобы эти линии совпали, то линии, изображающие замыкающие провода, будут представлять один виток спирали.

В том же сообщении Араго указывает, что стрелка, находящаяся под совершенно прямым, ей параллельным про-

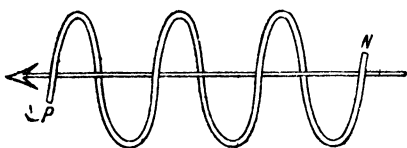


Рис. 8.

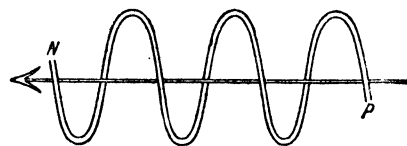


Рис. 9.

водом, вовсе не намагничивается. Он прибавляет, что медная проволока, соединяющая полюсы батареи, иногда, правда, не часто, остается намагниченной еще несколько мгновений после перерыва тока и что Буажиро (Boigiraud) наблюдал такое же явление с платиновой проволокой. Он указывает, что такие проволоки, даже после отделения от батареи, иногда притягивают железные

опилки и иногда магнитные стрелки; однако эта сила скоро исчезает и не может быть произвольно вызвана вновь.

9 октября Буажиро прочел в Академии наук доклад, содержащий большое число опытов, являющихся, однако, в большинстве случаев видоизменением прежних опытов Эрстеда. Он замечает, что прямые или изогнутые провода воздействуют на стрелку в любой точке цепи, что может быть непосредственно выведено из опытов Эрстеда и Ампера. Он наблюдает различие в силе действия, когда для замыкания цепи применяются плохие проводники, что уже было показано Эрстедом на примере воды. Однако Буажиро предлагает испытывать проводимость различных веществ, помещая их в один из участков ячеек или отделений батареи и приближая магнитную стрелку или гальванометр Ампера к другому участку, т. е. проводу или иному телу,

замыкающему батарее. В части, касающейся взаимного расположения стрелки и провода, опыты Буажиро всецело подтверждают положения Эрстеда и иллюстрируются приведенными выше рисунками.

9 октября Ампер прочел новое сообщение, посвященное явлениям вольтова столба и методу, который он предполагает применить при вычислении действия двух электрических токов. В том же заседании он показал действие друг на друга двух прямолинейных токов¹, т. е. двух прямолинейных отрезков замыкающего провода, ибо явления притяжения, отталкивания и др., по видимому, были наблюдаемы раньше на проводах, имеющих форму спирали. Однако эти явления в обоих случаях совершенно идентичны, и если иметь в виду опыт, а не теорию, вышеизложенные взгляды могут быть с большой легкостью представлены с помощью прямолинейных проводов.

Для подтверждения своей теории относительно природы магнетизма как следствия действия электрических токов Амперу было весьма важно изучить действие земли на вольтовы токи, ибо согласно своей излагаемой ниже теории он полагал, что земля так же ориентирует эти токи, как и те, существование которых он предполагал в магнитной стрелке. После нескольких попыток ему удалось преодолеть затруднения, связанные с вопросами подвешивания, контакта и пр., и сконструировать аппарат, в котором часть провода, соединяющего оба полюса батареи, была так легка и подвижна, что движение удалось действительно наблюдать. При замыкании батареи провод занимал относительно земли постоянное и соответствующее теории Ампера направление. Описание этого опыта и аппарата, с помощью которого он был произведен, было прочитано на заседании Академии 20 октября². Аппарат этот состоял первоначально из проволочного контура в форме почти замкнутой окружности диаметром около 16 дюймов; концы контура находились на небольшом расстоянии друг от друга и точно один под другим; на них были укреплены два стальных острия, опущенных в две соответствующим образом расположен-

¹ На так называемом „станке“ Ампера, см. *Memoires*, т. II, стр. 50. На заседании от 2 октября Ампер высказал идею об электромагнитном телеграфе. (Ред.)

² На самом деле 30 октября 1820 г., см. *Collect. de Mem.*, т. II, стр. 83. (Ред.)

ные платиновые чашечки, наполненные ртутью. Одно острие достигало дна чашечки, так что трение было едва заметно, тогда как ртуть обеспечивала хороший контакт. Эти чашечки были соединены с проводами, идущими от вольтовой батареи, так что подвижный контур мог легко быть соединен в том или другом направлении с полюсами батареи. Весь прибор был заключен в стеклянный ящик для того, чтобы быть уверенным, что наблюдаемые движения вызываются исключительно действием электрических сил.

Тотчас же по установлении контакта между концами этого аппарата и полюсами батареи контур пришел в движение и после нескольких колебаний установился в плоскости, перпендикулярной к магнитному меридиану. Этот эффект повторялся при каждом повторении опыта. Направление движения зависело от способа соединения с батареей. Если взять ток, идущий по проволоке от положительного конца к отрицательному, то контур всегда устанавливался таким образом, что ток шел по восточной стороне вниз, а по западной вверх. Этот контур вращался по вертикали и поэтому представлял собой только стрелку склонения. Для приготовления модели стрелки наклонения был взят провод в форме параллелограмма, укрепленного на стеклянной оси и подвешенного на тонких остриях так, что он мог вращаться около горизонтальной оси, перпендикулярной к магнитному меридиану. При соединении с полюсами батареи параллелограмм устанавливался в плоскости, почти перпендикулярной к направлению наклонения, возвращаясь в исходное положение при перерыве тока и затем снова в предыдущее при возобновлении тока. Таким образом влияние земного магнетизма на параллелограмм было доказано. Ввиду того что чрезвычайно трудно добиться совпадения центра тяжести с точкой подвеса и сохранить это положение, проводник устанавливался не точно в плоскости, перпендикулярной к направлению наклонения, но лишь приближался к ней до тех пор, пока силы тяжести и земного магнетизма не уравновешивались.

30 октября Био и Савар¹ прочли в заседании Академии

¹ Био (Biot Jean Baptiste, 1774—1862 гг.) — известный французский ученый, работавший в весьма разнообразных областях физики и отчасти химии. Савар (Savart Felix, 1791—1841 гг.) занимался главным образом акустикой. Сообщение Био и Савара о законе, носящем их имя, напечатано в *Coll. de Memoires*, т. II, стр. 80, и *Annales de Chimie et Physique*, т. XV, 1820 г., стр. 222. (Ред.)

наук сообщение, содержащее формулировку закона, определяющего действие замыкающего провода на намагниченные тела. Прямоугольные пластинки и цилиндрические провода из отпущенной стали намагничивались двойным натиранием и подвешивались на шелковых нитях в различных положениях к замыкающему проводу батареи и на различных расстояниях от него так, чтобы влияние земного магнетизма в одних случаях совпадало с действием провода, в других же было ей противоположно или компенсировалось помещенным поблизости магнитом. Из наблюдений над различными положениями равновесия и числом колебаний стрелки Био и Савар вывели следующее положение, выражающее действие молекулы с северным или южным магнетизмом на намагниченную при помощи вольтова тока очень тонкую неограниченную цилиндрическую проволоку, находящуюся на любом расстоянии. Если провести нормаль от этой молекулы к оси провода, то сила, притягивающая молекулу, будет перпендикулярна к нормали и к оси провода, а величина ее будет обратно пропорциональна расстоянию молекулы от оси. Природа этого действия та же, что и природа магнитной стрелки, направление которой над проводом постоянно и определено относительно направления вольтового тока так, что молекула с северным магнетизмом и молекула с южным магнетизмом притягиваются в различных направлениях, но всегда в соответствии с вышеизложенным законом.

После того как Араго удалось намагнитить железо и сталь при помощи замыкающего провода вольтовой батареи, он ожидал, что обычное электричество будет производить то же действие. Его ожидания подтвердились, и в заседании Академии наук от 6 ноября он сделал сообщение, в котором утверждал, что ему удалось вызвать этим путем все явления, наблюдавшиеся им до того при применении вольтова электричества. Описание этих опытов, насколько мне известно, не появилось в печати, но нетрудно представить себе общий метод их постановки. Они чрезвычайно важны, поскольку подтверждают тождество обычного и вольтова электричества, в чем многие еще сомневаются, и указывают, что магнитные явления не зависят от того или иного способа возбуждения электричества, но являются постоянными спутниками движущегося электричества.

Теория Ампера, сводящая свойства магнита к электриче-

скому току, и воззрение на то, каким образом прохождение токов через замыкающий провод возбуждает токи в расположенных поблизости стальных стержнях, как это показали опыты Араго, указывали на серьезную возможность сооружения установки, составленной из магнитов, проволок и пр., могущей разлагать воду и производить другие электрические действия, ибо если электричество возбуждает магнетизм, то предполагалось, что магнетизм может возбуждать электричество. Первоначально думали, что некоторые взаиморасположения магнитов и проводов в окружении магнитов сами по себе достаточны, чтобы вызвать электрические действия, как-то: разложение воды, притяжение и пр. Однако в заседании 9 ноября Френель¹, потративший много усилий для достижения этих эффектов, доложил Академии, что наблюдаемые им явления не позволяют с уверенностью заключить о действительном существовании такого действия.

В том же заседании (6 ноября) Ампер доложил еще об одном действии замыкающего провода, которому была придана форма спирали. Это действие становится легко понятным, если вспомнить, что направление магнитной силы всегда перпендикулярно к проводнику тока. Следовательно, если провод, по которому проходит ток, параллелен оси некоторой спирали, то сила будет перпендикулярна к этой оси; если провод образует круг в плоскости, перпендикулярной к оси, то сила совпадает с направлением оси; если же провод, как это имеет место в спирали, проходит около оси в направлении, промежуточном между параллельным и перпендикулярным, то сила оказывается направленной к оси под определенным углом. В этом случае силу можно рассматривать как состоящую из двух компонент, из которых одна направлена перпендикулярно, другая — параллельно оси.

Ампер рассматривал магнит как систему токов, обращающихся перпендикулярно к его оси, и поэтому, желая соорудить модель магнита, он стремился уничтожить ту часть действия провода, которая приходится на направление оси спирали. С этой целью он прокладывал один конец провода через спираль, нигде не касаясь последней, ибо в этом случае магнитные действия внутреннего провода становятся почти равными и противоположными действиям, исходящим от

¹ Френель Августин (1788—1827 гг.) — выдающийся французский физик, один из основоположников волновой теории света. (Ред.)

продольной стороны спирали, и взаимно уничтожаются. В соответствии с этим он соорудил модель магнита следующим образом: оба конца провода были проложены внутрь спирали до половины длины последней, затем один конец проводился вверх, а другой вниз, так что они образовали перпендикулярную ось, вокруг которой могла вращаться система. При соединении этих проводов с полюсами батареи спираль намагничивалась, притягивалась и отталкивалась другими магнитами как настоящий магнит.

22 октября Бух (Buch) в Франкфурте повторил опыты Эрстеда, не прибавив к ним ничего нового. Однако аппарат, которым он пользовался, был настолько прост и остроумен, что опыты, до тех пор считавшиеся очень трудными для выполнения, с его помощью становились легко доступными.

Одна из разновидностей этого аппарата представляла собой просто платиновый тигель, на дне которого с внешней стороны была укреплена прямоугольно согнутая полоска цинка, другой конец которой был опущен в тигель (рис. 10). При налипании в этот тигель разбавленной кислоты аппарат оказывал



Рис. 10.

сильное действие на магнитную стрелку. Другой вид этого аппарата, также с очень сильным действием, представлял собой небольшую позолоченную ложечку, на ручке которой была укреплена полоска цинка, изогнутая таким образом, что она доходила до полости ложки. Третий вид представлял собой вольтов элемент, составленный из комбинации цинковой и серебряной стрелок. Будучи укреплены на пробке и опущены в разбавленную кислоту, они подчинялись действию подносимого к ним магнита.

13 ноября Лего (Lehot) сделал в Академии наук сообщение, в котором он, вопреки соображениям Френеля, все же считает, что под влиянием магнитов железные провода могут приобретать способность вызывать разложения, и описывает опыты, поставленные им за шесть лет до этого. Концы двух железных проводов, соединенных двумя другими концами с полюсами магнита, были опущены в воду. Южный полюс вызывал окисление, в то время как провод на северном полюсе оставался чистым; далее южный полюс вызывал также покраснение лакмусовой тинктуры, а северный нет.

Однако эти опыты никак нельзя считать решающими, и сам Лего придавал им не большее значение, чем опытам, произведенным за двадцать лет до того Риттером и на неточность которых уже указывал Френель.

На заседании 13 ноября Ампер прочел сообщение об электрическом действии провода в форме спирали, подверженной действию только земного магнетизма. Провод был винтообразно намотан на бумажный цилиндр, ось которого была направлена параллельно к направлению стрелки наклонения. Концы провода были опущены в раствор поваренной соли. Через семь дней на обоих концах провода было замечено выделение газа, главным образом на конце, соответствующем отрицательному полюсу батареи. При удалении пузырьков газа на их месте появлялись новые, причем отрицательный конец все время оставался чистым, положительный же в конце концов окислялся и больше газа не выделял. Однако после сообщения Френеля¹ этот опыт не произвел достаточно солидного впечатления, и Ампер сам признал, что существование подобного действия кажется ему не вполне доказанным.

16 ноября в заседании Королевского общества было зачитано письмо Дэви к Волластону² относительно магнитных явлений, вызываемых электричеством. Большая часть описываемых им опытов была поставлена в октябре и представляет весьма большой интерес. Сделать краткое резюме работ этого физика весьма трудно благодаря свойственному ему уменью выражать множество важных фактов в немногих словах. В данном случае это было бы излишним, ибо в настоящем томе Вашего журнала на стр. 81 напечатана статья самого Дэви, в которой весьма нетрудно проследить вывод одного факта из другого. Нижеследующее представляет собой лишь простое перечисление содержащихся в этой статье фактов.

Замыкающий провод действует на стрелку в согласии с положением Эрстеда. Это действие приписывается тому, что сам провод становится магнитом, для доказательства

¹ Здесь имеется в виду доклад Френеля от 9 ноября (см. стр. 26). (Ред.)

² Волластон (Wollaston William, 1766—1828 гг.) — известный английский физико-химик, открыл палладий и родий, один из первых пытался на основании эффекта Эрстеда получить электромагнитное вращение. (Ред.)

чего он подносился к железным опилкам, которые тотчас же им притягивались и отпадали лишь после размыкания цепи. Этот опыт был проделан уже Араго (см. стр. 25), но оба физика проделали свои опыты самостоятельно, независимо друг от друга; ввиду же того, что Араго еще не опубликовал подробных данных о своей работе, точное описание сэра Гемфри Дэви оказалось чрезвычайно интересным. Это влияние проявлялось в любой точке провода и батареи. Стальные стрелки, накладываемые на провод, намагничивались; будучи помещены параллельно проводу, они действовали, как и он; помещенные поперек они обнаруживали существование двух полюсов. Когда положительный конец батареи оказывался с восточной стороны, то северный полюс помещенной под проводом стрелки оказывался на южной стороне провода, а южный полюс — на северной стороне. При положении стрелок над проводом расположение менялось на обратное, и весь процесс оставался неизменным, независимо от наклона стрелки относительно провода. Оказывается, что эти расположения в точности соответствуют положениям, вытекающим из опытов Эрстеда. При перерыве тока стрелки, помещенные поперек провода, продолжали оставаться намагниченными, тогда как помещенные параллельно ему мгновенно размагничивались.

Платиновые, серебряные и другие провода не намагничивались в этих условиях, независимо от положения, занимаемого проводами или батареей, если только такие провода случайно не оказывались частью цепи. Непосредственное соприкосновение не является необходимым. Действие наступает мгновенно. Для мгновенного проявления действия достаточно просто близости, даже при наличии толстого разделяющего стекла. На поверхности стеклянной пластинки, расположенной на расстоянии четверти дюйма над проводом, железные опилки располагались по прямой линии в направлении, поперечном проводу. Действие было пропорционально количеству электричества, проходящему через данное пространство, независимо от того, через какой металл оно проходит. Величина магнитного действия замыкающего провода возрастает с увеличением пластин батареи. Замыкающий провод батареи, состоявшей из 60 пар пластин, притягивал почти вдвое меньше железных опилок, чем батарея, состоявшая из 30 пар пластин вдвое большей величины. Магнитные влияния возрастали по мере нагревания провода.

Из соображения, что для появления заметного магнетизма нужно большое количество электричества, Дэви сделал вывод, что ток от электризирующей машины не должен оказать никакого действия, и наоборот, он ожидал этого действия от разряда. Это предположение подтвердилось. Полярность намагниченной стрелки в точности соответствовала предыдущим случаям. Для этих опытов применялась батарея размером в 17 кв. футов, которой был сообщен большой заряд, разряженный посредством серебряной проволоки диаметром в $\frac{1}{2}$ дюйма, в результате чего два стальных стержня длиной в 1 дюйм и толщиной от $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{20}$ дюйма намагничивались столь сильно, что были в состоянии удерживать стальные проволоки и иглы. Действие на стрелки становилось заметным на расстоянии 5 дюймов от провода даже в тех случаях, когда между ними помещалась вода или толстые стеклянные или металлические пластинки.

Опыты подобного рода показали, что серная кислота, заключенная в трубку диаметром в $\frac{1}{4}$ дюйма, проводит электричество недостаточно для намагничивания стали, что разряд через воздух намагничивает поперечно расположенную стрелку, хотя и не столь сильно как провод, что стальные стержни, включенные в цепь или помещенные параллельно ей, не намагничиваются, что два стальных стержня, положенные рядом поперек провода, проходящего через их общий центр тяжести, после разряда не обнаружили признаков магнетизма, оставаясь вместе; будучи же разделены, обнаружили противоположные полюсы.

Автор заключает из этих опытов, что магнетизм возбуждается во всех тех случаях, когда через пространство проходит накопившееся электричество.

Когда большое количество проволок было расположено кругом около замыкающего провода, а также в различных направлениях по соседству с ним, то все они после разряда оказывались намагниченными, причем полярность их соответствовала раньше описанному случаю. Таким образом северный полюс одной проволоки был обращен к южному полюсу следующей и наблюдалось определенное расположение их относительно пути разряда (рис. 11). Когда замыкающий провод был разветвлен в одной точке на три или четыре тонких провода, через которые был пропущен разряд вольтовой батареи, то все они намагничивались одно-

временно и каждый в отдельности притягивал железные опилки. При сближении двух таких проводов их противоположными сторонами притянутые ими опилки начинали притягивать друг друга. Это заставляло предполагать, что опилки, расположенные на одинаковых сторонах, будут отталкиваться¹. Для проверки этого предположения были установлены две батареи параллельно друг к другу, но в противоположном направлении. Железные опилки, расположенные на замыкающих проводах последних, взаимно отталкивались. Подобные же явления обнаружили примененные для замыкания провода из платины и тонкие стальные провода без железных опилок. Очевидно, что эти опыты аналогичны опытам Ампера над притяжением и отталкиванием двух замыкающих проводов, или, как он выражается, двух электрических токов, и доказывают одно и то же. Прямолинейные куски платины, серебра и латуни, укрепленные на платиновых лезвиях и соединенные с полюсами батареи, показывали притяжение и отталкивание в соответствии с вышеупомянутыми данными. Золотой листок, примененный для замыкания, был приведен в движение действием магнита.

В этой статье дается также простой метод изготовления магнитов, состоящий в том, что стальные стержни кладутся поперечно к проводникам электричества, хорошо и свободно расположенным, или же последние окружаются кольцеобразными стальными стержнями, подобными тем, которые применяются для изготовления подковообразных магнитов.

Иелин (Yelin), повидимому, случайно открыл намагничи-

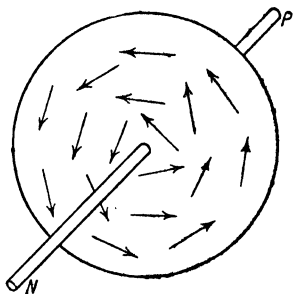


Рис. 11.

¹ Из текста видно, что Фарадей называет расположение проводов „противоположными сторонами“ такое, при котором положительные и соответственно отрицательные полюсы расположены друг против друга и, следовательно, отталкиваются друг друга. Если же головительный полюс одного провода находится против отрицательного полюса другого, и наоборот, то такое расположение Фарадей называет расположением „одинаковыми сторонами“. (Ред.)

вание стальной стрелки в стеклянной трубке, обмотанной проволочной спиралью, через которую пропускаются электрические искры или разряды батареи. Это наблюдение было опубликовано в номере „Allgemeine Zeitung“ от 2 декабря 1820 г.

Вышеописанные опыты были гораздо позже повторены Бекманом, ничего о них не знавшим. Он внес в них некоторые изменения, а именно, он придал спиральям гораздо большие размеры, чем это делалось до сих пор. При применении спиралей, диаметр которых колебался между $1\frac{1}{2}$ и 13 дюймами, не замечалось уменьшения степени намагниченности стрелки, лежащей на оси большей спирали. Спираль диаметром в 34 дюйма давала гораздо более слабое намагничивание, а намагничивание, достигаемое при помощи спирали диаметром в 84 дюйма, было едва заметно. Поверхность применявшейся в этих случаях батареи была равна 300 кв. дюймам. При этом оказалось, что стрелка, находящаяся вне спирали, намагничивается так же хорошо, как и находящаяся внутри ее, что продолжение разрядов по достижении полного намагничивания ослабляло последнее, что действие повторных разрядов пяти лейденских банок, по 300 кв. дюймов каждая, оказалось не сильнее действия одной банки, что для достижения максимального эффекта стальная стрелка или стержень должны иметь определенную толщину и что стальная стрелка, помещенная в трубку из оцинкованного железа, которая в свою очередь была заключена в стеклянную трубку, вокруг которой была намотана спираль, не намагничивалась при разряде, намагниченной же оказывалась железная трубка. В том же случае, когда металлическая трубка была сделана из свинца, стрелка оказывалась намагниченной.

Ван Беек в Утрехте повторил (январь 1821 г.) опыты Эрстеда и других и получил те же результаты, причем в одном случае он обнаружил расхождение с результатами опытов Эрстеда. Последний утверждает, что „в том случае, когда замыкающий провод располагается перпендикулярно к плоскости магнитного меридиана, стрелка, как находящаяся над, так и помещенная под ним, остается неподвижной, при условии, что провод находится не слишком близко от полюса. В последнем случае, если ток входит с западной стороны, полюс поднимается, а если с восточной стороны, — то опускается“. Ван Беек утверждает, что это состояние

покоя в двух положениях провода из возможных четырех не имеет места. Если замыкающий провод проходит под центром стрелки и положительный ток течет с востока на запад, то стрелка остается в покое; если же ток идет с запада на восток, то стрелка описывает пол оборота. Наоборот, если провод проходит над стрелкой, то последняя описывает пол оборота, когда ток идет с востока на запад, и не выходит из состояния покоя при прохождении тока с запада на восток. Ван Беек объясняет это расхождение с результатами, полученными Эрстедом, применением более мощного аппарата, и действительно очевидно, что неудовлетворительность результатов Эрстеда объясняется слабостью его вольтова столба. Упомянутые им притяжение и отталкивание или поднимание и опускание при приближении провода к полюсам доказывают наличие этого действия, которое в опытах ван Беека оказалось достаточно сильным для того, чтобы вызвать оборот стрелки. Сравнивая положения провода и стрелки в этих опытах с таковыми в опытах Эрстеда (рис. 1, 2 и 3), мы увидим, что в двух случаях и именно в тех, на которые указывает ван Беек, стрелка должна была описать полукруг для того, чтобы в этих положениях занять положение равновесия относительно провода.

Ван Беек, повидимому, независимо от других исследователей нашел, что обыкновенное электричество вызывает намагничивание, и ему удалось получить этот эффект с помощью силы, меньшей, чем это делалось до сих пор. Он нашел, что для этого вовсе не требуется сильный разряд, не нужно даже лейденской банки и что стальная стрелка в спирали, укрепленной между кондуктором электростатической машины и другим изолированным проводником, намагничивается при извлечении искр из последнего. Для прочного намагничивания стрелки достаточно было двух оборотов машины с двумя кругами диаметром в 18 дюймов.

В Италии производилось много опытов над получением магнетизма при помощи электричества, но все они являлись повторением опытов, уже сделанных другими. Много опытов было поставлено Гаццери (Gazzeri), Ридольфи (Ridolfi) и Антинори (Antinori) во Флоренции между 6 и 18 января. Из полученных ими результатов наиболее интересными мне кажутся следующие. Внутри спирали, соединенной с полюсами батареи, стрелка намагничивается в течение одной минуты. Стрелки, расположенные на внешней

стороне спирали, не намагничиваются вовсе, за исключением тех случаев, когда одновременно одна или несколько стрелок помещаются внутри спирали, в каком-либо случае полярность внешних стрелок будет обратна полярности внутренних. Намагничивающее действие не претерпевало никаких изменений при изменении формы спирали, а именно, когда путем наворачивания проволоки на параллелепипед спирали придавалась четырехугольная форма. Стрелка и длинная платиновая проволока заворачивались в станиоль, и часть его, заключающая стрелку, помещалась в спираль из медной проволоки. Стрелка намагничивалась, когда цепь замыкалась через платиновую проволоку, минуя спираль. Когда спираль из медной проволоки с заключенной в ней стрелкой помещалась на ртуть, включенную в цепь, то стрелка слабо намагничивалась. Искры, полученные из электростатической машины, при помощи стрелки, заключающей в себе стальную стрелку, намагничивали последнюю.

Вышеупомянутые физики якобы нашли, что замыкающий провод, не проходящий от одного конца батареи до другого, но находящийся в других участках цепи, не намагничивает стрелку. Это, по видимому, ошибка.

Де ля Борн (Borne), повторивший 8 января опыты Араго, внес в них некоторые изменения, а именно он брал железную спираль и заключал в нее прямой провод, через который посылался электрический разряд. В этом случае спираль занимала место стрелки, подлежащей намагничиванию; она оказывалась сильным магнитом, полярность ее была подобна часто уже упоминавшейся. Такой магнит гибок и эластичен, он может быть удвоен, укорочен и удлинен; при сближении его полюсов действие на стрелку заметно уменьшается.

В недатированном письме к Бертолле¹, помещенном в „Annales de Chimie“, стр. 113, Берцелиус² описывает один опыт. Тонкая полоска цинка длиной в 8 дюймов и шириной в 2 дюйма помещалась в плоскости меридиана и параллельно к последнему и в этом положении включалась

¹ Бертолле (Berthollet Claude, 1748—1822 гг.) — французский химик, автор известного сочинения „Химическая статика“ (1803 г.). (Ред.)

² Берцелиус (Berzelius Jacob, 1779 — 1848 гг.) — выдающийся немецкий химик-атомист, один из пионеров электрической теории материи. (Ред.)

в цепь вольтовой батареи. Магнитная стрелка, подносимая к нижнему краю этой полоски, отклонялась от магнитного меридиана на 20° . При медленном подъеме вверх по достижении одного уровня с центром полоски стрелка возвращалась в свое прежнее положение. При этом все же один конец ее поднимался, а другой опускался. При приближении к верхнему краю полоски стрелка отклонялась на 20° от магнитного меридиана в сторону, противоположную первому отклонению. При движении стрелки вверх и вниз на обратной стороне полоски наблюдались те же явления и то же отклонение, но в противоположном направлении. Когда в верхнем крае цинковой полоски был вырезан небольшой кусок, загнутый затем вверх, так что он выдавался над верхним краем, то стрелка, помещенная на одинаковом расстоянии от края полоски и от этого выступа, в последнем случае намагничивалась сильнее.

Если применять четырехугольную полоску цинка, противоположащие углы которой соединялись с батареей, то действие оказывается наиболее сильным в двух остальных углах. По мнению Берцелиуса это является доказательством того, что магнитная полярность тока подобно полярностям электричества и искусственного магнита располагается по противоположащим концам.

При помещении полоски цинка горизонтально в плоскости магнитного меридиана она действовала подобно проводу. Отклонение стрелки было наиболее сильным непосредственно над или под средней частью полоски, а края действовали, как в прежнем положении. В этих опытах стрелки занимали точно ожидаемое от них положение. Вес интерес этих опытов лежит в том применении, которое сделал из них автор для подтверждения своей особой точки зрения. Сами же по себе они не содержат ничего нового. Берцелиус считает, что круглый проводник представляет собой более сложный случай, чем квадратный или имеющий форму параллелепипеда. Я скоро вернусь к рассмотрению теории этого исследователя.

Опыты Лего (27 февраля) являются повторением прежних и имеют целью лишь опровергнуть мнение Ридольфи, что для намагничения стрелки проводник должен в большей или меньшей степени обойти вокруг нее. Он показал, что прямолинейный проводник в состоянии возбуждать магнетизм.

После всего вышеизложенного опыты Швейггера¹ (Schweigger) не содержат ничего нового. Я не знаю времени их возникновения. Они были опубликованы в „Bibl. Universelle“ в марте 1821 г. Автор обводит провод несколько раз вокруг стрелки и таким образом усиливает действие аналогично спирали, несмотря на то, что для возбуждения тока он пользуется только двумя пластинками площадью в 4 кв. дюйма. Воздействие на магнитную стрелку было очень сильным. Швейггер выступает против теории Эрстеда и противопоставляет ей свою собственную.

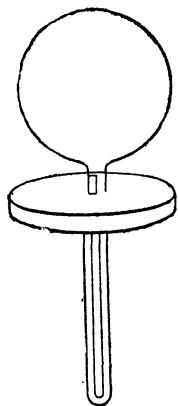


Рис. 12.

В этой же книжке „Bibl. Univ.“ де ля Рив² описывает два маленьких аппарата, которые предназначены для демонстрации двух опытов Ампера, а именно с притяжением электрического тока магнитом и с искусственным электромагнитом Ампера. Первый из этих аппаратов состоит из двух полосок, одной цинковой и другой медной, проходящих сквозь пробковый поплавок и соединенных сверху изогнутой проволокой. Будучи опущен на поверхность разбавленной кислоты, так что нижние концы оказываются покрытыми жидкостью, аппарат представляет собой вольтов элемент, который притягивается и отталкивается магни-

том в зависимости от направления, в котором к нему приближается замыкающий провод (рис. 12). Второй аппарат, как и первый, состоит из полосок цинка и меди, укрепленных на пробковом поплавке и соединенных сверху спиралью. Для изготовления последней обмотанная шелком медная проволока наматывается на тонкую стеклянную трубочку, затем спираль вытягивается, концы проволоки проводятся

¹ Швейггер (Schweigger Johann, 1779—1857 гг.) — немецкий физико-химик, один из основоположников электрохимии и изобретатель мультпликатора. Теория Швейггера, о которой упоминает Фарадей, заключалась в том, что он представлял себе вольтов столб как электрический магнит, состоящий из ряда примыкающих друг к другу поляризованных слоев. (Ред.)

² Де ля Рив (de la Rive Auguste, 1801—1873 гг.) — женеvский физик, развивал электрохимическую теорию гальванического элемента в противовес контактной теории Вольты. (Ред.)

назад до половины спирали и затем выводятся наружу между витками спирали, где и соединяются с верхним краем цинковой и медной полосок (рис. 13). Если поставить этот аппарат на подкисленную воду, то на концах стрелки наблюдается притягивание и отталкивание, как на полюсах магнита. Эти аппараты очень легко изготавливаются, просты и хорошо работают.

В трех письмах к редактору „Journal de Physique“, из которых первое помечено 23 марта, а остальные не датированы, Моль (Moll) описывает некоторые опыты над изучением соотношения действий батареи, состоящей из множества небольших пластинок, и батареи из двух больших пластин.

Большой аппарат состоял из узкой медной ячейки и одной цинковой пластинки с поверхностью, равной 4 кв. фута. Меньший аппарат был собран по способу Волластона из пластин размером в 4 кв. дюйма, окруженных медью. Моль нашел, что большой аппарат обладает значительной магнитной силой, когда замыкающий провод его был довольно толст (0,2 дюйма), и ослабевает при применении гораздо более тонкой платиновой проволоки (0,01 дюйма), равно как и медного цилиндра диаметром около одного дюйма. Несмотря на сильное магнитное действие, этот аппарат не вызывал ни в растворах кислот, ни в тинктуре лакмуса никакого химического действия. Для сравнения действия этого аппарата с другим из небольших пластинок и ячеек последний был составлен из 36 пар пластин таким образом, что поверхность цинка в обоих была одинакова. Несмотря на то, что в качестве возбуждающей жидкости в обоих случаях применялась одинаковая кислота и что замыкающие провода были одинаковы, аппарат, состоявший из двух пластин, вызывал отклонения стрелки на 60—70° от магнитного меридиана, тогда как батарея, состоявшая из небольших пластинок, отклоняла ее лишь на 12°. Разлагающая сила последней была весьма значительной, и поэтому Моль приходит к выводу, что ячейковый аппарат вызывает

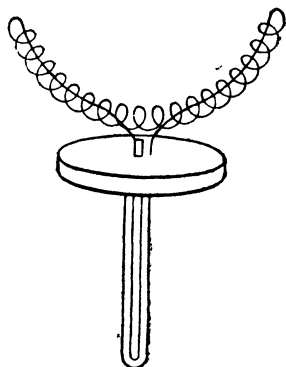


Рис. 13.

сильное химическое, но слабое магнитное действие, тогда как простой пластиночный аппарат вызывает едва заметное химическое, но значительное магнитное действие.

Моль также замечает, что состояние простого пластиночного аппарата в отношении характера полюсов противоположно батарее из многих пластин, ибо цинковый полюс отрицателен, а медный положителен. Он нашел, что вблизи провода первого аппарата стрелка принимает положение, обратное тому, которое она имеет вблизи провода второй. Ибо когда провод, соединяющий цинковый полюс с медным, был направлен с севера на юг, то помещенная под ним стрелка поворачивалась не на восток, а на запад; при помещении стрелки над проводом замечалось обратное явление. Причину этого различия нетрудно понять, если вспомнить, что в одном из случаев провод соединял только *одну*, а не *различные* пары пластинок, так что в действительности этот провод имел направление, обратное направлению проводов, служащих для соединения полюсов батареи, состоящей из четырех или более пластинок. Поэтому сделанный Модем вывод, что пластины более простого аппарата находятся в состоянии, обратном состоянию пластин батареи из множества пластинок, следует признать преждевременным.

Для увеличения поверхности пластинок и сохранения портативности аппарата пластинки по предложению Офферсгауза (Offershaus) делались в виде спиралей, вложенных одна в другую. Это устройство вскоре было принято также Гэром (Hare) в Филадельфии. Действия такого аппарата весьма значительны и подобны вышеописанным.

Несмотря на применение столь мощных аппаратов, Молю удалось намагнитить стрелку лишь после того, как он несколько раз обвел замыкающий провод вокруг нее. Он заключает из своих опытов, что спиральная форма является абсолютно необходимой для достижения намагничивания. Однако, в особенности после опытов сэра Гемфри Дэви, можно сомневаться в правильности этого положения, ибо разряд через прямолинейный провод намагничивает помещенную поперечно к нему стрелку на расстоянии нескольких дюймов. Моль опровергает также возможность намагничивания стрелок на внешней стороне спиралей,

Некоторые из опытов, произведенных Пиктэ (Pictet)¹ во Флоренции 7 апреля, подтверждают правильность результатов, полученных Эрстедом.

Гальванометрический конденсатор² Поггендорфа³ есть не что иное, как вертикально поставленная спираль, концы которой соединены с парой из цинковой и медной пластин, находящейся в разбавленной кислоте. Если укрепленную на острие стрелку внести в эту спираль так, чтобы она была перпендикулярна к оси последней, то стрелка вскоре становится полярно-магнитной, независимо от устройства спирали и способа ее соединения с пластинками. Надо отметить, что в противовес ранее описанным опытам здесь стрелка лежит не на оси спирали или параллельно ей, но направлена к ней перпендикулярно. Она намагничивается, по всей вероятности, вследствие какого-нибудь косвенного влияния спирали.

Наконец, 5 июля сэр Гемфри Дэви прочел в Королевском обществе доклад относительно магнитных явлений, вызываемых электрическим током, и их отношении к теплоте, развивающейся под влиянием той же причины. Однако это сообщение еще не напечатано, не появлялось еще даже отчета о нем, так что я не могу ничего сказать относительно содержащегося в нем фактического материала.

Вышеизложенное представляет собой, дорогой сэр, неполное перечисление дошедших до моего сведения опытов, произведенных в этой области после открытия Эрстеда. Физики и до этого занимались вопросом о взаимоотношении между электричеством и магнетизмом и строили по этому поводу различные теории, но их работы не содержат фактического материала. Для того чтобы показать, как мало было сделано до настоящего времени в этой области, я приведу здесь примечание сэра Гемфри Дэви к его первому

¹ Пикте Марк-Август (1752—1828 гг.) — швейцарский естествоиспытатель. Из его сочинений известны: „Essais de physique“ (1790 г.) и „Considerations sur la meteorologie“ (1778 г.). (Ред.)

² Электромагнетический конденсатор есть первоначальное название мультипликатора, употреблявшееся наравне с последним (Gilb. Ann., 67, 206, 422). (К)

³ Поггендорф (Poggendorf Johann, 1796—1877 гг.) — известный издатель и редактор *Annalen der Physik und Chemie* и историк физики. Поггендорф одновременно с Швейггером изобрел мультипликатор. Выступал против де ля Рива и Фарадея в защиту контактной теории. (Ред.)

сообщению и этим закончу фактическую часть этого очерка. Остальную часть письма я посвящу более детальному рассмотрению различных теорий электромагнетизма.

„Риттер¹ утверждает, что стрелка, состоящая из цинка и серебра, сама устанавливается в магнитном меридиане и испытывает легкое притяжение и отталкивание под действием полюсов магнита и что металлическая проволока, включенная в вольтову цепь, принимает направление *NE* и *SE*. Его мысли часто настолько запутаны, что их трудно понять; однако он, повидимому, представлял себе, что электрические комбинации, не проявляющие электрического напряжения, находятся в магнитном состоянии и что существует нечто вроде электромагнитного меридиана, обусловленного земным электричеством („*Annales de Chimie*“, t. LXIV, p. 80).

После того как это письмо было написано, Марсе (Marsé) прислал мне из Генуи небольшую статью Альдини о гальванизме и книгу Изарна (Izarn) о гальванизме, вышедшую в Париже более 16 лет тому назад. Там сообщается, что Можон (Mojon), старший, в Генуе намагничивал стальную стрелку, включая ее на долгое время в вольтову цепь. Однако это, повидимому, объясняется исключительно тем, что стрелка находилась в магнитном меридиане или случайно намагнитилась. Романьози в Триенте будто бы нашел, что вольтов столб вызывает отклонение стрелки; он не сообщает подробностей, но если это сообщение вообще верно, то надо полагать, что это не было тем, что наблюдал Эрстед. Повидимому, он просто наблюдал изменение полюсов стрелки, составлявшей часть вольтовой цепи“².

¹ Риттер (Ritter Johann Wilhelm, 1776—1810 гг.) — баварский физик, один из первых защищал химическую теорию гальванизма и добился гальванического разложения воды (1799 г.), изобретатель сухого элемента. Главные работы: „*Galvanische Versuche über d. chem. Natur d. Wassers*“, *Crelle's Journ.* 1801 г.; „*Beiträge zur näheren Kenntnis d. Galvanismus*“, 1800 г.; „*Über d. Galvanismus in d. anorg. Natur*“ *Gilbert. Ann.*, 1799 г. (*Peð.*)

² Начинаящейся здесь третьей и последней части своей статьи Фарадей предпосылает следующее обращение к редактору *Annals of Philosophy*:

„Дорогой сэр,

К сожалению, я был лишен возможности закончить очерк истории электромагнетизма, часть которой Вы уже получили. С апреля месяца—число, до которого я довел свое короткое опи-

В предшествующем изложении я хотел дать картину экспериментальных результатов, достигнутых в этой новой области знания; теперь я попытаюсь дать возможно более краткий очерк теорий, выдвинутых различными физиками.

Первый заслуживающий внимания опыт теоретического обоснования этих явлений принадлежит Эрстеду. Всякий, ознакомившийся с работами этого физика как относительно его собственных, так и предшествующих открытий, сразу увидит, что опыты его скорее являлись следствием его теорий, чем наоборот. В его открытии случай, повидимому, играл весьма незначительную роль; он скорее затруднял его, ибо все было уже осмыслено и опыты продуманы задолго до их осуществления. Несмотря на это, я могу сказать лишь очень мало о теории Эрстеда, ибо вынужден сознаться, что не вполне ее понимаю. До 1807 г. Эрстед опубликовал работу под заглавием: „Исследование об идентичности химической и электрической сил“, восьмая глава которой посвящена рассмотрению тождества магнитной и электрической сил. В этой работе Эрстед предлагает исследовать, не оказывает ли электричество в латентном своем состоянии влияния на магнит, и, повидимому, считает оба эти агента тождественными.

После того как опыты были с успехом поставлены, Эрстед смог придать своей теории определенную форму, и он заканчивает свое первое сообщение* гипотезой, которая, по его мнению, дает объяснение всем этим явлениям. Он полагает, что когда провод соединяет оба полюса батареи так, что через него совершается разряд электричеств этих полюсов, то в проводе происходит процесс, обусловливаемый соединением обоих электричеств, который он называет электрическим конфликтом. Этот именно процесс, эффект или состояние обоих электричеств, и влияет на магнитную стрелку и отклоняет ее от ее направления.

Электрический конфликт действует только на магнитные

сание, — в этой области знания произошло много нового, однако я не могу заняться описанием этого. Так как Вы все же хотите получить составленный мною теоретический очерк, то посылаю его Вам и предоставляю Вам поступить с ним по Вашему усмотрению.

Остаюсь преданный Вам

М. Ф.*

* См. *Annals of Philosophy*, XVI, стр. 276.

частицы материи. Все намагниченные тела, повидимому, проницаемы для электрического конфликта, тогда как магнитные тела или, вернее, их магнитные частицы оказывают сопротивление проникновению последнего и благодаря действию борющихся друг с другом сил приводятся в движение. Электрический конфликт не ограничивается только проводниками, но распространяется в окружающем пространстве, ибо иначе он не мог бы действовать на стрелку на расстоянии. Он принимает также форму круга, ибо в противном случае, говорит Эрстед, кажется невозможным, чтобы часть провода, проходящая под магнитным полюсом, направляла его на восток, а часть, проходящая над ним, — на запад; природе же круга свойственно, что движения в противолежащих частях его имеют обратные направления. К этому Эрстед добавляет, что все приведенные в его опытах действия на северный полюс можно легко понять, если считать, что отрицательное электричество движется по первой спирали, что оно отталкивает северный полюс, но не влияет на южный. Действие на южный полюс объясняется подобным же образом, если приписать положительному электричеству обратное направление и свойство действовать на южный, но не на северный полюс.

Таким образом теория Эрстеда предполагает существование двух электрических флюидов, мыслимых не отдельно и не вместе, но в акте соединения, так что возникает электрический конфликт, и которые тем не менее раздельно движутся в противоположных направлениях по спирали через провод и кругом последнего и обладают вполне определенными и отличными друг от друга магнитными силами, поскольку одно электричество (отрицательное) отталкивает северный полюс магнита, не оказывая никакого влияния на южный, а другое (положительное) отталкивает южный полюс, но не действует на северный.

Как я уже упоминал выше, эта точка зрения мне не совсем понятна, и поэтому мне вообще не следовало здесь касаться этой теории. Однако можно надеяться, что знаменитый физик не замедлит развить принципы, приведшие его к уже опубликованным результатам. И я не сомневаюсь, что за ними последуют другие открытия, столь же новые для человечества, столь же важные для науки и столь же почетные для него самого, как и достигнутые им до сих пор.

Выше я уже упоминал об опытах Берцелиуса. Они описаны в письме его к Бертолле, опубликованном в *Annales de Chimie*, vol. XVI, стр. 13. Заключение в нем теоретические соображения значительно отличаются от взглядов, высказанных Эрстедом. Берцелиус пользуется для соединения полюсов батареи не круглыми проводами, но полосками цинка в форме параллелепипедов и полагает, что это облегчает наблюдение магнитных явлений. Дело в том, что он пришел к выводу, что магнитное состояние внутри поперечного сечения проволоки может быть представлено двумя магнитами, приложенными друг к другу разноименными полюсами, как это показано на рис. 14. Таким образом провод углового сечения, по которому проходит ток, является металлическим параллелепипедом, углы которого представляют собой как бы магнитные полюсы, расположенные вдоль параллелепипеда, через который проходит ток, и именно так, что противоположные углы являются одноименными полюсами, тогда как углы, лежащие на одной стороне, имеют разноименные полюсы. Поэтому, когда стрелка обводится вокруг провода, мы должны найти четыре полюса: северный, южный, северный, южный*.

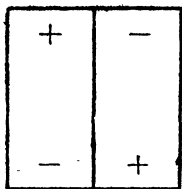


Рис. 14.

Берцелиус также замечает, что каждый вид электричества (он принимает существование двух видов) должен быть представлен в проводе при помощи отдельного магнита и что каждый из видов поворачивает аналогичный ему магнитный полюс в сторону, соответствующую его направлению. Очевидно, говорит он, что обычные магнитные явления отличаются от явлений электрического тем, что в последнем случае мы имеем двойную и обратную полярность, тогда как в обыкновенных магнитах — только простую полярность. Хотя двойная магнитная полярность легко может быть воспроизведена, мы до сих пор не знаем способа, позволяющего воспроизводить простую магнитную полярность при помощи электричества.

Берцелиус считает, что этим можно объяснить все уже наблюдаемые и все будущие явления, ибо, говорит он, руководясь этим, можно предсказать все явления, которые

* *Annals. of Philosophy*, II, стр. 287, Новая серия.

могут иметь место в проводнике, находящемся в этом состоянии. Он считает представления Ампера неверными, а гипотезы Эрстеда хотя и остроумными, но весьма неправдоподобными. Однако же следует признать, что сам Берцелиус несколько поторопился в своих выводах. Вышеизложенное состояние провода несовместимо с опытами Эрстеда и других, как в этом нетрудно убедиться из рис. 2, 6, 7, 8, 9 и 11 и тех явлений, для иллюстрации которых они служат. Действительно, стоит лишь попытаться обнаружить четыре мнимых полюса в углах четырехугольного провода, чтобы тотчас же убедиться в том, что один из углов вместо постоянной полярности показывает северный либо южный полюс, в зависимости от того, с какой стороны к нему приближается стрелка. Однако вряд ли можно сомневаться в том, что Берцелиус сможет исправить свою точку зрения и обогатить эту отрасль науки вкладом, достойным его имени.

К людям, которые, как я неоднократно имел случай упоминать, стремились заложить основы истинной теории электромагнитных явлений или по крайней мере сформулировать управляющий ими закон, принадлежит также и Волластон. Он сам, насколько мне известно, не опубликовал ничего по этому вопросу, однако в „Quarterly Journal of Science“, X, 363, появилась заметка, подписанная его именем и вследствие этого, вероятно, выражающая его точку зрения. Известно, как высоко надо ценить взгляды этого физика, и поэтому очерк этот много бы потерял, если бы я не изложил в нем то небольшое, что исходит от такого авторитета.

„Явления, наблюдаемые в электромагнитном или замыкающем проводе, могут быть объяснены, если принять, что вокруг оси замыкающего провода проходит электромагнитный ток, направление которого зависит от направления электрического тока или полюсов батареи, с которой он соединен“.

„Эти рисунки представляют собой два поперечных сечения

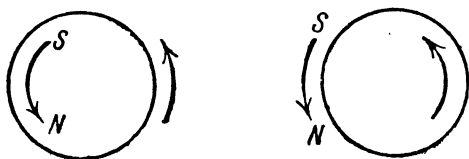


Рис. 15.

такого тока для случая одноименной электризации, из чего видно, что встречающиеся южная и северная силы будут притягивать друг друга“.

„Эти рисунки изображают поперечные сечения проводов,

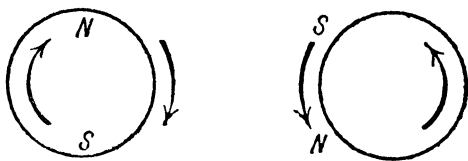


Рис. 16.

наэлектризованных разноименно. Поэтому встречающиеся в них однородные магнитные силы отталкивают друг друга“.

Швейггер в Галле также выдвинул теорию, которая, как он полагает, объясняет новые явления лучше, чем теория Эрстеда, которую он обвиняет в том, что она не дает объяснения некоторых явлений и несовместима с некоторыми другими. Я ознакомился с теорией Швейггера лишь по изложению ее в „Bibliothèque Universelle“ за март 1821 г., стр. 199. Там сказано, что он принимает существование в каждом поперечном сечении провода двух магнитных осей, перпендикулярных к направлению тока, одной сверху, другой снизу и идущих в противоположных направлениях. Эта противоположность направлений магнитного тока в обеих осях необходима, так как явления прямо противоположны в зависимости от того, находится ли стрелка над или под проводом.

Трудно понять, каким образом эта теория сможет объяснить описанные Эрстедом явления, однако было бы неправильно высказывать здесь сомнения в ее ценности, ибо мое изложение основано не на знакомстве с оригиналом, а лишь на кратком извлечении, сделанном на иностранном языке.

Ридольфи, повидимому, составил себе представление, что электричество слагается из магнетизма и теплоты. В „Bibliothèque Universelle“ за февраль 1821 г., стр. 114 и др., им дано описание многих опытов, поставленных с целью разделить электричество на эти составные части или из них его получить. Экспериментальных подтверждений правильности этой точки зрения найдено не было.

Среди всех выдвинутых до настоящего времени теорий

электромагнитных явлений теория Ампера является самой всеобъемлющей и определенной. Кроме того, она более других подвергалась как экспериментальной, так и математической проверке.

В сущности, она одна заслуживает названия *теории*. Если я должен был бы дать вам нечто большее, нежели краткий очерк об электромагнетизме, то не решился бы коснуться этой теории. Однако я надеюсь, что при создавшихся обстоятельствах Ампер найдет возможным извинить недостатки нижеследующего изложения, если не чем-либо иным, то во всяком случае непритязательностью этого письма. Ампер исходит из принятой ныне повсеместно во Франции теории, допускающей существование двух электрических флюидов. Его точка зрения в этом вопросе не вызывает никаких сомнений. Ибо, несмотря на то, что он часто употребляет слово электричество как в смысле особого состояния тела, так и в смысле находящегося между частицами этого тела специфического флюида, все же в одном месте он употребляет выражение *электрические флюиды* и называет электрические токи субстанциальными токами. Это позволяет с почти полной уверенностью утверждать, что Ампер принимает существование в качестве носителей электричества двух различных флюидов, которым он приписывает одинаково реальное существование и одинаковую силу, хотя и называет одно положительным, а другое отрицательным электричеством.

Он рассматривает вольтову батарею как инструмент, обладающий свойством проводить одно электричество к одному, другое — к другому концу. Идущее к цинковому концу носит название положительного, идущее к медному концу — отрицательного электричества. Однако можно предполагать, что эти названия сохраняются лишь по привычке и с ними не связывается никакое представление о специфических свойствах того или другого флюида.

Металлическая проволока, иными словами, проводник электричества, будучи соединен с полюсами батареи, проводит оба флюида. Так как батарея обладает свойством посылать к обоим концам все новые и новые количества обоих флюидов, то первые порции, проведенные проводом, заменяются все новыми, и таким образом возникают токи, продолжающиеся все время, пока батарея действует, и полюсы ее остаются связанными между собой при помощи

провода. Ввиду того что провод в этом состоянии может оказывать действие на стрелку, то для полного понимания теории чрезвычайно важно иметь ясное и точное представление об истинном или предполагаемом состоянии стрелки, ибо на этом, в сущности, основана вся теория. Можно сказать, что материальные количества, находящиеся в таком же состоянии, как этот провод, являются тем материалом, из которого теория Ампера предполагает построенными не только стержневые магниты, но и большой земной магнит. Поэтому мы прежде всего были вправе ожидать точного описания этого состояния. Наши ожидания, к сожалению, оказываются обманутыми, и благодаря этому остальная часть теории является весьма смутной. Хотя открытые Ампером столь интересные факты, а равно и общие законы и соотношения в проводниках и магнитах могли быть описаны и представлены с тем же успехом и так же основательно, опираясь исключительно на силы, выявленные при помощи эксперимента без всякой ссылки на внутреннее состояние провода, однако, так как Ампер все время ссылается на токи в проводе и его теория фактически основана на допущении существования последних, следовало бы сказать, что именно представляет собой ток.

На стр. 63 XV тома „Annales de Chimie“, где Ампер говорит о батарее и замыкающем проводе, сказано, что по общепринятому представлению батарея непрерывно посылает оба электричества в двух направлениях, как и в момент включения, „так что мы имеем двойной поток — один положительного, другой отрицательного электричества, исходящие из пунктов нахождения электромагнитной силы и соединяющихся снова в противоположащей этим пунктам части цепи“. Это соединение должно естественно происходить в проводе, и позволительно будет задать вопрос, не является ли это соединение, как это полагает Эрстед, называющий его электрическим конфликтом, причиной возникновения магнитных действий, а также, что именно получается из электричества, собирающихся в проводе. Однако из рассмотрения других мест в сообщении Ампера получается совершенно отличное представление об электрических токах, а именно, что одно электричество непрерывно циркулирует в одном направлении, а другое в обратном ему, так что оба электричества в одном и том же проводе и аппарате проходят одно мимо другого.

Не останавливаясь на описании состояния провода при этих условиях, Ампер, говоря о направлении электрических токов, не определяет их более точно, а с целью избежать путаницы выражается так, как если бы имелся лишь один ток, который он называет просто электрическим током, не упоминая, положителен он или отрицателен. Ток этот идет в батарее от меди к цинку, а в проводе от цинка к меди. В этом виде предположение существования тока и его направления, очевидно, продиктовано лишь соображениями удобства для того, чтобы иметь нечто, к чему может быть легко отнесено направление электромагнитного движения. При таком подходе не возникает вопроса о том, какими условиями определяется существование двойного тока в проводе и каким образом им вызывается магнетизм.

В части этого очерка, посвященной описанию фактической стороны открытий, я уже упоминал, что Эрстед открыл сначала действие между проводом и магнитной стрелкой. Он показал, что на стрелку действует только замкнутая батарея, что электричество, следовательно, находится в поступательном движении или, по выражению Ампера, должно существовать в виде тока, прежде чем будет намагничено. Вскоре затем Ампер открыл, что два электрических тока (употребляя это слово в том смысле, которое ему придает Ампер) могут действовать друг на друга и таким образом вызывать совершенно новые электрические явления. Об этом открытии я уже упоминал в другом месте этого письма*; оно гласит, что токи, одинаково направленные, притягиваются, а разно направленные отталкиваются. Как выясняется из дальнейшего изложения, эти притяжения и отталкивания коренным образом отличаются от притяжений и отталкиваний, наблюдаемых в электричестве в состоянии напряжения. Ампер также приписывает их электричеству, но лишь электричеству движущемуся. По его мнению, они объясняются некоторыми свойствами этого потока, а не зависят от действия магнитного или какого-нибудь иного флюида, освобожденного электричеством. Электричество, накапливаясь в каком-нибудь месте, проявляется в форме известных притяжений и отталкиваний, которые мы называем электрическими. Электричество же, находящееся в движении, проявляется

* *Annals. of Philosophy*, т. II, стр. 275, Новая серия. См. выше стр. 18.

в виде тех притяжений и отталкиваний, о которых сейчас идет речь.

Описав новые свойства электрического тока, Ампер вернулся к опыту Эрстеда и заменил один из токов магнитом. Результаты оказались подобными прежним. Притяжения и отталкивания оказались теми же и совершались подобным же образом. Таким образом, когда один из проводов был заменен магнитом, наблюдались эффекты, известные из опытов с двумя проводами как электрические. Однако распределение сил в магните, повидимому, отличается от такового в проводе и токе. Сила, проявляющаяся в проводе на одной стороне, в магните наблюдается на одном конце, а проявляемая проводом на другой стороне концентрируется в магните в другом конце.

Когда второй провод также заменялся магнитом, то действие магнитов друг на друга было обычным и оказалось аналогичным действию двух токов друг на друга. Эти опыты привели Ампера к выводу, что природа всех этих притяжений между двумя проводами, проводом и магнитом и двумя магнитами чисто электрическая и что в конце концов все магнитные явления обусловлены электрическими токами.

Рассматриваемые с этой точки зрения электричество и магнетизм оказываются идентичными, или, вернее, магнитные явления представляют собой особый вид явлений электрических. Поэтому магнетизм должен образовать особую главу в учении об электричестве и именно учении об электрических токах. Однако раньше чем согласиться с этим, хотя и удобным, но несколько преждевременным подразделением, мы должны попытаться узнать, каково распределение электрических токов, которое Ампер считает необходимым для объяснения многообразных явлений магнетизма.

Распределение магнитных сил в проводящем проводе столь отлично от такового в магните, что сначала не совсем ясно, каким образом можно себе представить превращение одних в другие. Согласно теории электрические токи абсолютно необходимы для вызывания магнитных явлений, однако, где же находятся токи в обыкновенном магните? Предположение о том, что они там действительно существуют, чрезвычайно смело. Ампер решился на это, и его теория придает им расположение, позволяющее объяснить большое число магнитных явлений.

Магнит, говорит Ампер, представляет собой систему

стольких электрических токов, обращающихся в плоскостях, перпендикулярных к оси, сколько можно себе представить на пересекающихся замкнутых кривых.

Простое рассмотрение фактов не позволяет ему; заявляет он; сомневаться в реальности существования таких токов вокруг оси магнита. По его мнению намагничивание есть процесс, при помощи которого отдельные частицы приобретают свойство вызывать электромагнитные действия в направлении тех токов, которые мы наблюдаем в вольтовом столбе, электрическом свинцовом блеске минералогов, нагретом турмалине, а также в сухом столбе и в кусках того же кристалла при различных температурах.

Что касается расположения кривых, вдоль которых обращаются токи, то теория еще не решила, охватывают ли они магнит как таковой или же окружают лишь частицы, из которых состоит магнит. В поперечном сечении магнита, перпендикулярном к оси, токи могут или образовать систему концентрических кривых, в этом случае их размеры различны, или же токи охватывают каждую частицу в отдельности, и в этом случае размеры их одинаковы, но очень малы. Математически каждое из указанных распределений может объяснить наблюдаемые явления. Ампер, повидимому, склоняется к последнему распределению*.

Если представить себе магнит, сконструированный таким образом из электрических токов, то из экспериментальных данных относительно действия друг на друга провода и магнита следует, что магнит будет притягивать провод в том случае, когда один конец магнита противостоит соответствующей стороне провода, и отталкивать его, когда тот же конец будет противостоять другой стороне провода. Согласно теории это объясняется тем, что токи на различных сторонах магнита проходят в различных направлениях, на одной стороне вверх, на другой вниз. Когда к проводу повернута та сторона магнита, в которой проходит ток того же направления, что и в проводе, то наблюдается притяжение, и наоборот, мы имеем отталкивание в том случае, когда к проводу повернута сторона, где проходят токи в обратном направлении. Если повернуть магнит так, что к проводу приблизится другой его полюс, то направление токов в магните окажется обратным, и так как токи, проходящие в пря-

* *Journal de Physique*, XCII, стр. 163.

мом и обратном направлениях, меняются местами, то движущие импульсы также будут обратными.

Исходя из своего представления о магните как системе электрических токов в плоскостях, перпендикулярных магнитным осям, Ампер пытался сконструировать искусственный магнит, посылая электрический ток через спиралеобразный или винтообразный провод. Когда электричество проходит по виткам спирали, последние приблизительно соответствуют отдельным токам в магните; кроме того, влияние наклона витков уничтожалось путем расположения концов провода вдоль оси спирали. Я уже дал выше описание этой установки* и указал на сходство ее действия с действием магнита.

Более детальный разбор теории Ампера мог бы завести меня чересчур далеко за пределы поставленной мною себе цели. Это было бы также совершенно лишним, ибо я убежден, что все интересующиеся более глубоким и детальным изучением этой проблемы сочтут необходимым ознакомиться в оригинале с работами самого Ампера, тогда как для довольствующихся сжатым извлечением достаточно уже сказанного. Поэтому я перейду к возможно более краткому изложению взглядов этого физика на земной магнетизм.

Дальнейшая разработка его теории вполне естественно привела Ампера к желанию в своих опытах с проводами заменить магнит земным магнетизмом. Проволочный контур был подвешен чрезвычайно чувствительным образом в надежде, что действие земного магнетизма поставит его поперечно, ибо согласно теории движущие импульсы, которые магнит и провод сообщают друг другу, исходят не от предполагаемых полюсов или точек притяжения и отталкивания, но от токов, которые проходят через провода и магниты и действуют притягивающе или отталкивающе. Поэтому Ампер ожидал, что токи, существование которых он предположил в земле, сообщат току движущий импульс. Я уже упоминал**, что подобный опыт ему удался, и, конечно, это внушило ему большое доверие к теории, могущей с такой точностью привести к столь новым и важным результатам. Поперечный поворот контура под влиянием

* *Annals of Philosophy*, новая серия, II, стр. 281. См. выше стр. 26.

** *Annals of Philosophy*, новая серия, II, стр. 279. См. выше стр. 23.

земного магнетизма явился новым подтверждением правильности теории Ампера. Если бы опыт не удался, то установленное таким образом различие между проволочным контуром и магнитной стрелкой с полным правом могло быть принято за доказательство против этой теории. Раз он удался, то это может служить дальнейшим доказательством того, что гипотеза круговых токов в магнитах является достаточной для объяснения явлений магнетизма. Однако важнейшим выводом, который делает из этого Ампер, является заключение о том, что земной магнетизм также определяется электрическими токами, идущими вокруг земного шара с востока на запад перпендикулярно к магнитному меридиану. Эти токи, если они действительно существуют, можно сравнить с токами, возникающими в вольтовой батарее при соприкосновении ее обоих концов. Вероятно земля не представляет собой аналогии сплошному проводнику, каким является металлический провод, но Ампер показал, что батарея сама магнитна, и он считает вероятным, что материал, составляющий земной шар, расположен таким образом, что образует как бы батарею, опоясывающую весь земной шар. Эта батарея состоит, правда, из сравнительно слабых элементов, но все же достаточно мощна, чтобы вызвать явления земного магнетизма. Неоднородность, которую следовало бы допустить для батареи, могла бы объяснить искаженную форму кривых склонения, а возникающие в ней изменения — изменения направления стрелки. Ампер принимает, однако, существование общего процесса, протекающего в направлении, почти параллельном экватору, и участвующего в возбуждении электрических токов. Он считает, что этот процесс обусловлен ходом окисления в континентальных областях земли.

Суточные колебания он считает обусловленными суточными колебаниями температуры в электродвижущих слоях земной поверхности. Различные слои магнитного материала он рассматривает как таковое же количество вольтовых столбов.

Исходя из предположений о действительном существовании электрических токов в планетах и звездах, Ампер считает возможным, что иногда токи становятся столь сильны, что необходимо выделяющаяся при этом теплота доводит небесные тела до раскаленного состояния. Результатом этого является длительное накаливание с испусканием яркого света без сгорания или потери вещества.

„Разве нельзя представить себе, — говорит Ампер, — что темные земные тела темны лишь потому, что их электрические токи чересчур слабы, и нельзя ли объяснить свет и теплоту, испускаемые светящимися телами, большей силой их электрических токов?“

Вот, уважаемый сэръ, краткий очерк теории Ампера, которым я Вас прошу удовлетвориться. Я не считаю нужным снова просить Вашего снисхождения к ее недостаткам, этому легко помочь, обратившись к оригинальным работам этого исследователя, помещенным в „*Annales de Chimie*“, на которые я неоднократно ссылаюсь. Я должен повторить, что, принимая во внимание гипотезу двух электрических флюидов и тождества электричества и магнетизма, первая часть теории представляется мне недостаточно развитой. Эрстед пошел в этом отношении дальше Ампера, но с каким результатом, — решать не мне.

ИСТОРИЧЕСКАЯ ЗАМЕТКА,
КАСАЮЩАЯСЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВРАЩЕНИЯ *
(Том II, стр. 159.)

В XII томе *Quarterly Journal of Science* на стр. 74 я опубликовал статью о некоторых новых электромагнитных движениях и о теории магнетизма. Ввиду некоторых споров, возникших вслед за опубликованием этой статьи и затем в течение двух последних месяцев, я считаю своим долгом как в отношении д-ра Волластона, так и для себя самого сделать следующее заявление:

Я полагаю, что д-р Волластон первый утверждал возможность электромагнитного вращения и, если я правильно понимаю, пришел к этому мнению вскоре после повторения опытов профессора Эрстеда. Приблизительно в августе 1820 г. д-р Волластон впервые как будто пришел к мысли, что проволока вольтаической цепи может вращаться вокруг своей собственной оси. Однако некоторые обстоятельства не дали мне возможности узнать об этой идее раньше ноября. В начале следующего года д-р Волластон с прибором, устроенным для этой цели, явился в Институт вместе с сэром Гемфри Дэви, чтобы сделать опыт такого рода. Я не присутствовал при этом опыте и не видел прибора, но я пришел позже и присутствовал при производстве некоторых других опытов с качением проволок по ребрам¹.

* *Quarterly Journal of Science*, XV, 288, июль 1823 г.

¹ См. письма Гемфри Дэви и д-ра Волластона, *Phil. Transact.*, 1921, стр. 17. Опыты, о которых упоминает Фарадей, заключались в том, что на острые ребра двух платиновых пластин, соединенных с полюсами вольтовой батареи, клались проволоки, к которым приближался полюс магнита. В зависимости от знака полюса и направления тока происходило притяжение или отталкивание, *Ред.*)

В это время я слышал разговор д-ра Волластона о его желании заставить проволоку вращаться вокруг собственной оси; и я предложил (поспешно и без успеха) приспособить на чувствительном подвесе иглу к магниту. Я не могу вспомнить и не мог узнать от других время, когда это происходило. Я думаю, что это было в начале 1821 г.

Первая опубликованная мной работа была написана в начале сентября 1821 г., и тогда же был произведен ряд опытов. Опубликование имело место 1 октября; вторая статья была напечатана в том же томе в последний день того же года. Меня спрашивали, почему в этих статьях я не упомянул о мнениях и намерениях д-ра Волластона, тогда как я всегда признавал связь их с моими собственными опытами. На это я отвечаю, что, получив результаты, описанные в первой статье и вскоре показанные всем моим друзьям, я явился к д-ру Волластону сообщить ему об этом и просить позволения сослаться на его взгляды и опыты. Д-ра Волластона не было в городе, и он не возвратился, пока я оставался в городе, и так как я не считал себя вправе ссылаться на мнения, еще не обнародованные и, насколько мне известно, еще не признанные, то моя статья появилась в печати без такой ссылки в то время, когда я был в деревне. Впоследствии я сожалел, что не отложил выпуска статьи в свет, чтобы сначала показать ее д-ру Волластону.

Продолжая эту работу, я получил некоторые другие результаты, которые казались мне достойными обнародования. Прежде чем изложить их в форме, в которой они описаны на стр. 416 того же тома (стр. 151 II тома „Exp. Research.“), я ждал д-ра Волластона, который почтил меня своим присутствием два или три раза и засвидетельствовал результаты опытов. В то время я хотел просить у него разрешения сослаться на его взгляды и опыты в статье, которую я должен был вскоре обнародовать, чтобы исправить свою вину в том, что я не сделал этого ранее. У меня создалось впечатление, сохранившееся после того (в течение 21 месяца), и я высказывал его всякому, говоря об этом, что д-р Волластон не желал, чтобы я сделал это. Д-р Волластон впоследствии говорил мне, что не может вспомнить, в каких словах он высказал это, что по его мнению этого не следовало делать, а по моему мнению следовало, но он не говорил мне этого. Я могу лишь сказать, что моя память лучше всего удержала следующие слова: „я скорее хотел бы,

чтобы вы не делали этого“, но конечно, я могу ошибаться. Однако это единственная причина, почему вышеизложенное заявление не было сделано в декабре 1821 г.; и по устранении этой причины я рад сделать это теперь при первом удобном случае.

Говорили, что я заимствовал свои воззрения у д-ра Волластона. Я отрицаю это и ссылаюсь на нижеприводимое сообщение, как некоторое свидетельство по этому вопросу. Говорили также, что я не мог без подготовки прийти в течение 8 или 10 дней к результатам, описанным в моей первой статье. Нижеследующее также поможет осветить этот вопрос.

Хорошо известно (ибо сам сэр Гемфри Дэви сделал мне честь указать на это), что я помогал ему в ряде важных опытов, сделанных им по этому предмету. Не знают, однако, того, что для меня важнее всего в данном случае, именно, что я автор „Исторического очерка об электромагнетизме“, который появился в „Annals of Philosophy“, новой серии тома II и III. Почти весь очерк был написан в июле, августе и сентябре 1821 г., и первые части, на которые я должен особенно сослаться, были напечатаны в сентябре и октябре того же года. В этих статьях я старался дать по возможности точный отчет о состоянии этой отрасли знания. С большим вниманием и усердием я ссылался на различные журналы, где напечатаны статьи разных физиков, и повторил почти все описанные опыты.

Указанная работа была написана и напечатана *после* того, как я слышал о намерениях д-ра Волластона и присутствовал при опытах, указанных выше; поэтому я могу сослаться на нее, как публичное свидетельство о состоянии моих знаний по этому предмету *прежде*, чем я начал свои собственные опыты. Я думаю, что всякий, внимательно прочитавший ее, найдет на каждой странице ее первой части доказательство моего незнакомства с воззрениями д-ра Волластона; но особенно я сошлюсь на последний абзац на стр. 198 и строки 8 и 9 стр. 199, а также на фиг. 4 приложенной таблицы. Там описан опыт (см. предшествующий указанному абзац), свидетельствующий о моей тщательности и даже о моем искусстве, который совершенно обратен тому, на котором, насколько я знаю, с самого начала зиждились мнения и рассуждения д-ра Волластона, якобы бывшие мне известными. Я говорю о нейтральном положении распо-

женной против проволоки иглы; д-р Волластон же заметил, что такого нейтрального положения не существует, но что игла проходит мимо проволоки; на протяжении всего очерка я описываю притягательную и отталкивательную силы на обеих сторонах проволоки. Но то, что я считал притяжением к проволоке и отталкиванием от нее в августе 1821 г., д-р Волластон задолго до того считал возникающим не от силы, направленной к проволоке или от нее, но от силы, действующей вокруг нее, как оси, и на этом допущении основывал свои расчеты.

Я сказал выше, что я повторял большинство опытов, описанных в статьях, указанных в очерке, и в результате повторения и исследования этого особенного опыта я был приведен к теории, изложенной в моей первой статье. Тот, кто прочтет указанную выше часть очерка* и затем первую, вторую и третью страницы моей статьи**, сразу увидит, я думаю, связь между ними. Из различия выражений в обеих статьях, относящихся к силам притяжения и отталкивания, существование коих я сначала предполагал, можно судить о новом воззрении, которое я тогда, во время составления последней статьи, впервые приобрел.

* *Annals of Philosophy*, Новая серия, II, 198, 199.

** *Quarterly Journal*, XII, 74—76.

ПИСЬМО К ФИЛЛИПСУ ОБ ОТКРЫТИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Брайтон, ноября 29, 1831 г.

Дорогой Филлипс,

Единственный раз в жизни я могу сесть и написать вам без чувства, что времени так мало, что письмо по необходимости должно быть коротким. Поэтому я взял большой лист бумаги, намереваясь наполнить его всякими новостями. И все же, что касается новостей, у меня их нет, так как я все более и более удаляюсь от общества, и все, что я могу рассказать, это — о себе самом.

Но прежде всего, как вы поживаете? Все ли у вас благополучно? Как поживает миссис Филлипс и девочки? Какой бы я ни был плохой корреспондент, я полагаю, что вы в долгу у меня в смысле письма, а так как теперь вы окажетесь у меня в долгу даже вдвойне, то прошу вас, напишите и расскажите нам все о себе. Миссис Фарадей просит меня не забыть передать в письме ее приветы вам и миссис Филлипс.

Завтра день св. Андрея*, но мы останемся здесь до четверга. Я устроился так, чтобы не попасть в Совет, и мало забочусь об остальном, хотя из любопытства я хотел бы видеть герцога на председательском кресле по этому случаю.

Мы приехали сюда для отдыха. Я работал и писал, а это всегда выбивает меня из колеи в смысле здоровья. Но теперь я опять чувствую себя хорошо и могу продолжать свою тему. Заглавие, как я думаю, будет следующее: „Опытные исследования по электричеству“. § I. Об индукции электри-

* День выборов нового Совета Королевского общества.

ческих токов. § II. Об эволюции электричества из магнетизма. § III. О новом электрическом состоянии вещества. § IV. О магнитных явлениях Араго. Вот вам, так сказать, „меню“; и, более того, я надеюсь, что оно вас не разочарует.

Теперь я очень кратко сообщу вам сущность всего этого; доказательства вы получите в самой работе, когда она будет напечатана.

§ I. Когда электрический ток пропущен через одну из двух параллельных проволок, то он прежде всего вызывает ток в *том же направлении*¹ в другой проволоке, но этот индуцированный ток не длится и момента, несмотря на то, что индуцирующий ток (от вольтаической батареи) продолжается; все кажется неизменным, за исключением того, что главный ток продолжает протекать. Но когда ток прекращается, то в проволоке под влиянием индукции появляется обратный ток почти той же силы и кратковременной деятельности, но в обратном направлении по отношению к ранее наблюденному току. Следовательно, электричество в токах производит индуктивное действие, *подобное обыкновенному электричеству*, но подчиненное особым законам: эффекты выражаются в токе в том же направлении, когда устанавливается индукция, в обратном токе, когда индукция прекращается, и в особом состоянии в промежутке. Повидимому, и *обыкновенное электричество производит то же самое*, но так как в настоящий момент невозможно отделить друг от друга начало и конец искры или разряда, то все эффекты являются одновременными и взаимно нейтрализуются.

§ II. Затем я нашел, что магниты могут индуцировать точно так же, как и вольтаические токи, и что благодаря поднесению к магнитным полюсам соленоидов, проволок

¹ Как видно из дальнейшего текста, Фарадей в письме Филлипсу проводит в целях популяризации аналогию между электромагнитной индукцией и хорошо известной Филлипсу электростатической на основе представления об электрической жидкости. Если заряжать, например, металлический шар, то в соседнем шаре электрическая жидкость сместится по индукции *в том же направлении*. Аналогично этому, если рядом находятся два параллельных провода AB и A_1B_1 , то ток, текущий по проводу AB в направлении от A к B , вызовет индуцированный ток в проводе A_1B_1 *в том же направлении* от B_1 к A_1 . Ток B_1A_1 будет как бы *продолжением* тока AB . Впоследствии ток B_1A_1 стали называть *обратным*, рассматривая его относительно полюсов гальванического элемента. (Ред.)

и оболочек¹, в них появлялись электрические токи. Эти токи были способны отклонять гальванометр или при помощи соленоида создавать магнитные стрелки, или даже в одном случае давать искру. Отсюда — эволюция электричества из магнетизма. Токи не были постоянными. Они прекращались как только проволоки переставали приближаться к магниту, так как наступало новое и явно спокойное состояние, точно так же, как в случае с индукцией токов. Но когда магнит удаляли и его индукция поэтому прекращалась, обратные токи появлялись, как и до того. Эти два рода индукции я различал терминами: voltaэлектрическая и магнитоэлектрическая индукция. Тождество их действия и результатов является, как я полагаю, весьма сильным доказательством теории магнетизма, высказанной Ампером.

§ III. Новое электрическое состояние, которое выявляется через индукцию между началом и концом индуцирующего тока, служит причиной некоторых весьма любопытных результатов. Оно объясняет, почему химическое действие или иные следствия электричества никогда еще до сих пор не были получены при испытании с магнитом. Действительно, токи не обладают ощутимой длительностью. Я думаю, что это прекрасно объяснит перемещение элементов между полюсами вольтова столба при разложении (электролизе). Но эту часть предмета (моих изысканий) я отложил до той поры, когда будут закончены настоящие эксперименты: все это — по некоторым из эффектов — настолько аналогично действиям, полученным на вторичных столбах Риттера, или особым свойствам полюсов вольтова столба у де ля Рива и ван Бекка, что я не буду удивлен, если они все придут к доказательству зависимости от этого состояния. Состояние вещества я обозначил термином „электротонический“. „Электротоническое состояние“. Что вы об этом думаете? Не смелый ли я человек, что при всем моем невежестве измышляю (новые) слова. Но, правда, я посоветовался с учеными людьми. Теперь перейдем к отделу IV.

§ IV. Новое состояние позволило мне и, я полагаю, окончательно уразуметь и объяснить все явления Араго относительно вращающегося магнита и медного диска. Но так как здесь дело касается великих имен (Араго, Баббедж,

¹ Речь идет о медных пластинах, оборачиваемых вокруг железного стержня. (Ред.)

Гершель и т. д.) и так как я должен соблюдать различия между ними и собой, то я говорил с той скромностью, которая, как вы хорошо знаете, присуща и вам, и мне, и Джону Фросту и за которую свет так справедливо нас восхваляет. Я даже почти боюсь сказать вам, что это такое. Вы либо подумаете, что я вас мистифицирую, либо — из сострадания ко мне — вы можете заключить, что я сам себя обманываю. Тем не менее, не следует думать ни того, ни другого. Вам лучше рассмеяться, как сделал я, и от всей души, когда я нашел что это не было ни притяжением, ни отталкиванием, а только именно одним из моих старых вращений в новой форме. Я не могу объяснить вам сущности всех действий, которые очень любопытны, но вследствие того, что электротоническое состояние наступает и теряется, по мере того как части диска вращаются под полюсом и вследствие магнитоэлектрической индукции, в направлении радиуса образуются электрические токи. Они продолжают по простым причинам все время, пока продолжается движение, и прекращаются, когда прекращается движение. Этим самым объясняется чудо, что металл обладает силой в отношении магнита, когда он вращается, а не тогда, когда он пребывает в покое. Этим также объясняется эффект, который наблюдал Араго и который заставил его противоречить Баббеджу и Гершелю и утверждать, что сила была отталкивательная; в действительности же она, как целое, является тангенциальной.

Меня чрезвычайно утешает открытие, что эксперимент не имеет надобности сдаваться перед математикой, но является совершенно компетентным, чтобы соперничать с ней в этом открытии; я поражен обнаружением, что то, что великие математики объявили существенным условием вращения, именно, что требуется время, имеет настолько малое основание, что если бы время можно было только предполагать, вместо того чтобы требовать его, т. е. если бы токи могли образоваться раньше того, как магнит передвинулся с места, а не после, эффект все равно последовал бы¹.

Прощайте, дорогой Филлипс. Простите за эгоистическое письмо от вашего очень преданного

М. ФАРАДЕЯ.

¹ Объяснение этого места письма Фарадея читатель найдет в § 82 и 124. (Ред.)

ОБ ИНДУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ

(Том I. Серия первая. Ноябрь 1831 г.)

1. Свойство¹ статического электричества вызывать в телах, находящихся в непосредственной близости с ним, противоположное электрическое состояние, известно под общим термином индукции. Этот общепринятый в науке термин может быть с полным правом употреблен в том же общем смысле для обозначения способности электрических токов возбуждать особое состояние в индифферентной материи, находящейся в их непосредственном соседстве. В настоящей работе я предлагаю употреблять этот термин именно в таком смысле.

2. Некоторые явления индукции электрических токов уже наблюдаены и описаны, как, например, явления намагничивания, явления, наблюдаемые при опытах Ампера над поднесением медного диска к плоской спирали и при повторении Ампером с помощью электромагнита необыкновенных опытов Араго² и, может быть, некоторые другие. Однако

¹ The power. Этим термином Фарадей пользуется наряду с терминами force (сила, энергия) и ability (способность). Термин power в отличие от термина force означает обычно у Фарадея не внешнюю, а внутреннюю силу, свойство, способность к действию и движению. Это различие не проводится, однако, Фарадеем очень строго. (Ред.)

² Ампер подвешивал близко над медным диском спираль или двойную спираль (double spirale électrodynamique) вместо двух вертикально висящих магнитов — форма, в которой Колладон повторял опыты Араго. В спираль посылался ток, и медный диск приводился во вращение. Тогда спираль следовала за движением диска. (См. *Bulletin des Sciences mathématiques*, VI, стр. 211, 1826). Фарадей обычно называет спираль „электромагнитом“ (см. приложение к п. 57). Интересно с исторической точки зрения указать, что Ампер сообщил 16 сентября 1822 г. Академии наук о своем

кажется невероятным, чтобы этим ограничивались явления индукции токов, в особенности если принять во внимание, что почти все эти явления исчезают, за исключением случая железа. Кроме того, бесчисленное множество тел, обнаруживающих определенные явления статической индукции, еще совершенно не исследованы с точки зрения индукции динамической.

3. Далее, какую бы мы ни приняли теорию, будь то прекрасная теория Ампера или какая-нибудь другая, все же независимо от всех делаемых оговорок будет казаться очень странным тот факт, что хотя всякий электрический ток сопровождается соответствующей интенсивностью магнитного действия в перпендикулярном к нему направлении, однако в хороших проводниках электричества, помещенных в сферу этого действия, не возбуждается индуктивный ток или какой-либо другой эффект, эквивалентный по силе такому току.

4. Эти соображения с вытекающими из них следствиями, а также надежда получить электричество от обычного магнетизма побуждали меня в разное время исследовать опытным путем индуктивные эффекты электрических токов. В последнее время я пришел к положительным результатам; все мои надежды исполнились, и я, повидимому, смогу не только дать исчерпывающее объяснение магнитного явления Араго, но и открыть новое состояние, которое, по всей вероятности, играет большую роль в некоторых важных действиях электрических токов.

5. Достигнутые результаты я опишу не в том порядке, в каком они были открыты, но так, чтобы получился наиболее ясный обзор целого.

§ 1. ИНДУКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ

6. Кусок медной проволоки длиной приблизительно в 26 футов и диаметром в $\frac{1}{20}$ дюйма был намотан на деревянный цилиндр в форме спирали, отдельные витки которой были

наблюдении индукции токов в замкнутых проводниках, находящихся в соседстве с током la production du courant électrique dans un circuit métallique fermé, par l'influence d'un conducteur placé très près de ce circuit, mais sans communication avec lui (*Mem. de l'Acad. roy. des Sc, Paris., vol. V, p. 283.*) (К.)

Одновременно с Фарадеем электромагнитную индукцию открыл американец Джозеф Генри; см. *Silliman's American Journal of Science*, 1832, т. XII, стр. 403—408. (Ред.)

изолированы друг от друга прокладкой из тонкой бумажной нити. Эта спираль была покрыта коленкором и поверх нее подобным же образом намотана вторая спираль. Таким образом были наложены друг на друга в одном направлении 12 спиралей, длиной каждая приблизительно в 27 футов. Концы первой, третьей, пятой, седьмой и одиннадцатой спиралей были соединены между собой, образовав таким образом катушку. Концы остальных спиралей были также соединены друг с другом, так что получились две заключенные одна в другую спирали, каждая в сто пятьдесят футов длины, накрученные в одном направлении и нигде не соприкасающиеся между собой.

7. Одна из этих катушек была соединена с гальванометром, другая с „хорошо приготовленным“¹ вольтовым столбом, состоявшим из десяти пар пластин в 4 кв. дюйма, с двойными медными пластинами; однако не было замечено ни малейшего отклонения стрелки гальванометра².

8. Подобным же образом была приготовлена спираль, состоявшая из 6 слоев медной проволоки и 6 слоев проволоки из мягкого железа. Длина второй была равна 214 футам, длина первой 208 футам. Ток батареи пропускался как по медной, так и по железной проволоке; однако в обоих случаях гальванометр не показал никакого действия на другую спираль.

9. В этом и других подобных опытах не было обнаружено никакого различия в действии между железом и другими металлами.

10. На широкую деревянную катушку была намотана медная проволока длиной в 203 фута и между витками ее намотана проволока такой же длины, изолированная от первой хлопчатобумажной нитью. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, а другая — с сильной батареей, состоявшей из 100 пар пластин; медные пластинки

¹ Фарадей употребляет здесь выражение „well charged“, что означает лишь, что столб находился в хорошем состоянии, т. е. металлические поверхности были чисты, а кислота или возбуждающая жидкость — в необходимой степени концентрации. Так как этот способ выражения давно устарел и, кроме того, не соответствует развитой Фарадеем химической теории вольтова столба, я решил заменить это часто встречающееся у Фарадея выражение другими, не могущими ввести в заблуждение. (К.)

² Приведенные ниже отрицательные опыты относятся к периоду 1825—1828 гг. (О.)

и здесь были двойные. При замыкании цепи удавалось заметить внезапное, но чрезвычайно слабое действие на гальванометре, и то же самое замечалось при прекращении тока. При непрерывном же прохождении тока через одну из спиралей не удавалось отметить ни действия на гальванометр, ни вообще какого-либо индукционного действия на другую спираль, несмотря на то, что нагревание всей спирали, соединенной с батареей, и яркость искры, проскакивающей между углями, свидетельствовали о мощности батареи.

11. Повторение этого опыта с батареей, состоявшей из 120 пар пластин, не выявило никаких норм действий. Однако здесь, как и раньше, было установлено, что легкое отклонение гальванометра в момент прекращения тока происходит всегда в одном направлении, а такое же незначительное отклонение в момент перерыва тока — в противоположном направлении. Подобные же действия получались и при применении спиралей, описанных выше (пп. 6, 8).

12. Результаты, полученные мной в это время при опытах над магнитами, заставили меня предположить, что ток, проходящий через один провод, в действительности индуцирует такой же ток в другом проводе, но что продолжительность индуцируемого тока, однако, лишь мгновенна, и он сходен, скорее, с электрической волной, наблюдаемой при разряде лейденской банки, чем с гальваническим током. Поэтому я предположил, что, несмотря на незначительность его действия на гальванометр, он мог бы намагнитить стальную иглу.

13. Это предположение оправдалось, и когда гальванометр был заменен проводом, спирально намотанным на тонкую стеклянную трубочку, в которую была заключена стальная игла и была образована, как и раньше (пп. 7, 10), индуцирующая цепь, то игла, вынутая до прекращения тока, оказывалась намагниченной.

14. Если предварительно образовывалась индуцирующая цепь и затем ненамагниченная стрелка заключалась в узкую полость внутри спирали, служившую индикатором (п. 13), то по прекращении тока стрелка оказывалась, повидимому, столь же сильно намагниченной, как и раньше, но с обратной полярностью.

15. Подобные же действия обнаруживались при применении описанных выше больших сложных спиралей (пп. 6, 8).

16. Когда же ненамагниченная стрелка вводилась в спираль

индикатора до соединения индуцирующего провода с батареей и вынималась оттуда после прекращения тока, то она оказывалась слабо или вовсе не намагниченной. Следовательно, первое действие почти уничтожалось вторым (пп. 13, 14). Ток, индуцируемый при замыкании батареи, оказался сильнее тока, индуцируемого при ее размыкании; поэтому когда цепь многократно замыкалась и прерывалась, причем стрелка продолжала оставаться внутри спирали индикатора, то она в конце оказывалась слегка намагниченной так, как если бы она подвергалась действию одного лишь тока, индуцированного при замыкании батареи. Этот результат объясняется в конце концов так называемой аккумуляцией на полюсах незамкнутого столба¹, вследствие чего ток при первом замыкании оказывается сильнее, чем впоследствии, в момент прерывания.

17. Если цепь, составленная из спирали или подвергнутого индукции провода с гальванометром, или заменяющей последний спирали, не была вполне замкнута до установления или прекращения контакта между батареей и индуцирующим проводом, то гальванометр не показывал никакого действия. Подобным же образом и намагничивающая сила не проявлялась и в том случае, когда сначала замыкался ток батареи, а затем подвергаемый индукции провод соединялся со спиралью-индикатором. Если же последнее соединение продолжалось при прекращении тока батареи, то стрелка внутри спирали намагничивалась, но вторым из указанных выше образом (п. 14), т. е. ее полярность указывала на ток одного направления с током батареи, или направления, которое всегда имел индуцированный ток при прекращении тока батареи.

18. В описанных опытах провода были уложены близко друг к другу, и для вызывания индукционного действия устанавливался контакт между индуцирующим проводом и батареей. Однако, так как можно было предположить, что особое действие ограничивалось исключительно актами замыкания и размыкания, то для проверки индукция была вызвана также и другим способом. Провод длиной в несколько футов был расположен на одной стороне широкой доски в форме буквы W, и другой провод точно такой же формы

¹ Употребляемое Фарадеем выражение „accumulation“ — „аккумуляция“, очевидно, требует добавления слов „свободного электричества“. (К.)

был положен на другой доске так, чтобы оба провода соприкасались всеми своими точками при сближении досок, если бы между ними не был проложен лист толстой бумаги. Один из этих проводов был соединен с гальванометром, другой с вольтовой батареей. Тогда приближение первого провода ко второму вызывало отклонение стрелки, а удаление — отклонение в обратную сторону. Если приближение и удаление проводов совпадали с колебаниями стрелки, то последние вскоре становились весьма заметными; при прекращении же движения проводов относительно друг друга колебания стрелки постепенно прекращались.

19. При приближении проводов направление индуцированных токов было противоположно направлению индуцирующего тока; при удалении же направление обоих токов совпадало. Если провода оставались неподвижными, то индукции тока не наблюдалось (п. 54).

20. Если в цепь, образованную гальванометром (п. 10) и его спиралью или проводом, включался небольшой вольтов столб, вызывающий отклонение на $30\text{—}40^\circ$, и затем батарея, состоящая из 100 пар пластин, соединялась с индуцирующим проводом, то получалось, как и раньше, мгновенное действие, но тотчас же после этого стрелка гальванометра возвращалась в свое прежнее положение, несмотря на то, что индуцирующий провод продолжал оставаться соединенным с цепью. Это явление наблюдалось всегда, независимо от направления, в котором производилось замыкание.

21. Из этого следует, что соседние токи одинакового или противоположного направления не оказывают друг на друга длительного индукционного действия и не влияют на их силу или напряжение.

22. Я тщетно пытался при помощи языка, искры или нагревания тонкой проволоки или кусочка угля убедиться в прохождении электричества через индукционный провод. Мне не удалось также получить доказательства химического действия, несмотря на то, что замыкание и размыкание цепи совершались попеременно с установлением и перерывом контакта с растворами металлов и солей, дабы индукционное действие не могло быть уничтожено последующим обратным действием (пп. 13, 16).

23. Однако в этом случае отсутствие действия объясняется не тем, что индукционный ток не может проходить через жидкости, а, по всей вероятности, его кратковремен-

ностью и малой интенсивностью, ибо, после того как в индукционную цепь (п. 20) были включены две большие, опущенные в соленую воду и изолированные суконкой медные пластины, действие на гальванометре или индикаторной спирали было снова отмечено. Индуцированный ток был также способен проходить через вольтов столб (п. 20). Однако при сведении количества включенной жидкости к одной капле гальванометр не показывал никакого действия.

24. Опыты получения подобных действий при помощи обычного электричества, текущего по проводам, дали сомнительные результаты. Составленная из 8 спиралей катушка, подобная описанной выше, была применена таким образом, что 4 спирали соединялись своими концами, а концы полученной таким образом катушки соединялись с небольшой намагничивающей спиралью (п. 13), содержащей ненамагниченную стрелку. Остальные 4 спирали были расположены подобным же образом, но концы их были соединены с лейденской банкой. После разряда стрелка оказалась намагниченной, но, по всей вероятности, часть электрического разряда прошла непосредственно через маленькую спираль и таким образом намагнитила стрелку. Действительно, не было никакого основания допустить, что электричество столь высокого напряжения, как электричество лейденской банки, не сможет пройти сквозь изолирующие слои и распространиться по всем металлическим частям.

25. Однако из этого не следует, что разряд обычного электричества через проволоку не может вызвать тех же явлений, что и вольтово электричество. Принимая во внимание, что действия в начале разряда невозможно отделить от таких же, но противоположных действий в конце разряда, поскольку эти оба явления у обычного электричества протекают одновременно, весьма мало надежды, что в такой форме этот опыт сможет дать положительный результат.

26. Из вышеизложенного явствует, что индукционные действия, вызываемые вольтовым электричеством, до известной степени сходны с таковыми, вызываемыми электричеством напряжения¹, несмотря на некоторые различия,

¹ Физики эпохи Фарадея обратили внимание на незначительность напряжений гальванических батарей сравнительно с напряжениями, получаемыми в электростатических машинах. Отсюда возник термин „электричество напряжения“ для обозначения так называемого статического электричества. (Ред.)

о которых речь будет ниже. Результатом является возбуждение других токов (однако лишь мгновенных), параллельных или стремящихся быть параллельными индуцирующему току. Полярность стрелки, намагниченной внутри индикаторной спирали (пп. 13, 14), и отклонения стрелки гальванометра (п. 11) свидетельствуют о том, что направление индукционного тока, возбужденного замыканием индуцирующего тока, всегда ему обратно, но что индукционный ток, возбужденный размыканием, имеет направление индуцирующего (п. 19). Во избежание многословия я предлагаю назвать это действие тока вольтовой батареи вольтаэлектрической индукцией. Свойства, присущие вторичному проводу после прохождения через него первого индукционного тока и в то время, как по соседнему индуцирующему проводу течет ток батареи (пп. 10, 18), представляют своеобразное электрическое состояние, к рассмотрению которого мы вернемся позже (п. 60). Все эти результаты были получены с помощью вольтова аппарата, состоящего из одной пары пластин.

§ 2. ВОЗБУЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ПРИ ПОМОЩИ МАГНЕТИЗМА

27. Из круглого стержня мягкого железа толщиной в $\frac{7}{8}$ дюйма было выковано кольцо с внешним диаметром, равным 6 дюймам. Часть этого кольца была обмотана тремя спиралями медной проволоки толщиной в $\frac{1}{2}$ дюйма и длиной каждая в 24 фута. Они были намотаны одна на другую, как это было описано выше (п. 6), и изолированы друг от друга и от железного кольца. Спирали занимали приблизительно 9 дюймов длины кольца и могли быть использованы вместе или каждая в отдельности. Они обозначены через *A* (рис. 17). Вокруг другой части кольца была намотана в том же направлении двойная спираль из медной проволоки с общей длиной около 60 футов. Между концами обеих систем спиралей оставался промежуток в $\frac{1}{2}$ дюйма ничем не покрытого железа.

28. Спираль *B* была соединена медной проволокой с гальванометром, отстоявшим от кольца на расстоянии 3 футов. Спирали *A* были соединены в одну катушку и их концы соединены с батареей, состоявшей из 10 пар пластин по 4 кв. дюйма. Гальванометр мгновенно обнаруживал отклонение,

причем оно было гораздо более значительно, чем в предыдущих случаях, в которых при батареях, в десять раз более мощных, применялись спирали *без железа* (п. 10). Однако при длительном замыкании тока действие было непродолжительно, и стрелка вскоре возвращалась в свое исходное положение, несмотря на наличие электромагнитной цепи. При прекращении тока батареи стрелка вновь показывала сильное отклонение, однако в обратном направлении.

29. При включении *B* и соединении гальванометра с одной из трех спиралей *A* (п. 27) наблюдались подобные, но более сильные действия, когда через две другие спирали, соединенные в одну катушку, пропускаться ток батареи (п. 28).

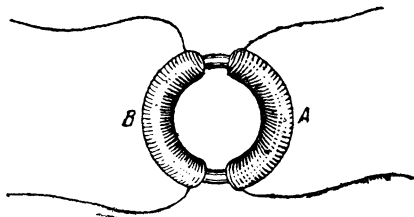


Рис. 17.

30. Отклонение стрелки гальванометра происходит то в одном, то в другом направлении, в зависимости от направления тока батареи. Это отклонение при размыкании цепи всегда проти-

воположно направлению отклонения при замыкании. Отклонение показало, что направление индукционного тока, возбужденного замыканием тока батареи, обратно последнему; в случае же размыкания цепи направление индукционного тока совпадает с направлением тока батареи. Замыкание и размыкание спирали *B* или цепи гальванометра вообще не оказывали никакого влияния на гальванометр. Равным образом непрерывное прохождение тока батареи не вызывало отклонения стрелки гальванометра. Так как вышеописанные результаты сходны с этими и некоторыми другими результатами, полученными с помощью обычных магнитов и описанными ниже, мы не будем здесь на них особо останавливаться.

31. При применении кольца и батареи, состоящей из 100 пар пластин (п. 10), гальванометр так сильно отклонялся при замыкании и размыкании цепи, что стрелка описывала четыре или пять полных кругов и лишь после этого под влиянием земного магнетизма и сопротивления воздуха переходила к обычным колебаниям.

32. Если концы спирали *B* были сделаны из угля, то при замыкании батареи через *A* наблюдалось проскакивание *маленькой* искры. Эта искра не могла происходить от возможного отклонения части тока батареи через железо к спирали *B*, ибо при продолжающемся замыкании батареи гальванометр снова приходил в спокойное состояние (п. 28). При размыкании цепи появление искры наблюдалось лишь изредка. Этот индукционный ток не накаливал проволоки, однако я имею все основания полагать, что этот эффект мог бы быть получен при применении более сильного первоначального тока или более совершенного расположения систем спиралей.

33. Через спираль *B* и гальванометр посылался слабый ток, вызывавший отклонение иглы гальванометра на 30—40°, затем включалась в *A* батарея из 100 пар пластин. После минования первого действия стрелка гальванометра возвращалась с точностью в положение, занятое ею под действием слабого тока, проходящего через витки гальванометра. Это происходило независимо от направления тока батареи, что является новым доказательством (п. 20) того, что токи не оказывают друг на друга длительного влияния в смысле силы и напряжения.

34. Была найдена установка, позволявшая скомбинировать более ранние опыты с вольтовой индукцией (пп. 6—26) с теперешними опытами. На картонный цилиндр была намотана система спиралей, подобная описанной выше (п. 6) и состоявшая из 8 слоев медной проволоки общей длиной в 220 футов. Четыре из них были соединены между собой и гальванометром (п. 7), а через четыре промежуточные, также между собой связанные спирали был пропущен ток от батареи, состоявшей из 100 пар пластин. Действие на гальванометр было едва заметно (п. 11), хотя индукционный ток был в состоянии создавать магниты (п. 13). При введении же внутрь картонного цилиндра другого цилиндра из мягкого железа толщиной $6\frac{7}{8}$ дюйма и длиной в 12 дюймов индукционный ток оказывал мощное действие на гальванометр, и наблюдались в отдельности все вышеописанные явления (п. 30). Индукционный ток обладал также, повидимому, более высокой намагничивающей силой, чем при отсутствии железного цилиндра.

35. При замене железного цилиндра медным действие оставалось тем же, что и при применении одних только спиралей.

Действие железного цилиндра оказалось слабее описанной выше установки с кольцом (п. 27).

36. Подобные же результаты были затем получены при помощи *обыкновенных магнитов*. Спирали вышеописанной (п. 34) катушки были все соединены с гальванометром при помощи двух проводов длиной каждый в 5 футов и железный цилиндр помещен коаксиально в полость катушки; два полосовых магнита длиной каждый в 24 дюйма были с одной стороны соединены разноименными полюсами, так что составили нечто вроде подковообразного магнита, с другой же — приведены в соприкосновение с концами железного цилиндра с целью превращения его в магнит (рис. 18).

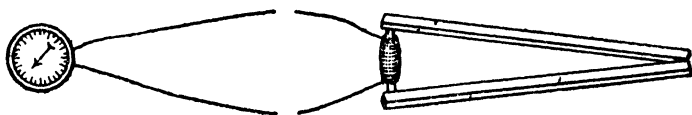


Рис. 18.

Прекращая контакт магнитов или обращая магниты, можно было по желанию уничтожить или обращать магнетизм железного цилиндра.

37. При установлении контакта магнитов стрелка гальванометра показывала отклонение и снова принимала исходное положение, если магниты оставались приложенными к цилиндру. При прекращении контакта стрелка снова отклонялась, но в направлении, обратном первому отклонению, и мгновенно возвращалась в исходное положение. Обращение магнитного контакта вызывало обращение направления отклонения стрелки гальванометра.

38. Как показывало отклонение стрелки гальванометра, направление индуцированного тока при установлении контакта магнитов было обратно направлению тока, способного возбудить магнит той же полярности, которую приобретал железный цилиндр через посредство приложения магнитных стержней. Например, если обозначенные и необозначенные полюсы были расположены, как на рис. 19, то направление тока в спирали соответствовало направлению его на рисунке, где *P* обозначает конец провода, ведущего к положительному полюсу батареи, т. е. конец, направленный к цинковым пластинкам, а *N* обозначает отрицательный провод. Такого рода ток намагнитил бы железный цилиндр

в направлении, обратном намагничиванию, вызванному прикосновением полюсов *A* и *B*; направление этого тока обратно направлению токов, которые согласно прекрасной теории Ампера образуют магнит, расположенный так, как это показано на рис. 27*.

39. Так как можно было полагать, что во всех предыдущих опытах, описанных в настоящем параграфе, мгновенный индукционный ток был вызван лишь особым действием, связанным с возникновением магнетизма, а не простым приближением магнита, то был поставлен следующий опыт. Все соседние концы катушки (п. 34) были соединены между собой при помощи медной проволоки, и оба полученных таким образом конца соединены с гальванометром. Цилиндр из мягкого железа (п. 34) был заменен магнитом цилиндрической формы с диаметром в $3\frac{1}{4}$ дюйма и длиной в $8\frac{1}{2}$ дюйма. Один конец этого магнита был коаксиально вдвинут в катушку (рис. 20). После того как стрелка гальванометра пришла в спокойное состояние, весь магнит целиком был сразу вдвинут в катушку. Стрелка гальванометра показала мгновенное отклонение и в том же направлении, как если бы магнит был получен согласно одному из вышеописанных

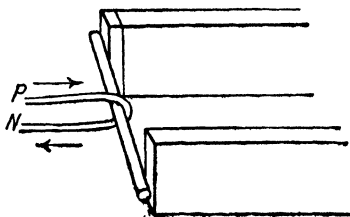


Рис. 19.

* Многие считают чрезвычайно трудным представить себе ясно относительное положение электрического тока и магнита, несмотря на три-четыре правила, придуманных Ампером и другими. Я позволяю себе предложить следующее правило, весьма простое и удобное в наших широтах. Пусть наблюдатель представит себя в направлении стрелки наклона, смотрящим на полюс земли, и в направлении часовой стрелки или правого винта. Токи такого направления, проходящие вокруг иглы, намагнитили бы ее одновременно со стрелкой наклона, либо образовали бы электромагнит с подобными же свойствами. Будучи помещены рядом с магнитом, они пытались бы ориентировать его в том же направлении, или же, наоборот, под влиянием такого магнита они сами пришли в такое положение; они имели направление токов, окружающих магнит по теории Ампера. Следовательно, всякое относительное положение тока и магнита может быть всегда легко выведено отсюда, если представить себе положение стрелки наклона и движение часовой стрелки.

способов (пп. 34, 36). Если магнит оставался внутри катушки, то стрелка снова приходила в свое прежнее положение и при вынимании его отклонялась в противоположном направлении. Эти действия не отличались заметной силой, но если вдвигание и выдвигание магнита производились так, что импульсы, получаемые силой, каждый раз суммировались, то удавалось достигнуть отклонения в 150° и более.

40. В этих опытах магнит не должен быть полностью вдвинут в спираль, ибо это вызывает появление также и другого действия. При введении магнита стрелка гальванометра испытывала отклонение в определенном направлении, если же он был затем продвинут насквозь или вытасчен, то стрелка показывала отклонение в обратном направлении. При быстром же продвижении магнита сквозь спираль стрелка сначала отклонялась, затем внезапно останавливалась и затем отклонялась в обратном направлении.

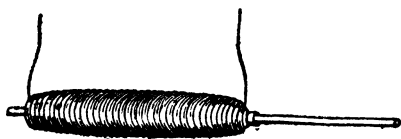


Рис. 20.

41. Когда спираль, подобная описанной выше (п. 34), расположена с востока на запад (либо находится в другом постоянном положении) и магнит также расположен в направлении с востока на запад, указывая своим обозначенным полюсом все время в одном направлении, то стрелка будет всегда отклоняться в одном направлении независимо от того, через какой конец спирали будет вдвигаться магнит или в соответствии с этим какой полюс первым вступит в спираль. Подобным же образом при выдвигании магнита, в каком бы направлении оно ни происходило, направление отклонения будет одинаково, но обратно направлению при вдвигании.

42. Эти действия являются простыми следствиями закона, изложенного ниже (п. 114).

43. Соединение восьми отдельных спиралей в одну длинную катушку не дало такого сильного действия, как вышеописанная установка. Даже при использовании одной из восьми спиралей действие было значительно слабее. Были приняты все меры, чтобы предотвратить непосредственное действие индуцирующего магнита на гальванометр, и дока-

зано, что движение магнита по внешней стороне спирали в том же направлении и в той же степени не оказывает никакого влияния на гальванометр.

44. Королевское общество обладает принадлежавшими раньше доктору Гоуэну Найту (Gowan Knight) большим магнитным магазином, которым я пользовался для опытов с разрешения Президента и правления общества. Он находится в настоящее время у г-на Кристи в Вульвиче, который был столь любезен, что разрешил мне работать в своем доме, за что я приношу ему здесь искреннюю благодарность, равно как за помощь во всех опытах и наблюдениях, связанных с магнитами. Этот магнит составлен приблизительно из 450 полосовых магнитов, из которых каждый имеет 10 дюймов длины, 1 дюйм ширины и $1\frac{1}{2}$ дюйма толщины и установленных в ящике таким образом, что на одном конце последнего находятся два внешних полюса (рис. 21). Эти полюсы выступают из ящика на 6 дюймов в горизонтальном направлении при высоте в 12 дюймов и ширине в 3 дюйма и находятся один от другого на расстоянии 9 дюймов. Для того чтобы оторвать цилиндр из мягкого железа диаметром в $\frac{3}{4}$ дюйма и длиной в 12 дюймов, положенный поперек полюсов, понадобился вес около 100 фунтов. На рисунке левый полюс является обозначенным*.

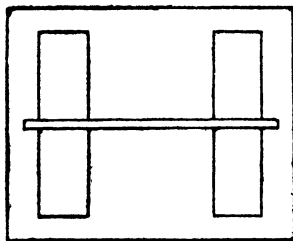


Рис. 21.

45. Гальванометр, употреблявшийся при всех этих опытах, находился на расстоянии восьми футов от магнита и не прямо против полюсов последнего, а наискось, под углом в 16—17°. Накладывание и отрывание кусков мягкого железа оказывали на гальванометр известное действие, однако проистекавшие от этого ошибки тщательно устранялись без всяких затруднений.

45. Гальванометр, употреблявшийся при всех этих опытах, находился на расстоянии восьми футов от магнита и не прямо против полюсов последнего, а наискось, под углом в 16—17°. Накладывание и отрывание кусков мягкого железа оказывали на гальванометр известное действие, однако проистекавшие от этого ошибки тщательно устранялись без всяких затруднений.

* Во избежание недоразумений замечу здесь, что под обозначенным полюсом я понимаю полюс, указывающий на север. При случае мне придется упоминать о южной и северной оконечности стрелки, причем я под этим не подразумеваю северного и южного полюса. Многие считают истинным северным полюсом стрелки тот, который указывает на юг, однако у нас он чаще называется южным полюсом.

46. Электрические действия, вызываемые этим магнитом, были поистине поразительны. При вложении в полость сложной спирали (п. 36), соединенной с гальванометром, цилиндра из мягкого железа длиной в 13 дюймов и наложении его на полюсы магнита (рис. 21) через спираль проходил ток столь большой силы, что стрелка гальванометра описывала несколько полных кругов*.

47. Несмотря на столь большую силу тока, при продолжении контакта стрелка гальванометра возвращалась в свое исходное положение независимо от положения, занимаемого спиралью (п. 20). При отрывании же железного цилиндра от магнита стрелка с прежней силой описывала круги в обратном направлении.

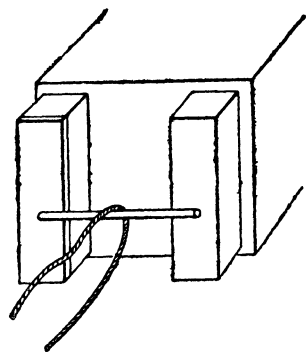


Рис. 22.

48. Полоса меди в форме гильзы, защищенная бумагой от соприкосновения, обкладывалась в один слой вокруг железного цилиндра, и края ее соединялись с проволокой гальванометра. При наложении железного цилиндра на магнит гальванометр немедленно отмечал действие большой силы.

49. Спирали и гильза откладывались в сторону, и провод гальванометра наматывался на одной стороне железного цилиндра (рис. 22). И в этом случае установление и прерывание контакта сопровождалось весьма сильным действием на стрелку гальванометра.

50. При приближении спирали с железным сердечником к магнитному полюсу, но без соприкосновений с последним, также замечалось сильное действие. При приближении к магниту или наложении на полюсы спирали, состоявшей исключительно из медной проволоки без железного сердечника, стрелка гальванометра отклонялась от положения равновесия на $80-100^\circ$ и больше. Индукционное действие, естественно, усиливалось при приближении спирали без сер-

* Удобным средством для получения кратковременного, но отчетливого тока, является помещение вблизи магнита, обмотанного проволокой, куска железа, по форме напоминающего якорь подковообразного магнита.

дечника или с таковым на более близкое расстояние к магниту; в остальном же действие не изменялось независимо от того, была ли спираль и пр. приведена в соприкосновение с магнитом или нет, т. е. гальванометр не отмечал длительного действия, и действие, вызываемое приближением спирали, являлось обратным действию, вызванному удалением ее (п. 30).

51. Замена железного цилиндра внутри спирали медным болтом не вызывала усиления действия последней, но толстая железная проволока заметно повышала магнитоэлектрическую индукцию.

52. В отношении направления тока при всех этих опытах со спиралью сохраняет свою силу все сказанное выше (п. 38) о токе, полученном с помощью более слабых полосовых магнитов.

53. Спираль, состоящая из медной проволоки длиной в 14 футов, будучи приближена к обозначенному полюсу в направлении оси, оказывала сильное действие на гальванометр; индуцированный ток был направлен обратно току, окружающему магнитный полюс, согласно теории Ампера (п. 38) или току электромагнита, одинаковой с ним полярности. Удаление спирали индуцировало ток обратного направления.

54. Через подобную спираль пропускаться ток от 8—10 пар четырехдюймовых пластин, как это делается для получения электромагнита. При приближении к этой спирали другой, соединенной с гальванометром (п. 53), отклонение стрелки указывало на наличие в последней тока, направление которого было обратно направлению тока в первой спирали, соединенной с батареей (пп. 18, 26). При удалении последней стрелка гальванометра отклонялась в обратную сторону.

55. В обыкновенных проволоках при их приближении в известных направлениях к магниту также индуцировались токи. То же, но в обратном направлении, наблюдалось при удалении их. В этих опытах удаление проволок должно было совершаться по тем же направлениям, что и приближение, ибо в противном случае возникали иногда запутанные и неправильные действия, причина которых станет ясна из четвертого параграфа этой книги.

56. Все попытки вызвать при помощи индукционного тока химические действия потерпели неудачу, несмотря на то, что были приняты все изложенные выше и вообще все воз-

можные меры предосторожности. Этот ток не воспринимался на язык, он не вызывал также сокращения лапки лягушки и не накаливал уголь и тонкую проволоку (п. 133). Однако, когда я более тщательно повторил эти опыты в Королевском институте с большим куском магнитного железняка с арматурой, принадлежавшим профессору Даниелю и весившим 30 фунтов, мне удалось вызвать у лягушки очень *сильные сокращения* при каждом прикладывании якоря к магниту. Первоначально не удавалось заметить сокращений при отрывании якоря, однако, полагая, что отсутствие действия объясняется сравнительной медленностью, с которой производилось отрывание, я стал совершать этот акт одним ударом и, действительно, у лягушки наблюдались сильные сокращения. Они оказываются тем сильнее, чем быстрее происходит соприкосновение или отделение. Мне кажется, что мне удалось заметить также некоторое ощущение *на языке* и *искру*, но химического разложения мне не удалось вызвать.

57. Я полагаю, что многочисленные опыты, описанные в этом параграфе, полностью доказывают факт возбуждения электричества при помощи обычного магнетизма. Его незначительная интенсивность¹ и малое количество не должны нас удивлять, если мы вспомним, что они подобно термоэлектричеству возникают всецело внутри металлической субстанции и ограничены ею благодаря ее проводимости. Однако агент, проходящий по проводам вышеописанным образом, проявляющий при прохождении через них характерные магнитные действия и силу электрического тока, вызывающий судороги у лягушки и, наконец, при разряде через угли дающий искру (п. 32)*, может быть только электричеством.

¹ Как известно, Фарадей понимает под интенсивностью (*intensity*) электрического тока то, что мы называем напряжением или электродвижущей силой, в то время как для того, что мы называем силой тока, он употребляет выражение *quantity* (количество). Если иметь это в виду, всякое недоразумение становится невозможным, и поэтому я счел возможным строго придерживаться терминологии Фарадея. (К.)

* О найденном мной успешном методе получения искры при помощи обыкновенного магнита см. *Phil. Magazine*, июнь 1825 г., стр. 5. В ноябрьском выпуске того же журнала от 1834 г., т. V, стр. 349, описан метод получения магнитоэлектрической искры, более простой по своему принципу, при котором совершенно устранено употребление мягкого железа.— Декабрь 1838 г.

Так как все эти эффекты можно получить с помощью электромагнитов с железными сердечниками¹ (п. 34), то конструкции такого рода, как магниты Моля (Moll), Генри (Henry), Тэн-Эйка (Ten-Eyke) и других, из которых один весит две тысячи фунтов², могут быть очень полезны при таких опытах; в этом случае должно удасться не только получение более ярких искр, но также накаливание проволоки и химическое действие при прохождении тока через жидкости. Вероятность получения этих эффектов становится еще большей, если описанные в четвертом параграфе магнитоэлектрические устройства возбуждаются силами такого рода приборов.

58. Подобие и даже полное тождество действий обыкновенных магнитов, с одной стороны, и электромагнитов или вольтаических токов — с другой, находятся в удивительном согласии с амперовой теорией и вместе с тем являются ее подтверждением; они дают веские основания для предположения, что в обоих случаях действие является тем же самым. Поскольку, однако, словесное различие еще необходимо, я предлагаю эффекты, о которых идет речь, назвать вольтаэлектрической или магнитоэлектрической индукцией (п. 26).

59. Единственное, бросающееся в глаза различие между вольтаэлектрической и магнитоэлектрической индукцией как будто заключается в том, что первая наступает внезапно, вторая же требует заметное время; однако и при современном состоянии науки имеются обстоятельства, указывающие, что это различие при дальнейшем исследовании потеряет свой принципиальный характер (п. 68)*

§ 3. НОВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАТЕРИИ^{1*}

60. Когда проволока находится под действием вольтаэлектрической индукции или магнитоэлектрической индукции,

¹ Фарадей употребляет выражение „ferruginous electro-magnets“ (электромагнит с железным сердечником), так как обычно он под электромагнитом понимает спираль или соленоид. Лишь в девятой серии „Экспериментальных исследований“ термин употребляется им в современном смысле. (К.)

² Это электромагнит Тэн Эйка, который согласно данным *Sill. Journ. of Sc.*, 1831 г., XX, 203, весил от 2000 до 2062 фунта. (К.)

* О других важных явлениях, связанных с индукцией электрических токов, см. девятую серию, пп. 1048—1118, декабрь 1838 г.

** После того, как этот раздел был доложен Королевскому обществу и письмом в Гашетту (Hachette) сделано было также сооб-

она, повидимому, находится в особом состоянии, так как противодействует образованию в ней электрического тока, в то время как при обычных условиях индукции такой ток должен был бы возникнуть. При прекращении указанного особого состояния проволока обладает способностью возбуждать ток — способностью, которой она не обладает в своем обычном состоянии. Это электрическое состояние вещества до сих пор не признавалось, но, повидимому, оно оказывает очень важное влияние на многие, если не на все, явления, вызванные токами электричества. На основании изложенных ниже (п. 71) соображений я решил, посоветовавшись предварительно с некоторыми учеными-друзьями, назвать это состояние *электротоническим состоянием*.

61. Это особое состояние не вызывает никаких известных нам электрических действий, мне не удалось до настоящего времени также открыть в материи, находящейся в этом состоянии, каких-либо особых присущих ей сил или свойств.

62. Оно не обнаруживает ни притягательных, ни отталкивательных сил. Это подтверждается различными опытами, которые были проделаны с помощью сильных магнитов над такими металлами, как медь и серебро, которые в обычном состоянии не магнитны, ибо эти вещества, будучи проводниками электричества, должны были бы принять это состояние; однако не удалось обнаружить никаких доказательств присутствия притягательных или отталкивательных сил. Я помещал в вакууме, вблизи полюсов очень сильных магнитов, медные и серебряные диски, подвешанные на весьма чувствительных крутильных весах, однако мне не удалось обнаружить ни малейшего следа отталкивательной или притягательной силы.

щение Французскому институту, я вынужден оставить его на прежнем месте, хотя позднейшие исследования (особенно пп. 73, 76 и 77) этих явлений привели меня к убеждению, что они полностью могут быть хорошо объяснены без гипотезы электротонического состояния¹. Подробное изложение моих взглядов на этот предмет см. во второй серии этих исследований. М. Ф.

¹ Согласно правильно замечанию А. Эттингена гипотеза электротонического состояния сыграла значительную роль в развитии взглядов Фарадея. Она явилась зародышем, из которого в дальнейшем возникло представление о физических силовых линиях электромагнитного поля. В письме к Филлипсу от 29 ноября 1831 г. (см. стр. 58 настоящего сборника) сам Фарадей дает подробную оценку роли этой гипотезы для своих исследований. (Ред.)

63. Затем я подвешивал узкий золотой листок в непосредственной близости от медного стержня и соединял концы обоих при помощи ртути. Все это находилось в вакууме, тогда как металлические стержни, соединенные с концами установки, выступали над стенками сосуда. Перед этой установкой я двигал в различных направлениях мощные магниты, причем металлическая цепь попеременно замыкалась и размыкалась посредством проводов. Однако мне ни разу не удалось наблюдать движение золотого листика как по направлению к магниту, так и по направлению к медному стержню, установленному рядом и который в отношении индукции должен был находиться в том же состоянии.

64. Высказывалось предположение, что в некоторых случаях при подобных условиях притягательные и отталкивательные силы были обнаружены, т. е. что такие тела становились слегка намагниченными. Однако вышеописанные явления в соединении с доверием, с которым мы вполне заслуженно относимся к теории магнетизма г-на Ампера, заставляют нас подвергнуть сомнению подобные случаи. Действительно, если магнетизм зависит от притяжения электрических токов и если сильные токи, вызванные volta-электрической и магнитоэлектрической индукцией, мгновенно и естественно прекращаются (пп. 12, 28, 47), вызывая в то же время полное прекращение магнитных эффектов на игле гальванометра, то вряд ли можно ожидать проявления электропритягательных сил от каких-либо веществ, не обладающих особыми свойствами некоторых других веществ. Гораздо более вероятно, что наблюдаемые крайне слабые постоянные магнитные эффекты объясняются присутствием в веществах следов железа или, может быть, какой-либо другой причиной немагнитного характера.

65. Это особое состояние не оказывает замедляющего или ускоряющего действия на электрические токи, проходящие в вышеописанных условиях (пп. 20, 33). Через металлы не удалось также обнаружить влияния этих сил на индуцирующий ток, так как когда вблизи проволоки или спирали, несущих ток, измеряемый гальванометром, были расположены массы металла в виде проволок, спиралей и т. д., не было замечено ни малейшего постоянного изменения в показаниях этого инструмента. Из этого можно заключить, что металлы, находящиеся в предполагаемом особом состоянии, проводят электричество во всех направлениях с обычной

легкостью, т. е., иными словами, их проводящая способность не претерпевает никакого заметного изменения.

66. Все металлы принимают это особое состояние. Это доказано вышеописанными опытами с железом и медью (п. 9), а также легко выполнимыми опытами, которые будут описаны в четвертом параграфе (п. 132), с золотом, серебром, оловом, свинцом, цинком, сурьмой, висмутом, ртутью и т. д. Что касается железа, то опыты доказали замечательный факт полной независимости явлений индукции от обычных магнитных свойств этого металла.

67. Это состояние полностью зависит от индукции и немедленно прекращается при удалении индуцирующей силы. Коллатеральное прохождение вольтаических токов (п. 26), возникновение магнетизма (пп. 34, 36) и даже простое приближение магнита (пп. 30, 50) вызывают одинаковое состояние, что в соединении с доводом, выдвигаемым г-ном Ампером, является сильным аргументом в пользу тождества факторов, действующих в этих различных операциях. Оно, повидимому, возникает мгновенно во время прохождения обычной электрической искры (п. 24) и, повидимому, может быть вызываемо также в плохих проводниках при помощи слабых электрических токов или каким-либо другим путем.

68. Это состояние, повидимому, возникает мгновенно (п. 12). Обнаруживаемую гальванометром *разницу* во времени между вольтаической и магнитоэлектрической индукцией можно, по всей вероятности, объяснить следующим образом: когда вольтаэлектрический ток пропускается через одну из двух параллельных проволок, как это мы имеем, например, в двойной спирали (п. 34), в другой проволоке возникает ток, длительность которого не превышает времени, необходимого для возникновения самого индуцирующего тока, т. е. неизмеримо малой величины. Это действие, повидимому, является еще более молниеносным, так как благодаря скоплению силы на полюсах батареи до установления контакта первый поток электричества в индуцирующей проволоке будет больше того, который мы имеем после окончательного установления контакта. Индуцируемая проволока в этот момент становится электротоничной в соответствующей степени; однако в следующий момент электротоническое состояние падает до того уровня, на котором может быть поддерживаемо постоянным током. Это падение является причиной возникновения индуктивного тока, обрат-

ного первоначальному. Вследствие этого первая индуцируемая волна электричества напоминает скорее всего ток, получаемый при разрядке лейденской банки.

69. Если же железный цилиндр вставляется в ту же спираль (п. 34) до ее соединения с батареей, тогда, возможно, что ток от этой последней столь же активно начинает индуцировать в железе бесчисленные токи, подобные ему самому, превращая железный цилиндр в магнит. Как известно из опыта, на это требуется известное время; образующийся таким образом магнит, даже из мягкого железа, достигает полной интенсивности не сразу. Возможно, что это объясняется тем, что токи внутри железа возникают последовательно один за другим или распределяются в известном порядке. А так как магнит обладает индуцирующим действием подобно току батареи, то их соединенное действие продолжает возбуждать индуцированное электричество до того момента, когда их совокупный эффект достигает максимума и таким образом порождает отклоняющую силу, способную преодолеть инерцию стрелки гальванометра.

70. Во всех тех случаях, когда спирали или проволоки приближались или отдалялись от магнита, прямой или обратный ток индуцированного электричества продолжался в течение времени приближения или удаления их, потому что электротоническое состояние в это время поднимается до высшего или падает до низшего уровня, и эта перемена сопровождается соответствующим выделением электричества, что, однако, не противоречит предположению о мгновенном возникновении электротонического состояния.

71. Это особое состояние есть, повидимому, состояние напряжения и может быть рассматриваемо, как эквивалентное току электричества, по крайней мере, равное тому току, который получается, когда это состояние индуцируется или прекращается. Однако получаемый в конце или в начале ток не может служить для степени напряжения электротонического состояния, так как благодаря тому, что проводящая способность остается неизменной (п. 65), а электричество возникает лишь на мгновение (особое состояние возникает и исчезает мгновенно, см. п. 68), количество протекающего электричества в том случае, когда проводником служит длинная проволока, сопротивление которой пропорционально малости поперечного и протяженности продольного размеров, является лишь незначительной долей коли-

чества электричества, возникающего в действительности в массе металла в момент, когда она принимает электротоническое состояние. Изолированные спирали и куски металла мгновенно приходили в это состояние и в них не удавалось обнаружить никаких следов электричества, как бы быстро ни устанавливался контакт с электрометром, после того как они были подвергнуты индукции посредством тока от батареи или магнита. Одной капли воды или небольшого куска влажной бумаги (пп. 23, 56) достаточно для прекращения тока через проводники, причем возникающее электричество возвращается в состояние равновесия через самый металл путем, недоступным наблюдению.

72. Таким образом напряжение этого состояния, по всей вероятности, относительно очень велико. Но независимо от его величины трудно себе представить, чтобы наличие такого напряжения оказалось без влияния на первоначальный индуцирующий ток и не вызвало бы установления какого-либо рода равновесия. Можно было ожидать, что это повлечет за собой замедление первоначального тока, однако мне не удалось в этом убедиться. Равным образом мне не удалось до сих пор установить каких-либо эффектов, относящихся к этой реакции.

73. Все эти результаты подтверждают мысль, что электротоническое состояние относится не к массе, а к частицам индуцируемой проволоки или вещества и в этом отличается от индукции, производимой статическим электричеством. Если это верно, то это состояние может приниматься жидкостями и даже непроводниками без видимого наличия электрического тока; возникновение же тока является как бы случайностью, обязанной своим существованием проводящей способности моментального характера — движущей силе, обусловленной новым расположением частиц. Даже в случае равенства проводящей способности токи электричества, которые в настоящее время являются единственными указателями этого состояния, могут быть неравны благодаря различию в величине, количестве, электрическом состоянии и т. п. в самих частицах. Только когда законы, управляющие этим новым состоянием, будут окончательно установлены, мы сможем предсказывать действительное электрическое состояние и вытекающие из такового результаты для каждого отдельного вещества.

74. Ток электричества, индуцирующий электротоническое

состояние в соседней проволоке, по всей вероятности, индуцирует также и свою собственную проволоку, так как, когда ток в одной проволоке приводит соседнюю в электротоническое состояние, последнее вполне совместимо и не препятствует прохождению тока электричества через первую проволоку (п. 62). Поэтому, если предположить, что ток направлен не через первую, а через вторую проволоку, то его индуцирующее действие на вторую проволоку, вероятно, не уменьшится, а наоборот, возрастет благодаря значительному уменьшению расстояния между агентом и веществом, на которое он действует. Концы медного болта были соединены с гальванометром, а затем полюсы батареи из 200 пар пластинок были соединены с болтом таким образом, чтобы пропустить через него ток; затем voltaическая цепь была внезапно прервана, но на гальванометре не удалось обнаружить никаких следов прохождения через медный болт обратного тока, возникшего в результате разрядки его предполагаемого электротонического состояния. Этого и не следовало ожидать по двум причинам: во-первых, так как прекращение индукции и разрядка электротонического состояния совершаются одновременно, а не последовательно, то обратный ток будет лишь эквивалентен нейтрализации последней части индуцирующего тока и поэтому не покажет изменения направления. Если же предположить, что между возникновением обоих токов действительно прошло некоторое время, то короткая продолжительность и внезапность последнего не дает нам возможности действительно отличить один от другого.

75. Я думаю, что не возникнет затруднений, если мы примем, что собственный ток скорее приводит проволоку в электротоническое состояние, чем любой внешний ток, особенно если принять во внимание, что это состояние, очевидно, не препятствует прохождению токов (пп. 62, 71). Одновременное существование проводящей способности и электротонического состояния можно сравнить с прохождением электрических токов через магнит, причем оказывается, что как проходящие токи, так и токи внутри магнита сохраняют все свои, отличные друг от друга свойства и продолжают взаимодействовать между собой.

76. Все сказанное выше относительно металлов распространяется также на жидкости и все другие проводники и приводит нас к заключению, что при прохождении через

них электрических токов они также принимают электротоническое состояние. Если это предположение верно, то влияние электротонического состояния на химическое разложение током и перенос элементов к полюсам будет несомненным. В электротоническом состоянии однородные частицы материи принимают правильное расположение в направлении тока, навязанное им электрическими силами. Если материя неразложима, это приводит по освобождению от электрических сил к возникновению обратного тока; в случае же разложимой материи это насильственное состояние может стать достаточным для того, чтобы заставить одну элементарную частицу оставить ту частицу, с которой она насильственно соединена, и соединиться с соседней такой же частицей, с которой она находится в более нормальных отношениях; тем самым насильственное электрическое расположение оказывается разряженным или освобожденным от электрических сил так же эффективно, как при прекращении индукции. Но так как voltaический ток продолжается, то электротоническое состояние моментально возобновляется и вызывает насильственное расположение составных частиц, а затем также мгновенно разряжается благодаря переносу противоположных элементарных частиц в противоположных, но параллельных току направлениях. Даже различие, указанное д-ром Волластоном*, между обыкновенным и voltaическим электричеством в приложении к химическому разложению можно объяснить индукцией электричества от этих двух источников (п. 25).

77. Марианини открыл и описал особое явление на поверхности металлических дисков: если через такие диски, находящиеся в контакте с влажными проводниками, пропускать ток электричества, то они в состоянии дать обратный ток. Марианини применил этот эффект для объяснения явления столба Риттера**. Де ля Рив описал особое свойство, приобретаемое металлическими проводниками, которые в течение некоторого времени были погружены в жидкость и соединены с полюсами voltaической батареи; такие проводники, отделенные от батареи и погруженные в ту же жидкость, возбуждают сами по себе электрический ток***. Ван Беек

* *Phil. Transact.*, 1801, стр. 247.

** *Ann. de Chim. et de Physique*, XXXVIII, 5.

*** *Ann. de Chim. et de Physique*, XXVIII, 190.

подробно описал случаи, когда электрическое соотношение одного металла в контакте с другим сохранялось после того, как контакт был нарушен, и сопровождалось соответствующими эффектами*. Эти состояния и результаты, повидимому, отличаются от электротонического состояния и его явлений; однако действительная связь между обоими сможет быть выяснена только тогда, когда расширится наше знакомство с этими явлениями.

78. В начале этой серии (п. 2) я упоминал об одном опыте г-на Ампера над электрической индукцией токов; настоящее исследование, сделанное позднее, заставляет меня усомниться в точности этого опыта (п. 62 и др.). Когда через спираль (говорит г-н Ампер), окружающую подвешенный на шелковой нити медный диск, пропускался разряд мощной вольтаической батареи, причем одновременно к диску приближался сильный магнит, то диск в этот момент поворачивался и принимал положение равновесия, которое приняла бы спираль, если бы она была свободна. Мне не удалось получить этого эффекта и вообще какого-либо движения. Однако мою неудачу в последнем пункте можно объяснить кратковременностью существования тока, который по этой причине не в состоянии превозмочь инерции диска (пп. 11, 12). Может быть г-н Ампер обязан своей удачей высокой чувствительности и мощности своего электромагнитного аппарата; возможно также, что полученное им движение было лишь движением, вызванным прекращением действия. Однако результаты всех моих исследований приводят к обратному, нежели следующее положение Ампера: „Ток электричества стремится возбудить в проводниках, около которых он проходит, ток электричества одного с ним направления“, ибо результаты эти указывают на противоположное направление для возбужденного тока (пп. 25, 63). Они показывают, что эффект моментален и вызывается также магнитной индукцией и что он имеет следствием некоторые другие необыкновенные эффекты.

79. Кратковременность существования вышеописанных явлений индукции является вполне достаточным объяснением сомнительности, а то и полной неудачи всех опытов, произведенных до настоящего времени с целью получить элек-

* *Ibid.*, XXVIII, 49.

тричество от магнитов или произвести с их помощью химическое разложение или превращение*.

80. Индукция так же, повидимому, вполне объясняет замечательное взаимодействие, наблюдавшееся г-ном Араго между металлом и магнитом, когда один из них находится в движении (п. 20), а также большинство результатов, полученных сэром Джоном Гершелем, Баббеджем, Баррисом и др., повторявшими опыты Араго, и прекрасно разъясняет многое, вначале казавшееся необъяснимым, а именно, отсутствие взаимодействия тех же металлов и магнитов в случае покоя. Теперь я перейду к описанию моих собственных опытов, которые, кроме того, указывают удобнейший путь для получения электричества от магнетизма.

* В „*Lycée*“ н^о. 36 от 1 января появилась длинная и несколько преждевременная статья, в которой делается попытка доказать приоритет французских исследователей в отношении полученных мной результатов. Автор считает ошибочные попытки Френеля и Ампера истинными и тождественными с моими правильными результатами. Я это отмечаю здесь с той лишь целью, чтобы выразить Френелю должное почтение в гораздо большей степени, чем это заслуживает слабое предвосхищение им настоящих результатов. Этот великий естествоиспытатель поставил одновременно со мной и пятнадцатью другими лицами ряд опытов, которые, как это показывает настоящее исследование, не могли дать никаких положительных результатов. Будучи на короткое время увлечен заблуждением, Френель обнародовал свои воображаемые удачные исследования. Однако при более тщательном повторении опытов он не смог найти никаких доказательств их правильности. Обладая высоким, чисто философским стремлением в такой же мере устранять ошибки, как и вскрывать истину, Френель взял обратно свои прежние утверждения. Отношение Берцелиуса к первоначально и ошибочно предположенной им в качестве таковой окиси тория (Thoria — ториевая земля) является другим примером научной щепетильности. Такого рода случаи встречаются не часто и для достоинства науки хорошо было бы, если бы этим примерам чаще подражали¹ (10 февраля 1832 г. М. Ф.)“.

¹ В примечании к концу третьей серии (см. стр. 149 настоящего сборника) Фарадей более подробно освещает вопрос о приоритете.

Опыты Френеля и Ампера, о которых говорит Фарадей, заключались в следующем. Френель пытался разложить воду, погружая в электролит концы спирали, обмотанной вокруг неподвижного магнита. См. *Ann. de Chim. et Physique*, 1820, XV, стр. 219. Там же (стр. 219 и 222) описан аналогичный опыт Ампера, якобы наблюдавшего отклонение магнитной стрелки, расположенной около провода, часть которого намотана на магнит.

Берцелиус до открытия действительной окиси тория принимал за таковую другое вещество и впоследствии признал свою ошибку; см. *Pogg. Ann.*, 1829, XVI, стр. 387. (Ред.)

§ 4. ОБЪЯСНЕНИЕ МАГНИТНОГО ЯВЛЕНИЯ АРАГО *

81. Если вращать медный диск вблизи магнитной стрелки или магнита, подвешенного таким образом, что он может вращаться в плоскости, параллельной плоскости диска, то магнит стремится следовать движениям диска; при вращении магнита диск следует за его движением. Этот эффект настолько силен, что таким путем можно вызвать вращение магнитов или дисков весом в несколько фунтов. Если магнит и диск находятся в покое друг относительно друга, то между ними не наблюдается ни малейшего эффекта взаимодействия как притягательного, так и отталкивательного (п. 62). Таково явление, открытое Араго, причем последний утверждает, что этот эффект наблюдается не только у всех металлов, но также и в случае твердых тел, жидкостей и газов, иначе говоря, со всеми веществами (п. 130).

82. Мистеру Баббеджу и сэру Джону Гершелю¹, повторившим в Англии этот опыт, удалось наблюдать этот эффект только с металлами и с углем в особом состоянии, получаемым из газовых реторт, т. е., иначе говоря, с хорошими проводниками электричества**. Они объясняют этот эффект магнетизмом, индуцируемым в диске действием магнита. Каждый полюс последнего индуцирует в ближайшей к нему части диска противоположный полюс, а далее около него, более диффузно, одноименную полярность. Важнейшим обстоятельством, вызывающим вращение подвешенного магнита, является то, что приведенное в движение вещество приобретает и теряет магнетизм не мгновенно, а в течение известного времени (п. 124).

Эта теория объясняет эффект присутствием притягательной силы, с чем не согласны ни открывший этот эффект Араго, ни Ампер, которые основывают свои возражения на том факте, что, когда магнит и диск находятся в покое (пп. 62, 126), всякое притяжение отсутствует, несмотря на наличие индуцированного магнетизма. Кроме того, опыты, произведенные с длинной стрелкой склонения, якобы показывают, что это действие всегда отталкиовательно (п. 125).

* „Магнетизм вращения“ был открыт Араго в ноябре 1824 г. Доклад в Парижской академии был сделан Араго 7 марта 1825 г.

¹ John Frederik William Herschel (1798—1871 гг.)—сын знаменитого астронома Вильяма Гершеля. Помимо астрономии занимался физикой и метеорологией. (Ред.)

** *Phil. Transact.* 1825, p. 467.

83. Получив электричество из магнита вышеописанным образом, я полагал, что опыт г-на Араго может стать новым источником получения электричества, и надеялся, что путем использования электрической индукции земного магнетизма мне удастся сконструировать новую электрическую машину. Одушевляемый этим намерением, я проделал в доме г-на Кристи множество опытов с магнитом Королевского общества, причем г-н Кристи мне помогал. Ввиду того что многие из этих опытов сделались излишними благодаря достигнутому в процессе работы усовершенствованиям, я позволяю себе изложить их в той последовательности, которая, как мне кажется, дает наиболее ясное представление о природе этого явления.

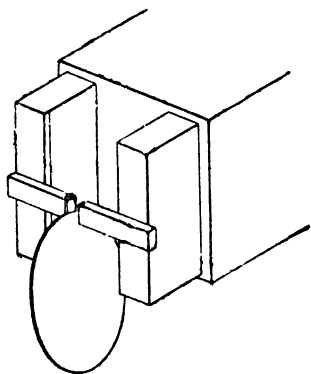


Рис. 23.

84. Магнит уже был описан нами выше (п. 44). С целью усиления и сближения полюсов поперек них были помещены два стальных или железных стержня, каждый длиной в 7—8 дюймов, шириной в 1 дюйм и толщиной в $\frac{1}{2}$ дюйма, как это показано на рис. 23. Во избежание скольжения они укреплялись при помощи шнурков и могли быть помещены на любом расстоянии друг от друга.

Иногда употреблялись бруски из мягкого железа, изогнутые таким образом, что оба малые полюса оказывались вертикально один над другим, причем это их расположение могло по желанию меняться.

85. Медный диск 12 дюймов в диаметре и толщиной около $\frac{1}{8}$ дюйма, укрепленный на медной оси, помещался на станке так, что мог вращаться как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. При этом края диска в большей или меньшей степени вдавались между полюсами магнита (рис. 23).

Для обеспечения хорошего, но подвижного контакта, края диска, а также часть оси были покрыты амальгамой.

86. Медные или свинцовые проводники-коллекторы приводились в контакт с краем медного диска (п. 85) или с пластинками другой формы, которые будут описаны ниже (п. 101). Эти проводники были длиной около 4 дюймов,

шириной в $\frac{1}{3}$ дюйма и толщиной в $\frac{1}{5}$ дюйма. Два конца их имели небольшие выемки для более полного соприкосновения с несколько выпуклым краем диска и были покрыты амальгамой. Два другие конца были обычным образом при помощи скрученных спирально медных проволок толщиной в $\frac{1}{16}$ дюйма соединены с гальванометром.

87. Гальванометр был примитивен, но достаточно точен в своих показаниях. Он состоял из 16 или 18 витков медной проволоки, покрытой шелком; две намагниченные швейные иглы были укреплены на соломинке параллельно друг другу, но в противоположных направлениях на расстоянии $\frac{1}{2}$ дюйма друг от друга. Вся система была подвешена на шелковой нити таким образом, чтобы нижняя игла находилась между витками, а верхняя над ними. Верхняя игла была несколько сильнее намагничена и потому устанавливала всю систему в плоскости магнитного меридиана. На рис. 24 изображено направление проволок и игол, когда весь инструмент находился в плоскости магнитного меридиана. Концы

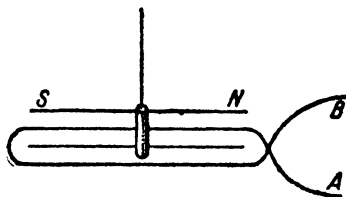


Рис. 24.

проволок для удобства обозначены буквами *A* и *B*. Буквы *S* и *N* обозначают южный и северный концы стрелок, когда последние находятся под действием одного лишь земного магнетизма, и следовательно, *N* является обозначенным полюсом (п. 44). Весь аппарат был покрыт стеклянным колпаком и находился в том же положении относительно большого магнита и на том же расстоянии от него, что и раньше.

88. По окончании всех этих приготовлений медный диск был укреплен в положении, изображенном на рис. 23, причем малые магнитные полюсы были удалены друг от друга на расстояние в $\frac{1}{2}$ дюйма и край диска вдвинут между ними приблизительно до половины их ширины. Один конец провода гальванометра был два или три раза слабо обмотан вокруг медной оси пластинки, а другой прикреплен к отводящему проводу (п. 86), который рукой удерживался в контакте с амальгамированным краем диска в части, находящейся между магнитными полюсами. При этих условиях все оставалось в покое, и гальванометр не обнаруживал никакого эффекта. Однако, как только пластинка приводи-

лась в движение, гальванометр показывал отклонение, которое при быстром вращении пластинки доходило до 90° и более¹.

89. В этих условиях было трудно поддерживать постоянный и достаточно хороший контакт между кондуктором и краем вращающегося диска. При первых опытах было также трудно добиться равномерной скорости вращения. Благодаря этим обстоятельствам стрелка все время вибрировала. Однако всегда удавалось без труда определить, в какую сторону она отклонялась или, выражаясь более обще, около какой оси она вибрировала. Впоследствии, когда

опыты производились более тщательно, удавалось поддерживать постоянное отклонение стрелки, равное приблизительно 15° .

90. Таким образом здесь мы получали длительный электрический ток с помощью простых магнитов (п. 57).

91. Если все условия опыта оставались неизменными, но направление вращения диска изменялось, то стрелка гальванометра

показывала такое же отклонение, но в противоположную сторону, и следовательно, ток шел в обратном направлении.

92. Когда проводник помещался на краю диска несколько вправо или влево, как указано пунктиром на рис. 25, то электрический ток продолжал течь в том же направлении, что и раньше (пп. 88, 91). Это наблюдалось на порядочном расстоянии, а именно, на расстоянии 50 или 60° по обе стороны от местонахождения магнитных полюсов. Направление воспринятого кондукторами и передаваемого гальванометру тока было то же самое по обеим сторонам точки наибольшей интенсивности, но сила тока постепенно ослабевала по мере удаления контакта от последней. Интенсивность тока была, повидимому, одинакова на равных расстояниях от магнитных полюсов, и направление вращения не имело в этом отношении никакого влияния. При вращении дисков в обратную сторону направление электрического тока также обращалось; все остальное, однако, оставалось неизменным.

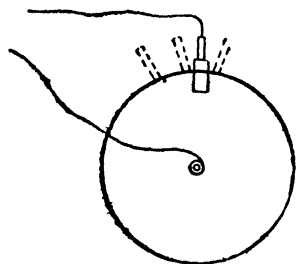


Рис. 25.

¹ Этот опыт был поставлен 20 октября 1831 г. (О.)

93. Если диск поднимался таким образом, что полностью закрывал собой магнитные полюсы (рис. 26), то все наблюдаемые эффекты происходили в том же порядке и с той же интенсивностью, что и раньше. Те же эффекты и, повидимому, с той же силой, что и раньше, наблюдались и при дальнейшем поднимании пластинки, при котором полюсы оказывались в точке *c*.

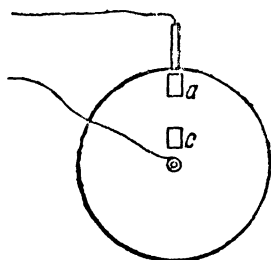


Рис. 26.

94. Если отводящий провод прижимался к краю диска и вместе с ним передвигался между полюсами, хотя бы на несколько градусов, то стрелка гальванометра приходила в движение и отмечала возникновение тока электричества, подобного тому, который был бы возбужден, если бы диск вращался в этом направлении, а проводник оставался неподвижным.

95. Когда контакт между гальванометром и осью прерывался и провода последнего присоединялись к двум проводникам, приложенным к краям диска, то возникали токи электричества, на первый взгляд более сложные, но по существу не отличающиеся от прежних. Так, наложение проводников, подобное изображенному на рис. 27, возбуждало в гальванометре ток электричества, но если положение их несколько изменялось (рис. 28), то возбуждался ток обратного направления.

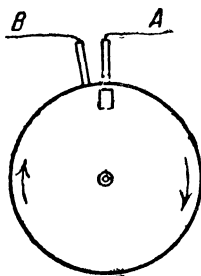


Рис. 27.

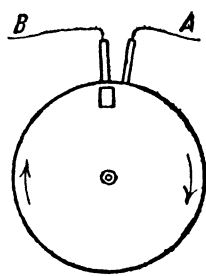


Рис. 28.

Этот факт объясняется тем, что в первом случае гальванометр показывал разницу между сильным током, проходящим через *A*, и слабым током, проходящим через *B*, а во втором — разность между слабым током, проходящим через *A*, и сильным, проходящим через *B* (п. 92), вследствие чего наблюдались отклонения в противоположные стороны.

96. Поэтому, когда оба проводника находились на одина-

ковом расстоянии от магнитных полюсов, как на рис. 29, гальванометр не указывал никакого тока, независимо от того, в какую сторону вращался диск, кроме моментальных токов, обусловленных неправильностями контакта. Это объясняется тем, что через оба проводника стремились пройти одинаковые токи в одинаковом направлении. Когда оба проводника соединялись с одним проводом, а ось с другим (рис. 30), то гальванометр указывал возникновение тока того или иного направления в зависимости от направления вращения (п. 91). В этом случае оба проводника действовали согласно, и дей-

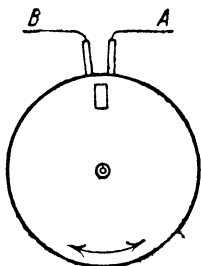


Рис. 29.

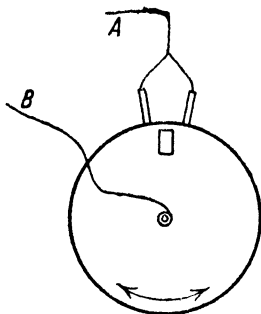


Рис. 30.

ствии обоих было подобно действию одного проводника в предыдущем опыте (п. 88).

97. Все эти эффекты наблюдались также и в том случае, когда диск находился по близости лишь одного из полюсов магнита. Они были совершенно тождественны в смысле направления и пр., но гораздо слабее.

98. Были приняты все меры, чтобы эти результаты были независимы от действия земного магнетизма и от магнитного взаимодействия между стрелками гальванометра и магнитом. Контакт производился в магнитном экваторе диска, а также в других точках; диск располагался горизонтально, а полюсы вертикально; принимались также и другие меры предосторожности. Однако уже то обстоятельство, что удаление диска от полюсов или полюсов от диска при неизменности всех других условий не давало никакого эффекта, ясно и неопровержимо доказывает отсутствие каких бы то ни было помех этого рода.

99. *Отношение* между возбужденным током электричества, магнитным полюсом, направлением вращения диска и пр. можно выразить следующим образом: если *необозначенный* полюс (пп. 44, 84) находится под краем диска и последний имеет правовинтовое вращение в горизонтальной плоскости, то электричество, могущее быть собранным на краю диска, ближайшем к полюсу, будет положительным. Это отношение между вращением, полюсом и возбуждаемым электричеством нетрудно запомнить, ибо полюс земли легко представить себе как *необозначенный* полюс. Если же, как на рис. 31, круг представляет медный диск, вращающийся в направлении стрелок, и *a* — *необозначенный* полюс, находящийся под диском, то электричество, собирающееся на *b* и на близ лежащих частях диска, будет положительным, а собираемое в центре *c* и на других частях — отрицательным (п. 88). Следовательно, в диске токи идут от центра мимо магнитных полюсов к периферии.

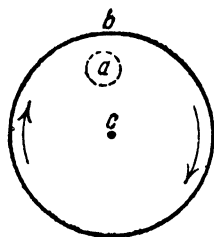


Рис. 31.

100. Если при всех прочих равных условиях *обозначенный* полюс поместить сверху, то электричество в точке *b* (рис. 31) останется положительным. Если *обозначенный* полюс будет помещен снизу или *необозначенный* сверху, то электричество будет противоположного знака. Если в любом из этих случаев направление движения будет обращено, то знак электричества также будет обратным.

101. Теперь для нас очевидно, что вращение диска является лишь повторением в другой форме более простого опыта, при котором кусок металла проводится в прямом направлении между магнитными полюсами магнита: в обоих этих случаях возбуждаются электрические токи под прямым углом к направлению движения и пересекающие последнее в точке магнитного полюса или полюсов. Это с достаточной ясностью доказывается следующим простым опытом: медная полоса толщиной в $\frac{1}{5}$ дюйма, шириной в $1\frac{1}{2}$ дюйма и длиной в 12 дюймов помещалась между магнитными полюсами, и два провода от гальванометра прикасались к ее краям, покрытым амальгамой. После этого полоса была продвинута между полюсами магнита в направлении стрелки (рис. 32). Игла гальванометра немедленно показала отклонение—ее северный, или *необозначенный*, конец отклонился к востоку, указывая

этим, что по проводу *A* проходит положительный, а по проводу *B* отрицательный ток. Ввиду того что обозначенный полюс находился сверху, этот результат вполне совпадает с результатами, полученными при помощи вращающегося диска.

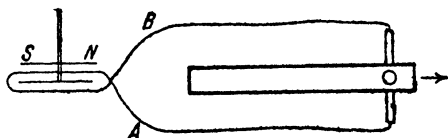


Рис. 32.

102. При обращении движения полосы стрелка гальванометра отклонялась в обратном направлении, указывая на наличие обратного тока.

103. С целью выяснения характера электрического тока в различных точках движущейся медной полосы в зависимости от их отношения к индуцирующим полюсам к частям ее, расположенным близ полюса, прикладывался лишь один коллектор, в то время как другой соединялся с концом полосы

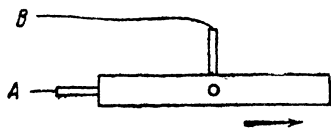


Рис. 33.

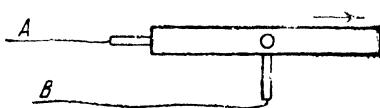


Рис. 34.

как наиболее нейтральной областью. Результаты этих опытов изображены на рис. 33—36, причем обозначенный полюс расположен над полосой. На рис. 33 *B* получает положи-

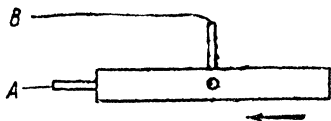


Рис. 35.

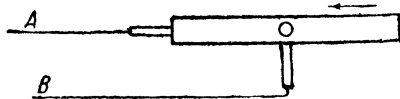


Рис. 36.

тельное электричество, на рис. 34 при движении полосы в том же направлении отрицательное электричество. При обращении движения полосы в последнем расположении (рис. 36) *B* получало положительное электричество; если же обратить движение при расположении, изображенном на рис. 33, то, как показывает рис. 35, *B* получает отрицательное электричество.

104. Если полосы предварительно располагались вне полярной оси и передвигались так, как изображено на рис. 37, то наблюдались те же эффекты, но в несколько более слабой степени.

105. Когда магнитные полюсы соприкасались и медная полоса проводилась между кондукторами вблизи этого места, наблюдался лишь незначительный эффект. Когда полюсы настолько раздвигались, что между ними можно было просунуть игральную карту, эффект несколько усиливался, но оставался весьма незначительным.

106. Если покрытая амальгамой медная проволока толщиной в 48 дюймов протягивалась между кондукторами к полюсам (п. 101), то получаемый эффект был весьма значителен, хотя и не столь велик, как в опыте с медными полосами.

107. Если кондукторы удерживались постоянно приложенными к той или иной части медных полос и совместно с ними проводились между магнитными полюсами, то получаемые эффекты были подобны описанным выше в согласии с результатами, полученными в опытах с вращающимся диском (п. 94).

108. Если кондукторы прикладывались к концам полос и последние затем проводились между магнитными полюсами в направлении, поперечном к их длине, то получался подобный же эффект (рис. 38). Части полос, расположенные у концов, могут рассматриваться либо как простые проводники, либо как части металла, в которых в зависимости от их расстояния и от силы магнита возбуждаются электрические токи. Полученные же результаты вполне совпадали с прежними. Эффект был так же силен, как и в том случае, когда кондукторы прикладывались к боковым сторонам полос (п. 101).

109. Даже когда между полюсами проводился простой кусок провода, соединенный с гальванометром, то гальванометр уже давал отклонение; когда же проволока многократно проводилась взад и вперед так, чтобы вызываемые

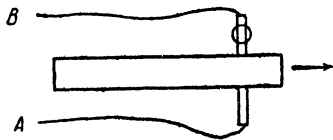


Рис. 37.

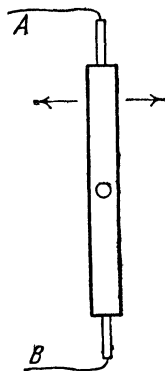


Рис. 38.

импульсы совпадали с колебаниями гальванометра, то отклонения последней доходили до 20 и 30° с каждой стороны магнитного меридиана.

110. Если концы металлической полосы соединялись с проводами гальванометра и затем полоса проводилась между полюсами в направлении своей длины, как на рис. 39, то гальванометр не показывал никакого эффекта. Однако стрелка немедленно отклонялась, как только движение производилось в поперечном направлении.

111. Подобные же эффекты удавалось получать также и с помощью электромагнитных полюсов магнитов, полученных при помощи медной проволоки, изогнутой в виде винта или спирали с сердечником из мягкого железа или же без такового (пп. 39, 54). Эффект в отношении направления был тем же самым в обоих случаях, но действие было гораздо сильнее при употреблении железных сердечников.

112. Когда плоская спираль проводилась между полюсами, то на гальванометре отмечалось своеобразное действие: стрелка сначала стремительно отклонялась в одну сторону, затем сразу останавливалась, как бы натолкнувшись на препятствие, и затем немедленно возвращалась в исходное положение. Когда спираль проводилась между полюсами сверху вниз или снизу вверх, то стрелка отклонялась в том же направлении, затем внезапно останавливалась и возвращалась на прежнее место. При проведении между полюсами той же спирали, но полуповернутой в собственной плоскости, стрелка отклонялась в обратном направлении, но также внезапно останавливалась и возвращалась обратно, как и в предыдущих случаях. Это явление объясняется тем, что обе половины спирали (разделенные линией, проходящей через ее центр перпендикулярно к направлению движения) действуют в обратных направлениях; отклонение же стрелки в одну и ту же сторону независимо от направления, в котором спираль проводилась между полюсами, объясняется тем, что при перемене направления движения направление витков в приближающейся к полюсам половине спирали также изменялось. Эти явления, кажущиеся на первый взгляд

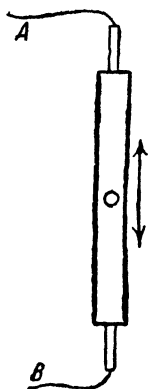


Рис. 39.

столь необыкновенными, с легкостью могут быть объяснены действием отдельных проводов (пп. 40, 109).

113. Несмотря на то, что во всех опытах с вращающимся диском, проводами и металлическими полосами мы первоначально пользовались большим магнитом, принадлежащим Королевскому обществу, однако все они были затем повторены при помощи пары полосовых магнитов длиной в 1 фут, шириной в $1\frac{1}{2}$ дюйма и толщиной в $\frac{1}{2}$ дюйма и более точно работающего гальванометра (п. 87). Полученные результаты были чрезвычайно интересны. Железные электромагниты, изготовляемые гг. Моль, Генри и др. (п. 57), очень мощны. При производстве опытов с различными веществами чрезвычайно важно избегать термоэлектрических эффектов, вызываемых прикосновением пальцев и т. п., или же во всяком случае строго их учитывать. Эти эффекты легко отличимы благодаря их постоянству и независимости от магнитов или направления движения.

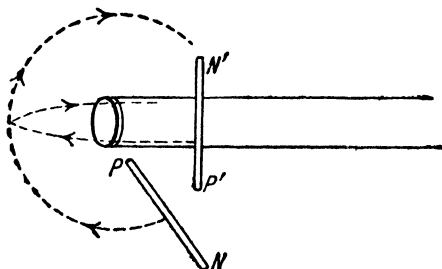


Рис. 40.

114. Зависимость, существующая между магнитным полюсом, движущимся проводом или металлом и направлением движения возбужденного тока, т. е. закон, управляющий возбуждением электричества при помощи электромагнитной индукции, чрезвычайно проста, хотя и трудно поддается описанию. Если на рис. 40 PN представляет горизонтальный провод, проходящий около обозначенного полюса таким образом, что направление его движения совпадает с кривой линией, идущей снизу вверх, если он движется параллельно самому себе касательно к вертикальной пунктирной кривой, но опять-таки в направлении стрелки или каким-нибудь другим образом, но так, что он в том же направлении или на той же стороне пересекает магнитные кривые*, в кото-

* Под магнитными кривыми я разумею линии магнитных сил, которые могут быть весьма разнообразны в зависимости от расположения полюсов и по которым располагаются железные опилки, или же линии, к которым направления очень маленькой магнитной стрелки образуют касательные.

рых они пересекаются проводом, когда он движется вдоль пунктирной линии, то направление тока электричества в проводе будет от P к N . Если направление его движения будет обращено, то электрический ток пойдет от N к P . Если же вертикальный провод $P'N'$ будет двигаться в том же направлении, вдоль пунктирной горизонтальной кривой, пересекая магнитные кривые на той же стороне, то ток будет идти от P' к N' . Если представить себе провод как касательную к поверхности цилиндрического магнита, касательную, перемещающуюся вокруг последнего в какое-либо иное положение, или же представить себе, что магнит сам

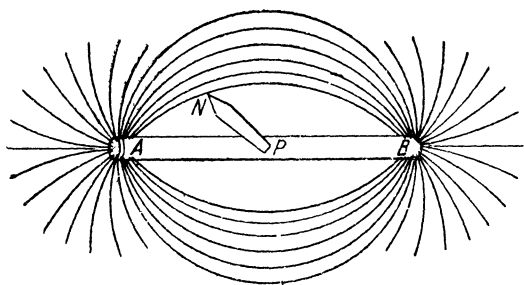


Рис. 41.

оборачивается вокруг своей оси так, что провод оказывается касательным к некоторой противолежащей ему части магнита, если после этого перемещать провода в каком-либо из указанных направлений, то ток будет идти от P к N , если же в обратном направлении, то от N к P . Таким образом движения проводов вокруг полюса могут быть сведены к двум диаметрально противоположным, из которых одно вызывает ток, идущий от P к N , а другое — ток, идущий от N к P .

115. То же самое остается справедливым и для необозначенного магнитного полюса. Когда он занимает место полюса, указанного на рис. 40, то при перемещении проводов в направлении стрелок движение тока электричества будет от N к P ; когда же провода перемещаются в обратном направлении, ток будет идти от P к N .

116. Из изложенного следует, что направление тока электричества, возбуждаемого в металле при движении

последнего вблизи магнита, зависит всецело от отношения металла к результирующей магнитного действия или к магнитным кривым и может быть в более доступной форме изображено следующим образом: пусть AB (рис. 41) будет цилиндрический магнит, причем A изображает обозначенный, а B — необозначенный полюс; пусть PN будет клинок серебряного ножа, положенного поперек магнита так, что лезвие его обращено вверх, а клейменная сторона к полюсу A . Тогда независимо от того, в каком положении и направлении мы будем двигать нож лезвием вперед, вокруг обозначенного или необозначенного полюса, направление возбуждаемого тока электричества будет от P к N , если только пересекаемые ножом и исходящие от A кривые будут встречать нож на клейменной стороне, а исходящие из B — на неклейменной. Если же клинок будет двигаться тупой стороной вперед, то ток во всех возможных направлениях и положениях будет идти от N к P , при условии, что пересекаемые кривые будут сходиться на сторонах клинка тем же самым образом, что и раньше. Нетрудно построить небольшую модель, в которой магнит будет заменен небольшим деревянным цилиндром, лезвие ножа — куском картона, а магнитные кривые — проволокой, соединяющей между собой концы цилиндра и проходящей сквозь отверстие в картоне. При помощи этой модели легко получить результат для любого возможного направления.

117. Когда провод, подвергаемый индукции, проходит мимо полюса электромагнита, например, мимо конца спирали из медной проволоки, через которую проходит электрический ток (п. 34), то направление тока в приближающемся проводе будет то же, что и направление тока в частях или сторонах обращенных к нему витков, а направление тока в удаляющемся проводе будет обратным направлением в этих частях.

118. Все эти результаты указывают на то, что способность возбуждать электрический ток проявляется вокруг магнитной результирующей или силовой оси подобно тому, как электрический ток возбуждает магнетизм вокруг себя.

119. Вышеописанные опыты доказывают, что когда кусок металла (это справедливо относительно всех проводящих веществ) проводится мимо одного полюса или между обоими полюсами магнита, или вблизи электромагнитных полюсов

(независимо от того, будут ли они железными или нет), то в металле возбуждаются электрические токи, поперечные к направлению движения и которые, следовательно, в опыте Араго будут приближаться к направлению радиусов. Если отдельный провод будет вращаться вблизи магнитного полюса подобно спице колеса, то в нем возбуждается электрический ток в продольном направлении. Если представить себе колесо, состоящее из большого числа подобных спиц, и вообразить себе это колесо вращающимся вблизи полюса подобно медному диску (п. 85), то при прохождении каждой спицы мимо полюса в ней будет возбуждаться электрический ток. Если предположить, что спицы соприкасаются своими сторонами, то получится медный диск, в котором токи будут идти в тех же направлениях, лишь модифицированных под влиянием взаимодействия между частицами, которые в этом случае будут находиться в металлическом контакте.

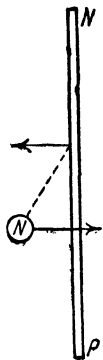


Рис. 42.

120. Теперь, когда существование этих токов доказано, для объяснения явлений, открытых Араго, нет необходимости прибегать к гипотезе о возбуждении в приближающейся к полюсу части меди обратной полярности и соответствующей ей диффузно расположенной, одноименной (п. 82). Достижение и потеря диском этого состояния в конечный промежуток времени также не имеет особого значения. С другой стороны, допущение существования отталкивательной силы как причины вращения также не представляется необходимым (п. 82).

121. Этот эффект по своей природе в точности соответствует тем электромагнитным вращениям, которые мне удалось открыть несколько лет тому назад*.

Согласно произведенным тогда опытам, которые затем были многократно подтверждены, если провод (PN , рис. 42) будет соединен с положительным и отрицательным концами вольтовой батареи так, что положительное электричество будет проходить от P к N , и если обозначенный магнитный полюс будет помещен вблизи провода между последним и наблюдателем, то полюс будет двигаться вправо, касательно к проводу, провод же будет двигаться касательно

* *Quarterly Journal of Science*, vol. XII, pp. 74, 186, 283, 416.

к полюсу влево, в направлении стрелки. Это в точности повторяет то, что происходит при вращении диска под магнитным полюсом; ибо, если предположить, что N (рис. 43) есть обозначенный магнитный полюс над диском, вращающимся в направлении стрелок, то окажется, что немедленно возбуждаются токи положительного электричества, текущие из центральных частей в направлении радиусов мимо полюса к частям a , расположенным на периферии по другую сторону полюса (пп. 99, 119). В этом случае токи находятся в том же отношении к полюсу, как и в случае тока в проволоке PN (рис. 42), так что полюс движется вправо.

122. Если вращение диска совершается в обратную сторону, то электрические токи проходят в обратном направлении (п. 91) и, следовательно, полюс движется влево. Если употреблять полюс противоположного знака, то эффекты остаются теми же, т. е. происходят в том же направлении, ибо возбуждаются электрические токи, обратные вышеописанным, а при одновременном обращении полюсов и токов видимый эффект остается неизменным. Если только тот же полюс прилагается к той же стороне диска, то независимо от положения оси магнита возбуждаемый электрический ток будет иметь то же направление согласно выведенному выше (п. 114 и т. д.) закону, и таким образом получает свое объяснение всякое обстоятельство, касающееся направления движения.

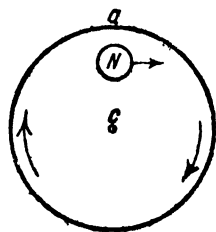


Рис. 43.

123. Эти токи *разряжаются* или *замыкаются* через части диска, расположенные по обе стороны от полюса и в отдалении от него, где магнитная индукция, естественно, будет слаба. Когда же мы применяем коллекторы и ток электричества устремляется к гальванометру (п. 88), то наблюдаемое в последнем отклонение есть лишь повторение вращательного эффекта, вызываемого током или его частью в магните, находящемся над диском.

124. Заявляя, что я не вижу необходимости в том, чтобы достижение или потеря диском своего состояния совершалось в конечный промежуток времени (п. 120), я исходил из вышеизложенной точки зрения, ибо независимо от того, достигает ли ток своего полного развития непосредственно

под самим вертикальным полюсом или же несколько позади или впереди этого пункта, относительное движение полюса и диска остается тем же самым, ибо результирующая сила действует фактически касательно, а не прямо¹.

125. Однако возможно (хотя это и не есть необходимое условие для вращения), что для развития максимального тока в диске необходимо время. В таком случае результирующая всех сил будет опережать магнит в случае вращения диска и отставать от магнита в случае вращения последнего. Некоторые эффекты, полученные в опытах с чисто электромагнитными полюсами, повидимому, подтверждают правильность этого предположения. В таком случае касательная сила может быть разложена на две силы, из которых одна параллельна плоскости вращения, а другая ей перпендикулярна. Первая будет силой, вызывающей вращение диска при вращении магнита, или, наоборот, вторая будет отталкивательной силой, повидимому, той, действие которой было открыто г-ном Араго (п. 82).

126. Теперь мы можем дать исчерпывающее объяснение необычайного и до ныне не могущего быть объясненным обстоятельства, что при прекращении движения магнита и металла все явления взаимодействия исчезают. Именно, в этом случае наблюдается полное прекращение электрических токов, вызывавших движение.

127. Все явления, наблюдаемые при нарушении металлической непрерывности, описанные Баббеджем и Гершелем*, а именно наблюдаемое в этом случае уменьшение действия, теперь получают правильное объяснение, равно как и восстановление силы по заполнении разрезов металлическими веществами, которые, будучи хотя и проводниками электричества, все же обладали лишь малой силой воздействия на магниты. Могут быть также разработаны новые методы разрезания дисков, которые приводят к почти полному уничтожению этого действия. Например, если на краю медного диска (п. 81) вырезать кольцо размером в $\frac{1}{5}$ или $\frac{1}{6}$ ее диаметра, затем укрепить последнее на том же месте, оставив, однако, промежуток толщиной в лист бумаги (рис. 44), и повторить с такого рода сложным диском

¹ „Direct“; под этим термином Фарадей разумеет направление линии, соединяющей полюса. (Ред.)

* *Phil. Transact.*, 1825, p. 481.

опыт Араго так, чтобы вырезанная часть все время находилась против полюса, тогда, очевидно, что электромагнитные токи будут в значительной мере нарушены, и диск, по всей вероятности, потеряет значительную долю своего действия*. Мне удалось получить простой результат такого рода, пользуясь двумя толстыми кусками меди,

обладающими формой, изображенной на рис. 45. После того как края их, расположенные рядом, были покрыты амальгамой и наложены друг на друга и все это устройство проводилось между полюсами магнита, по проводам, прикрепленным к внешним углам пластинок, проходил электрический ток, и гальванометр показывал сильное отклонение. Однако если между ними

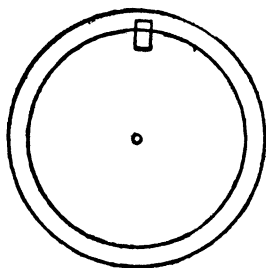


Рис. 44.

прокладывался листок тонкой бумаги, то при повторении опыта не удавалось обнаружить никакого эффекта.

128. Подобный вырез не мог бы заметно нарушить магнитную индукцию обычного рода, какая наблюдается в железе, если бы она имела место.

129. Эффект вращения или отклонения стрелки гальванометра, достигнутый г-ном Араго при помощи обычных магнитов, был получен г-ном Ампером с помощью электромагнитов. Это полностью согласуется с результатами касательно вольтаэлектрической и магнитоэлектрической индукций, описанными в этой статье.

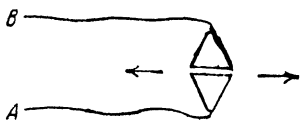


Рис. 45.

Применяя вместо обычных магнитных полюсов (п. 111) плоские спирали из медной проволоки, через которые проходил ток, и прикладывая иногда одну из них к одной стороне вращающегося диска, а иногда две по противоположным сторонам, мне удавалось получить индуцированные токи в самом диске, отвести их в гальванометр и с помощью последнего удостовериться в их существовании.

* Этот опыт был поставлен г-ном Кристи, и полученные результаты совпадают с указанными. Он описан в *Philosoph. Transactions* за 1827 г., р. 82.

130. Найденная нами причина, вызывающая вращения, наблюдаемые в опыте Араго, а именно, возбуждение электрических токов, оказывается вполне достаточной во всех случаях, где мы имеем дело с металлами и даже с проводниками иного рода. Что же касается таких тел, как стекло, смола и, в особенности, газы, то представляется невероятным, чтобы токи электричества, способные вызвать подобные эффекты, могли быть возбуждены в этих телах. Однако Араго нашел, что означенные эффекты были возбуждаемы этими, равно как и вообще всеми телами, подвергающимися исследованию (п. 81). Правда, Баббеджу и Гершелю не удалось получить их ни с одним из неметаллических веществ кроме угля, отличающегося высокой проводимостью (п. 52). Г-н Гаррис наблюдал этот эффект с деревом, мрамором, камнем и нагретым стеклом, но не получил никаких результатов с серной кислотой и насыщенным раствором железного купороса, которые сами по себе являются лучшими проводниками электричества, чем ранее перечисленные вещества.

131. Дальнейшие исследования без сомнения прольют свет на эти вопросы и выяснят, всегда ли это тормозящее или тянущее действие сопровождается одновременным возбуждением электрических токов*. Тот факт, что это действие наблюдается в металлах лишь одновременно с наличием в них электрического тока, т. е. движения (пп. 82, 88), и объяснение, данное нами отталкивательному действию, наблюдаемому г-ном Араго (пп. 82, 125), вполне достаточны для того, чтобы объяснить их существование именно этой причиной, хотя иногда к ней присоединяются также и другие, которые в некоторых случаях действуют самостоятельно.

132. В меди, железе, олове, свинце, цинке, ртути и всех других испробованных мной металлах при их проведении между магнитными полюсами возбуждались электрические токи. Ртуть для этой цели помещалась в стеклянную трубочку. В плотном угле, отлагающемся в ретортах при перегонке каменного угля, также возбуждался ток, который

* Поставленные мной опыты убеждают меня в том, что это действие всегда вызывается возбуждением электрических токов и дает способ, при помощи которого можно всегда отличить их от действия обычного магнетизма или любой другой причины, возможно даже чисто механической или случайной, вызывающей подобного рода эффекты.

не получался в обыкновенном древесном угле. Мне не удалось также получить заметных результатов с рассолом, серной кислотой, растворами солей и др., причем эти жидкости приводились во вращение в чашках или заключались в трубки и в таком виде проводились между полюсами.

133. Мне никогда не удавалось получить никакого ощущения на языке при помощи проводов, соединенных с кондукторами, приложенными к краям вращающегося диска (п. 88) или к полоскам металла. Так же безрезультатными оказались мои попытки накалить тонкую платиновую проволоку, вызвать появление искры или сокращение лапки лягушки. Полученное таким образом электричество также не производило никакого химического действия (пп. 22, 56).

134. Ввиду того что электрический ток во вращающемся диске занимает лишь незначительное пространство, проходя мимо полюсов и разряжаясь справа и слева на сравнительно небольших расстояниях (п. 123), так как он существует в толстой массе металла, обладающего почти наивысшей проводимостью и представляющего вследствие этого наиболее благоприятные условия для его возбуждения и разрядов, так как, несмотря на все это, токи значительной силы могут быть отведены с помощью тонких проводов длиной в 40, 50, 60 и даже 100 футов, то представляется несомненным, что ток в диске, приведенном в быстрое вращение и подвергнутом действию сильного магнита, должен обладать большой силой. Это доказывается также легкостью, с которой магниты в 10 и 12 фунтов весом следуют за движением диска, сильно перекручивая поддерживающую их веревку.

135. Я сделал две грубые попытки сконструировать *магнитоэлектрические* машины¹. В одной из них вырезанное из толстой медной пластинки кольцо шириной в 1¹/₂ дюйма и с внешним диаметром в 12 дюймов было укреплено таким образом, что могло вращаться между полюсами магнита и заменяло полосу, употреблявшуюся в предыдущих опытах (п. 101), на полосу, замкнутую на себя. Внутренний и внешний края этого кольца были покрыты амальгамой и к каждому из них в точке магнитных полюсов были приложены

¹ 5 декабря 1831 г. Первая сильная магнитоэлектрическая машина была построена Пиксии в 1832 г.; см. *Ann. de Chimie et de Physique*, т. 51, стр. 72. Эта машина была усовершенствована Ампером, прибавившим коммутатор, и Штерером (Stöhrer), который закрепил магнит и сделал подвижными катушки. (Ред.)

кондукторы. Согласно показаниям гальванометра получаемый электрический ток был не сильнее, а может быть и слабее тока, возбуждаемого в диске (п. 88).

136. В другой машине небольшие толстые диски из меди и других металлов диаметром в $1/2$ дюйма подвергались быстрому вращению вблизи полюсов, однако так, чтобы ось вращения не совпадала с полярной осью. Электричество собиралось кондукторами, укрепленными, как и раньше, на краях (п. 86). Возбуждаемые токи оказывались значительно слабее токов, ранее получавшихся от диска.

137. Последний опыт аналогичен опытам, произведенным господином Барлоу с вращающимся железным шаром, подверженным воздействию земного магнетизма*. Баббедж и Гершель объяснили полученные ими результаты той же причиной, которой они объясняли опыт Араго**. Было бы интересно знать, в какой мере получаемый, быть может, в этом опыте электрический ток является причиной отклонения гальванометра. Простого передвижения шесть или семь раз медного провода очень близко от полюсов магнита и изохронно с колебаниями стрелки гальванометра, соединенной с ним, было достаточно для того, чтобы вызвать отклонения по дуге в 60 или 70° . Опыт с вращением медного шара может помочь разрешению этого вопроса и возможно даже пролить свет на причину более основательных хотя лишь в известной степени аналогичных опытов г-на Кристи.

138. Сказанное нами выше относительно железа (п. 66) и отсутствие связи между обычными магнитными явлениями, наблюдаемыми в этом металле, и вышеописанными явлениями магнитоэлектрической индукции в железе и других металлах, полностью подтверждалось многочисленными опытами, подобными описанным в настоящей статье. Если железная полоса, подобная описанной выше медной, проводилась между магнитными полюсами, то в ней, так же как и в медной полосе, возбуждался ток электричества, но определенно более слабый. В опытах же с индукцией электрических токов мне не удалось обнаружить никакого *качественного* различия между действием железа и других металлов. Поэтому способность железа увлекать за собой магнит или

* *Phil. Transact.*, 1825, p. 317.

** *Ibid.*, 1825, p. 485.

тормозить магнитное действие должна быть тщательно отличаема от подобного же свойства таких металлов, как серебро, медь и др., ибо в железе большая часть наблюдаемого эффекта объясняется тем, что может быть названо обыкновенным магнитным действием. Несомненно, что в случае применения железа объяснение явления феномена Араго, данное Баббеджем и Гершелем, является правильным.

139. Наблюдения, произведенные этими физиками над висмутом и сурьмой, показали, что последние, будучи приведены в движение, оказывают лишь незначительное действие на подвешенный магнит. Это было подтверждено опытами г-на Гарриса и на первый взгляд противоречит высокой проводимости упомянутых веществ. Насколько это правильно, покажут дальнейшие опыты. Эти металлы отличаются своей кристаллической структурой и, следовательно, имеют различную проводимость в различных направлениях. Возможно поэтому, что действие такого рода неоднородного скопления кристаллов равносильно настоящему разделению (п. 127). Возможно также, что электрические токи резче замыкаются на границах подобного рода кристаллических групп и таким образом⁴ легче и полнее разряжаются внутри самой массы*.

Примечание. Вследствие продолжительного времени, протекшего между моим докладом и напечатанием этих исследований, сведения о моих опытах получили распространение и посредством моего письма к г-ну Ашетту (*Hachette*) достигли Франции и Италии. Это письмо было переведено (не без ошибок) и зачитано на заседании парижской Академии наук 26 декабря 1831 г. Номер газеты *Le Temps* от 28 декабря быстро дошел до синьора Нобили, который совместно с синьором Антинори немедленно произвел соответствующие опыты и получили многие из результатов упомянутых в моем письме. Остальное им не удалось проделать или понять благодаря краткости моего описания. Эти результаты, полученные синьорами Антинори и Нобили, были изложены в статье, датированной 31 января 1832 г.

* Впоследствии мне удалось дать объяснение этого различия и доказать на многих металлах, что эффект действительно пропорционален электрической проводимости. Мне удалось получить путем магнитоэлектрической индукции токи, пропорциональные по своей силе проводящей способности подвергавшихся изучению тел (Королевский институт, ноябрь 1831 г.).

и напечатанной в номере *Antologia*, датированном ноябрем 1831 г. (если судить по оттиску, любезно пересланному мне синьором Нобили). Ясно, что эта работа могла быть напечатана в 1831 г.; и хотя синьор Нобили ссылается на текст моего письма, из которого он исходил в своих опытах, однако это датирование задним числом привело многих, узнавших об опытах Нобили не по первоисточнику, к мнению о приоритете Нобили, хотя его результаты зависели от моих.

Я считаю поэтому себя вправе заметить, что я экспериментировал в этой области уже несколько лет тому назад и что результаты этих опытов были опубликованы (*Quarterly Journal of Science*; 1825, р. 338). Следующие абзацы являются выдержками из моей записной книжки, датированными 28 ноября 1825 г. „Опыты над индукцией путем замыкающего провода вольтовой батареи“: „батарея из четырех банок каждая с 10 парами расположенных вплотную пластин, полюсы соединены проводом около 4 футов длиной, параллельно которому идет другой такой же провод, отделенный от первого сложенным вдвое листом бумаги; концы второго провода прикреплены к гальванометру, действия не наблюдались и т. д. и т. д.“ „Не удалось получить от замыкающего батарею провода никакой индукции“. Причина неудачи в настоящее время очевидна.

Апрель 1832 г.

М. Ф.

В сочинении д-ра Bence Jones „*The Life and Letters of Faraday*“, 1870, приводится (т. II, стр. 18-20) письмо Фарадея к Гей-Люссаку, относящееся к концу 1832 г. Содержание этого письма совпадает с тем, о чем пишет Фарадей в своем примечании. (*Ред.*)

ИДЕНТИЧНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСТВ; ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

(Том I, третья серия¹, § 7.)

265. Мои исследования в области электричества, о которых я уже имел честь докладывать Королевскому обществу,

¹ Третья серия является введением к электрохимическим исследованиям Фарадея.

Фарадей столь подробно останавливается на вопросе о тождестве различных видов электричества, чтобы иметь возможность обосновать важнейшее различие между металлической и электролитической проводимостями для строгого обоснования законов электролиза.

В заключительных номерах третьей серии Фарадей формулирует первый закон электрохимического разложения (п. 377). В четвертой серии устанавливается специфическое различие между металлической и электролитической проводимостями. В пятой серии подвергается критике и опровергается господствовавшее в эпоху Фарадея воззрение на механизм электрического тока в электролитах, как на *притяжение* зарядов полюсами. Шестая серия, посвященная вопросу о способности металлов и других твердых тел соединять между собой газы, является введением к седьмой серии, в которой окончательно формулируются основные законы электролиза. В последней — восьмой — серии электрохимических исследований Фарадей дает теорию вольтова столба, и, в частности, рассматривает важный вопрос, является ли различие металлической и электролитической проводимости абсолютным или же относительным. Фарадей высказывается в последнем смысле. Хотя эта точка зрения подвергалась критике (Оствальд, Гельмгольц и др.), тем не менее можно в настоящее время утверждать, что Фарадей оказался прав. Особенно интересным в этом отношении является открытое Варбургом (1884 г.) и подтвержденное рядом других исследователей (Иоффе, Лукирский) существование твердых электролитов (например, стекло). Установлено отчетливым образом, что в некоторых твердых телах ток носит смешанный характер, т. е. в нем участвуют электроны и ионы. Мы имеем, таким образом, класс переходных тел от металлов к электролитам. (Ред.)

достигли такого момента в своем развитии, когда для дальнейшей плодотворной работы необходимо было окончательно выяснить вопрос об идентичности природы электричеств, получаемых различными путями. Действительно, Кавендиш*, Волластон**, Колладон*** и др. способствовали устранению некоторых важнейших возражений, мешавших признать идентичность природы обыкновенного, животного и вольтова электричества, и я думаю, что ныне большинство физиков действительно убеждены в идентичности их природы. Однако, с другой стороны, нельзя не считаться с тем, что точность опытов Волластона была подвергнута сомнению****, и один из этих опытов, который в действительности вовсе не является доказательством химического разложения при помощи электричества (пп. 309, 327), обычно считается таковым. Кроме того, хорошо известно, что многие физики еще и поныне проводят различие между электричествами, происходящими из различных источников, или, во всяком случае, сомневаются в том, что идентичность их природы является вполне доказанной. Например, Гемфри Дэви в своей статье, посвященной электрическому скату*****, считает вероятным, что животное электричество является особым видом электричества, и, сравнивая его с обыкновенным электричеством, вольтовым электричеством и магнетизмом, замечает: „при исследовании всех многообразных изменений и свойств, коими обладает электричество, в этих разнообразных формах могут встретиться также и другие различия и т. д. Действительно, достаточно обратиться к последнему тому *Philosophical*

* *Phil. Trans.*, 1776, p. 196,

** *Ibid.*, 1801, p. 434.

*** *Annales de Chimie*, 1826, p. 62.

**** *Phil. Trans.*, 1832, стр. 282, ссылка.

***** *Phil. Trans.*, 1829, стр. 17. „Обыкновенное электричество возбуждается на непроводниках и легко переносится посредством дурных и хороших проводников. Вольтово электричество получается путем комбинации хороших и дурных проводников и передается лишь посредством хороших или не особенно дурных проводников. Магнетизм, если он является формой электричества, присущ лишь хорошим проводникам и, в своих модификациях, особому классу таких проводников (Ричи в *Phil. Trans.*, 1832, стр. 294, показал, что это не так). Животное электричество пребывает лишь в дурных проводниках, являющихся органами живых организмов и т. д.“

Transactions, чтобы убедиться в том, что вопрос этот никак нельзя считать разрешенным*.

266. Несмотря на то, что различные виды электричества в общем обычно считаются идентичными по своей природе, доказательства, говорящие в пользу этого предположения, нельзя признать достаточно ясными и бесспорными. Эта задача кажется мне имеющей много общего с той, которая была столь блистательно разрешена сэром Гемфри Дэви, а именно, — во всех ли случаях вольтово электричество при своем воздействии на воду лишь выделяет уже находящиеся в последней кислоты и щелочи или же в некоторых случаях оно их действительно порождает.

Та же необходимость, которая заставила его искать разрешения этого спорного вопроса, являвшегося препятствием для дальнейшего развития его теории и подвергавшего сомнению правильность полученных им результатов, понудила также и меня исследовать, являются ли обыкновенное и вольтово электричества идентичными или различными по своей природе. Я убедился в том, что они иден-

* *Phil. Transact.*, 1832, p. 259. Результаты, полученные доктором Дэви в его опытах над электрическим скатом (*Ann. of Phil.*, XXVII, стр. 542), ничем не отличаются от эффектов, вызываемых обыкновенным или вольтовым электричеством. Он утверждает, что магнитная и химическая силы, присущие этой рыбе, не представляют ничего своеобразного (стр. 247); однако на стр. 275 он говорит: „Существуют также и другие точки расхождения“ и, перечислив последние, добавляет: „Чем же можно объяснить подобные различия? Должны ли мы присоединиться к теории электрического ската, выдвинутой Кавендишем, или же, по аналогии с солнечными лучами, предположить, что электрическая сила, независимо от того, возбуждается ли она обыкновенной машиной, вольтовой батареей или электрическим скатом, представляет собой не простую силу, но комбинацию сил, проявляющихся в различных сочетаниях и дающих таким образом известные нам различные виды электричества“. На стр. 279 того же тома *Phil. Transact.* начинается статья д-ра Ричи, в которой говорится: „Обыкновенное электричество распространяется по поверхности металла, вольтово электричество существует внутри металла. Свободное электричество так же хорошо проводит поверхность тончайшего золотого листочка, как и массивным металлом той же поверхности. Вольтово же электричество требует для своей передачи известной толщины металла“ (стр. 280). Далее: „Предполагаемая аналогия между обыкновенным и вольтовым электричеством, которую с момента открытия столба усердно искали, полностью в данном случае отсутствует, хотя именно здесь полагали найти наилучшее подобие“ (стр. 291).

тичны и надеюсь, что предлагаемые мной доказательства в пользу этой точки зрения, а также вытекающие из нее выводы, будут признаны Королевским обществом достаточно убедительными.

267. Для целей сравнения все многообразные электрические явления могут быть разбиты на два класса. К первому принадлежат явления, вызываемые электричеством напряжения, ко второму — вызываемые электрическим током. Я провожу это различие не потому, что оно научно, но исключительно из соображений удобства. Кроме того, действия, вызываемые электричеством напряжения, ограничиваются притяжением или отталкиванием на заметных расстояниях. В качестве действий, вызываемых электрическими токами, могут быть названы: 1) возбуждение теплоты, 2) магнетизм, 3) химическое разложение, 4) физиологические явления и 5) искры. Моей задачей является сравнение между собой электричеств, происходящих из различных источников, в особенности же обыкновенного вольтова электричества с точки зрения их способности к возбуждению этих эффектов.

1. ВОЛЬТОВО ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

268. *Напряжение.* Если исследовать концы вольтовой батареи, состоящей из 100 пар пластинок, при помощи обыкновенного электрометра, то один из них оказывается, как известно, положительным, а другой — отрицательным. Золотые листочки, поднесенные к одному из концов батареи, отталкиваются, поднесенные же к обоим противоположным концам притягивают друг друга даже в том случае, когда между ними находится слой воздуха толщиной в 1 дюйм и более.

269. Тот факт, что обычное электричество с легкостью разряжается с острий в воздух и беспрепятственно проходит сквозь сильно разреженный, а также нагретый воздух, как, например, пламя, объясняется его высоким напряжением. Ввиду этого я ожидал подобных же эффектов при разряде вольтова электричества и проверял прохождение электричества с помощью гальванометра или химического действия, возбуждаемого в приборе, описание которого будет дано ниже.

270. Вольтова батарея, служившая мне для этих опытов,

состояла из 140 пар пластин в 4 кв. дюйма, причем медные пластины были двойными. Она была полностью изолирована и вызывала в электрометре с золотым листочком отклонение, равное около $\frac{1}{3}$ дюйма. Я пытался при помощи тонких острий, весьма тщательно установленных и сближенных между собой, разрядить эту батарею в воздухе, а также под колпаком, из которого был предварительно выкачан весь воздух. Однако мне не удалось получить никаких указаний присутствия электрического тока ни через посредство магнитных, ни химических эффектов. Таким образом в этом отношении вольтово электричество ничем

не отличается от обыкновенного, ибо когда лейденская батарея (п. 291) заряжалась подобным же образом, т. е. так, что в электрометре с золотым листочком получалось столь же сильное отклонение, эти острия оказывались не в состоянии разрядить ее в той степени, чтобы вызвать

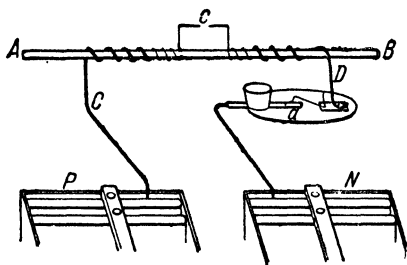


Рис. 46.

магнитное или химическое действие. Объяснение этого явления заключается не в том, что обыкновенное электричество не в состоянии вызвать эти действия (пп. 307, 310), а в том, что если интенсивность ее столь мала, то количество, необходимое для получения заметных эффектов [и которое чрезвычайно велико (пп. 371, 375)], не может быть пропущено в потребное время. Вместе с приводимыми ниже доказательствами эти действия острий подтверждают не различие, а сходство между обыкновенным и вольтовым электричествами.

271. Ввиду того что разряд обыкновенного электричества совершается через горячий воздух гороздо легче, чем через острия, я полагал, что разряд вольтова электричества также совершается подобным же образом. Поэтому я сконструировал аппарат (рис. 46), в котором *AB* представляет собой изолированный стеклянный стержень, к которому прикрепляются два медных провода *C* и *D*. К ним припаяны два куска тонкой платиновой проволоки, которые в точке *e* подходят так близко одна к другой, насколько

это возможно без соприкосновения. Провод *C* соединен с положительным полюсом вольтовой батареи *P*, а провод *D* с аппаратом для разложения (пп. 312, 316), при помощи которого было замкнуто соединение с отрицательным полюсом *N* батареи. Для этого опыта были взяты лишь две банки или 20 пар пластин.

272. В этом состоянии в *a* не наблюдалось никакого разложения, однако последнее тотчас же начиналось, как только к концам платиновых проволок в точке *e* подносилось пламя спиртовой горелки, доводившее их до красного каления. В точке *a* тотчас же появлялся иод, и таким образом переход электричества через нагретый воздух был доказан. При повышении температуры концов при помощи паяльной трубки разряд совершался еще легче, и разложение происходило мгновенно. При удалении источника теплоты ток тотчас же прекращался. Наблюдаемые явления протекали еще быстрее в том случае, когда проволоки устанавливались без соприкосновения параллельно друг другу на возможно близком расстоянии одна от другой. При применении более мощной батареи (п. 270) явления наблюдались более четко.

273. Когда аппарат для разложения убирался и вместо него включался гальванометр, то нагревание концов острий вызывало моментальное отклонение стрелки. Если же в течение времени, потребного для возвращения последней в исходное положение (п. 302), источник теплоты удалялся, то отклонение сразу становилось слабее, что является доказательством наличия тока, проходившего через воздух. Однако применяемый мной инструмент оказался не столь чувствительным к химическому действию.

274. Эти явления, которые в подобной форме не были до сих пор известны или являются для нас неожиданными, представляют собой лишь примеры разряда, происходящего через воздух между угольными остриями мощной батареи, когда последние после соприкосновения медленно разъединяются¹. В рассматриваемом случае прохождение тока через нагретый воздух в точности подобно таковому в случае обыкновенного электричества, и Гемфри Дэви утверждает, что ток применявшейся им батареи Королевского института

¹ Впервые „вольтова“ дуга была получена В. Петровым 23 ноября 1802 г. (Ред.)

проходит через слой воздуха толщиной по меньшей мере в 4 дюйма*. В сосудах, из которых воздух был предварительно выкачан, электричество проходило через промежуток, почти равный дюйму, а соединенное действие разрежения и нагревания воздуха, заключенного в сосуде, было столь велико, что воздух оказывался в состоянии проводить электричество на расстоянии от 6 до 8 дюймов.

275. Моментальное заряджение лейденской батареи через полюсы вольтова аппарата является еще одним доказательством напряжения, а также количества развиваемого в последнем электричества. Сэр Гемфри Дэви говорит **: „Когда оба проводника, прикрепленные к концам аппарата, соединялись с лейденской батареей, причем один соединялся с ее внешней, а другой — с внутренней обкладкой, то батарея мгновенно заряжалась, и после удаления провода и установления необходимого контакта удавалось наблюдать удар или искру. Самого кратковременного прикосновения оказывалось достаточно для восстановления заряда во всей его силе.

276. *Вольтово электричество в движении. I. Развитие теплоты.* Возбуждение теплоты в проводах и жидкостях при помощи тока вольтовой батареи является общеизвестным фактом.

277. II. *Магнетизм.* Нет явления, лучше знакомого физикам, чем свойство вольтова тока отклонять магнитную стрелку и создавать магниты согласно известным законам. Этот эффект является наиболее характерным для электрического тока.

278. III. *Химическое разложение.* Химическое действие вольтова тока и зависимость его от определенных законов также достаточно известны.

279. IV. *Физиологические эффекты.* Чрезвычайно характерной для вольтова тока является его способность в тех случаях, когда он достаточно силен, потрясать весь организм животного, а в тех случаях, когда он слаб, действовать на язык и глаза.

280. V. *Искры.* Сверкающие искры, выскакивающие при разряде вольтовой батареи, почитаются всеми как пример прекраснейшего искусственного света.

* *Elements of Chemical Philosophy*, стр 153.

** *Ibid.*, стр. 154.

281. Всем известно, что эти эффекты могут почти бесконечно варьироваться, обнаруживаясь то в более сильной, то слабой форме, и все же никому не придет в голову сомневаться в идентичности природы столь разнообразных в своих действиях электрических токов. Прекрасное объяснение этих вариаций, данное Кавендишем в его теории количества и интенсивности, ныне не нуждается в защите, ибо не подвергается более сомнению.

282. Ввиду того что в дальнейшем изложении мы проводим сравнение между проволоками, проводящими вольтово и обыкновенное электричества, а также ввиду некоторых воззрений относительно состояния проволок, соединяющих

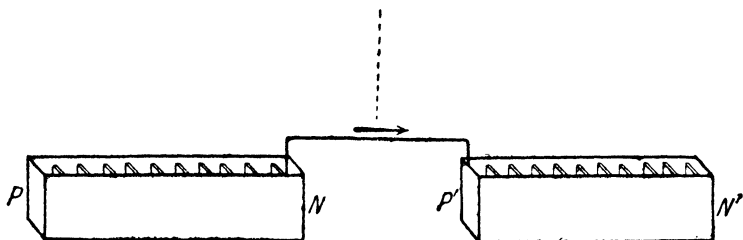


Рис. 47.

полюсы вольтовой батареи или же проводящих вещества иного рода, я полагаю необходимым дать определение вольтового тока в противоположность всякому иному особому, не прогрессивному, а статическому, заключающемуся в известном порядке расположения, состоянию, которое может быть предположено для провода или электричества, заключенного в последнем.

Если симметрично установить и изолировать две вольтовы банки PN и $P'N'$ (рис. 47) и соединить концы NP' проводом, над которым подвешена магнитная стрелка, то этот провод не окажет никакого действия на стрелку; если же соединить другим проводом также концы PN' , то стрелка отклонится, причем отклонение будет продолжаться, пока цепь будет оставаться замкнутой. Если предположить, что действие банок заключается лишь в том, что они возбуждают в проводах особое распределение их частиц или заключенного в них электричества и если бы магнитное или электрическое состояние исчерпывалось этим расположе-

нием, то состояние расположения в проводе NP' до соединения P и N' и после такового должно было быть одинаковым, и стрелка должна была бы испытать отклонение также и в первом случае, хотя возможно и более слабое, например, лишь половину того, которое наблюдается при полном замыкании. Если же предположить, что магнитные действия зависят от тока, тогда становится ясным, что они не могли быть возбуждены до замыкания, ибо до замыкания ток отсутствовал.

283. Под *током* я разумею нечто распространяющееся, будь то электрический флюид или два движущиеся в противоположных направлениях флюида, или только колебания, или, выражаясь еще более обще, распространяющиеся силы. Под *расположением* я понимаю местное, не прогрессирующее распределение частиц, жидкостей или сил. Существует много других доказательств в пользу теории *тока*, а не теории *расположения*, однако в настоящей статье я тщательно избегаю тех ненужных подробностей, которые могут быть предоставлены другим.

2. ОБЫКНОВЕННОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

284. Под обыкновенным электричеством я разумею электричество, получаемое с помощью электрической машины из атмосферы, путем давления на кристаллы или их расщепления, а также путем различных других операций. Его основными характеристиками являются большая интенсивность и свойство притяжения и отталкивания даже на больших расстояниях.

285. *Напряжение*. Как известно, в некоторых случаях притяжение и отталкивание, производимые обычным электричеством на заметное расстояние, значительно превосходят подобные действия, производимые другими видами электричества. Однако природа этих притяжений и отталкиваний ничем не отличается от природы эффектов, описанных выше, в п. 268 под названием *напряжение, вольтово электричество*. Наблюдаемое между ними различие в силе не превышает такового в некоторых частых случаях обыкновенного электричества. Я считаю излишним вдаваться в более подробное перечисление доказательств единства природы этого свойства обоих видов электричества.

286. Разряд обыкновенного электричества через нагретый

воздух является общеизвестным фактом. Параллельное явление для вольтова электричества уже описано выше (п. 272 и др.).

287. *Обыкновенное электричество в движении. I. Возбуждение теплоты.* Всем известно, что обыкновенное электричество, проходя через провода или иные вещества, превышает их температуру. В этом пункте между ним и вольтовым электричеством наблюдается полное совпадение. На основании этого принципа г-н Гаррис сконструировал прекрасный и весьма чувствительный инструмент*, позволяющий легко продемонстрировать теплоту, развивающуюся в проводе путем разряда малого количества обыкновенного электричества. В одном из последующих пунктов (п. 344) я буду иметь случай еще вернуться к этому вопросу.

288. II. *Магнетизм.* Вольтово электричество обладает необыкновенными и мощными магнитными силами. Если обыкновенное электричество идентично вольтовому, то оно должно обладать теми же силами. В отношении намагничивания стрелок и стержней оно не уступает вольтову электричеству, и *направление* магнетизма у обоих оказывается одинаковым. Однако отклонение магнитной стрелки, производимое обыкновенным электричеством, столь незначительно, что это свойство иногда за ним вовсе отрицалось, а в других случаях для обхода трудности придумывали гипотетические различия**.

289. Г-н Колладон из Женевы полагал, что это различие объясняется недостаточным количеством обыкновенного электричества, применявшегося в опытах. В докладе, сделанном в Парижской академии в 1826 г., он описал опыт***, когда при помощи батареи, нескольких острий и чувствительного гальванометра ему удалось наблюдать отклонение стрелки и, таким образом, доказать идентичность природы обоих видов электричества также и в этом отношении. В этом докладе гг. Араго, Ампер и Савари приводятся в качестве свидетелей успешного повторения опыта. Однако отсутствие других подтверждений эффекта и то обстоятельство, что Араго, Ампер и Савари, насколько мне известно, ни-

* *Phil. Transact.*, 1827, стр. 18, *Edinb. Transact.*, 1831. Harris, On a New Electrometer etc.

** Demonferrand, Manuel d'Electricité dynamique, стр. 121.

*** *Annales de Chimie*, XXXIII, стр. 62.

когда лично не подтверждали своего согласия с результатами опыта Колладона, а также то, что никому не удавалось добиться тех же результатов, заставило усомниться в правильности опытов Колладона и отвергнуть его выводы. Потому окончательное выяснение означенного вопроса представлялось мне чрезвычайно важным. Я счастлив, что могу полностью подтвердить правильность результатов, полученных Колладоном. Я не стал бы здесь описывать эти опыты, если бы они не были столь существенны для доказательства правильности решающих и общих заключений, которые я полагаю сделать в отношении магнитной и химической деятельности электричества (пп. 360, 366, 367, 377 и пр.).

290. Электрическая машина, которой я пользовался в этих опытах, имела диск диаметром в 15 дюймов и две пары щеток; ее первый кондуктор состоял из двух латунных цилиндров, соединенных между собой третьим таким же цилиндром; общая длина их составляла 12 футов, а поверхность, соприкасающаяся с воздухом, была равна 1422 кв. дюймам. При хорошем возбуждении один оборот диска давал от 10 до 12 искр, каждая длиной в 1 дюйм. Из кондукторов можно было без труда получать искры или молнии длиной от 12 до 14 дюймов. Каждый оборот диска при среднем усилии требовал около $\frac{4}{5}$ секунды времени.

291. Электрическая батарея состояла из 15 одинаковых банок по 23 дюйма в обхвате. Обкладка доходила до 8 дюймов от основания банки, так что обложенная поверхность на обеих сторонах стекла была равна 184 кв. дюймам, не считая дна, которое было сделано из более толстого стекла и с каждой стороны имело около 50 кв. дюймов поверхности.

292. Была предусмотрена надежная отводящая система в виде металлического соединения сперва достаточно толстого провода с металлическими газовыми трубами в доме, затем с металлическими газовыми трубами лондонского газопровода и, наконец, с металлическими трубами лондонского водопровода. Она прекрасно работала, так что электричество самого слабого напряжения, даже электричество, возбужденное одной вольтовой банкой, мгновенно разряжалось, что при постановке некоторых опытов было весьма существенно.

293. Применявшийся в этих опытах гальванометр был одним из описанных выше (пп. 87, 205). Однако стеклянный

колпак, прикрывавший гальванометр, на котором была укреплена стрелка, был с внешней и внутренней сторон обложен оловянной фольгой, и лишь верхняя часть, оставленная открытой для того, чтобы дать возможность наблюдать за стрелкой, была прикрыта проволочной сеткой с многочисленными остриями. Когда это приспособление и обе обкладки были соединены с заземляющей проводкой, то даже во время полного хода машины изолированный шарик или острие, соединенные с ней и поднесенные к гальванометру на расстояние 1 дюйма, не оказывали на стрелку последнего никакого влияния притяжения или отталкивания.

294. В связи с этими предохранительными мерами необходимо заметить, что магнитное состояние иглы гальванометра весьма легко могло быть нарушено, ослаблено или даже обращено вследствие электрического разряда через инструмент.

В особенности неизбежны эти явления в том случае, когда при прохождении разряда стрелка находится в неправильном положении относительно витков катушки гальванометра.

295. Сначала, пользуясь замедляющей силой плохих проводников, я пытался заставить обыкновенное электричество принять характерные черты и свойства вольтова электричества, именно уменьшенную интенсивность при сохранении количества.

296. Покрышка и обкладка гальванометра соединялись сперва с заземляющей проводкой (п. 292), конец *B* (п. 87) гальванометра соединялся с внешней обкладкой батареи и затем оба соединялись с заземляющей проводкой; конец *A* гальванометра при помощи влажной нити длиной в 4 фута соединялся с разрядником. После того как батарея (п. 291) в результате около 40 оборотов машины оказывалась положительно заряженной, она разряжалась через разрядник, нить и гальванометр. Стрелка моментально приходила в движение.

297. Пока стрелка отклонялась в первом направлении и затем возвращалась обратно, машина приводилась в движение, и когда стрелка достигала первоначального положения, разряд снова проводился через гальванометр.

Повторяя несколько раз этот маневр, мне удалось добиться отклонения до 40° в обе стороны от исходного положения стрелки.

298. Этот эффект можно было легко вызывать по желанию. Замена тонкой нити толстым шнуром и даже четырьмя такими шнурами не отражалась на его направлении и силе. Пользуясь чувствительным гальванометром, можно было в результате разряда батареи получить прекрасное отклонение стрелки.

299. При перемене соединений гальванометра так, чтобы разряд проходил от *B* к *A*, стрелка отклонялась столь же сильно, но в обратную сторону.

300. Стрелка отклонялась в том направлении, в каком она отклоняется при прохождении через гальванометр вольтова тока, т. е. положительно заряженная поверхность электрической батареи вела себя подобно положительному концу вольтова аппарата (п. 268) и отрицательно заряженная поверхность первой — подобно отрицательно заряженному концу последнего.

301. После этого батарея выключалась, и соединение устанавливалось таким образом, что ток должен был проходить из первого кондуктора через приложенный к нему разрядный шарик, через влажный шнур и витки гальванометра в заземляющую проводку (п. 292), через которую он, наконец, и рассеивался. Этот ток мог быть прерван в любой момент либо путем удаления разрядника, либо путем приостановки работы электрической машины, либо, наконец, соединением первого кондуктора с заземляющей проводкой, при помощи второго разрядника. Этим же путем ток можно было моментально восстановить. Стрелка была установлена так, что при колебаниях средней скорости вдоль небольшой дуги для прохождения ее в одном направлении требовалось время, равное 25 ударам моих часов и, конечно, столько же для движения в обратном направлении.

302. После того как отрегулированная таким образом стрелка устанавливалась в спокойном состоянии, через гальванометр в течение 25 ударов моих часов пропускался ток непосредственно от электрической машины. Затем ток прерывался, снова возобновлялся в течение 25 ударов, снова прерывался на тот же промежуток времени и т. д. Стрелка вскоре начала заметно колебаться, и после нескольких включений тока колебания достигали 40° и более.

303. При перемене направления тока, пропускаемого через гальванометр, колебания стрелки также совершались в обратном направлении. Направление движения стрелки всегда

совпадало с направлением, получаемым в результате применения электрической батареи или вольтова аппарата (п. 300).

304. Затем я заменил влажный шнур медной проволокой так, что электричество проходило из машины в заземляющую проводку исключительно по проводам, частью которых являлись также и витки гальванометра. Эффекты при этом оставались во всем подобными прежним (п. 302).

305. Затем при проведении электричества через систему разрядник больше не приводился в соприкосновение с кондуктором, но вместо этого был снабжен четырьмя остриями; последние, когда ток должен был быть пущен, приближались к кондуктору на расстояние около 12 дюймов и удалялись, когда ток должен был быть прерван. Когда за исключением одного этого обстоятельства все остальные условия опыта оставались неизменными (п. 302), стрелка тотчас же сильно отклонялась в полном согласии с предыдущими результатами. Колладон в своих опытах всегда производил разряд при помощи острий.

306. Наконец, я пропускал электричество через стеклянный сосуд, из которого предварительно был выкачан воздух (так что в нем появлялось подобие северного сияния), и затем через гальванометр в землю. И в этом случае электричество продолжало отклонять магнитную стрелку и, повидимому, с прежней силой.

307. Из всех этих опытов выясняется с полной очевидностью, что ток обыкновенного электричества отклоняет магнитную стрелку в одинаковой степени, независимо от того, проходит ли он через воду, провода или разреженный воздух или при помощи острий через обыкновенный воздух. Единственным необходимым условием, повидимому, является достаточное время для того, чтобы его действие имело возможность проявиться. Следовательно, с точки зрения магнетизма он ведет себя подобно току вольтова электричества, и в этом отношении между ними нет никакого различия.

308. Несовершенные проводники, как, например, вода, растворы солей и т. д., являются для этой цели гораздо более пригодными, чем другие способы разряда, например, через посредство острий или шариков, ибо разряд первого рода превращает разряд мощной батареи в слабую искру, или, вернее, в непрерывный ток, при котором почти или вовсе отсутствует риск нарушить магнетизм стрелки (п. 294).

309. III. *Химическое разложение.* Химическое действие

вольтова тока характерно для этого агента, однако не более характерно, чем законы, согласно которым освободившиеся путем разложения вещества располагаются на полюсах. Волластон* показал, что в этом отношении наблюдается сходство между вольтовым и обыкновенным электричеством и что „оба в основном идентичны“. Однако в числе доказательств в пользу этого положения Волластон приводит один опыт, свидетельствующий о сходстве и только о сходстве с вольтовым разложением, что и сам Волластон частично признавал. Все же этот опыт, преимущественно перед другими более решающими опытами, которые он описывает, всегда приводится как теми, которые желают доказать существование электрохимического разложения, подобного производимому вольтовым столбом, так и другими, желающими подвергнуть это сомнению.

310. Я беру на себя смелость дать здесь краткое описание проделанных мною опытов и таким образом к свидетельству Волластона присоединить еще одно в пользу идентичности вольтова и обыкновенного электричества в отношении химического разложения. Я делаю это не только для того, чтобы облегчить повторение опытов, но также и с целью сделать несколько новых заключений относительно электрохимического разложения (пп. 376, 377).

311. Сначала я повторил четвертый опыт Волластона**, при котором концы натянутых серебряных проводов спускаются в каплю раствора медного купороса. При пропускании электричества от электрической машины через эту установку тот конец, в который электричество входило из капли, покрывался слоем металлической меди. После 100 оборотов машины получался заметный результат, после 200 результат был еще заметнее. Однако разлагающее действие было весьма слабо. Количество осадившейся меди было ничтожно, а на другом полюсе не наблюдалось заметных следов растворения серебра.

312. Гораздо более целесообразной и действительной установкой для химического разложения при помощи обыкновенного электричества является следующая. К стеклянной пластинке (рис. 48), положенной над куском белой бумаги несколько приподнято над ней во избежание теней, прикрепляются два куска оловянной фольги *a* и *b*; первый из

* *Phil. Trans.*, 1801, стр. 427, 434.

** *Phil. Trans.*, 1801, стр. 429.

них при помощи изолированного провода *c* или провода и шнура (п. 301) соединяется с электрической машиной, а другой посредством *g* соединяется с заземляющей проводкой или отрицательным кондуктором. Затем два куска

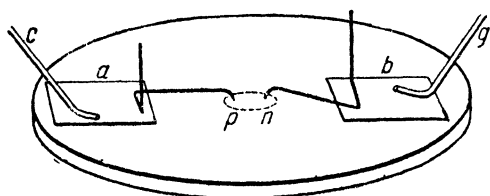


Рис. 48.

это изображено на рис. 48. Концы *p* и *n* становятся тогда разлагающими полюсами. Этим путем можно получить чрезвычайно малые поверхности соприкосновения, контакт может быть моментально прерван и вновь восстановлен, и вещества, подвергаемые воздействию, чрезвычайно легко доступны исследованию.

313. На стеклянной пластинке была проведена черта раствором сернокислой меди и в нее опущены концы *p* и *n*; фольга *a* была соединена с положительным кондуктором электрической машины. Для предотвращения проскакивания искр соединение было произведено при помощи провода и влажного шнура. После 20 оборотов машины на конце *p* осадилось такое количество меди, что провод имел вид медного. На конце *n* не наблюдалось никаких заметных изменений.

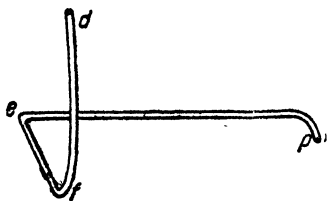


Рис. 49.

314. Смесь равных частей воды и соляной кислоты была окрашена сернокислым индиго до темносинего цвета, и большая капля этой жидкости помещена на стеклянную пластинку (рис. 48), так что противоположные концы *p* и *n* были погружены в нее. После первого же оборота машины раствор вокруг *p* побледнел в результате выделившегося хлора. После 20 оборотов на *n* не было замечено никаких изменений подобного рода, но на *p* было выделено такое количество хлора, что после перемешивания вся жидкость в капле обесцветилась.

тонкой платиновой проволоки (рис. 49), изогнутые таким образом, что часть *df* стоит почти отвесно, в то время как все опирается на три точки *p*, *e*, *f*, кладутся так, как

315. Капля раствора иодистого калия, смешанного с крахмалом, была помещена на стекло около p и n , как и в предыдущем случае. При вращении машины на p выделялся иод, а на n ничего.

316. Дальнейшее усовершенствование этого аппарата состоит в том, что раствором, подвергающимся исследованию, смачивается кусок пропускной бумаги, который затем помещается на стекло под концы p и n . Бумага удерживает выделяющиеся в этих точках вещества, благодаря же ее белизне всякое изменение цвета сразу становится заметным; она позволяет также максимально сблизить точки соприкосновения между раствором и проводами. Кусочек бумаги, смоченный раствором иодистого калия и крахмала или одного только иодистого калия, при соблюдении известных предосторожностей (п. 322) является чудеснейшим способом для определения наличия электрохимического действия. При применении его вышеописанным образом уже после полуоборота машины наблюдается выделение иода вокруг p . При помощи этой установки и иоднокалиевой бумаги химическое действие может в некоторых случаях явиться более чувствительной реакцией на электрический ток, чем гальванометр (п. 273). Это бывает в тех случаях, когда вещества, через которые проходит ток, являются плохими проводниками, или тогда, когда возбужденное в данный промежуток времени количество электричества очень мало.

317. Кусок лакмусовой бумаги, смоченный раствором поваренной или глауберовой соли, весьма быстро покраснел у p . Другой кусок, смоченный раствором соляной кислоты, быстро обесцветился у p . Ни одно из этих действий не было наблюдаемо у n .

318. Кусок куркумовой¹ бумаги, смоченный раствором глауберовой соли, после 2 или 3 оборотов машины покраснел у n , а после 20 или 30 оборотов в той же точке выделилось большое количество щелочи. Когда бумага была передвинута так, что это пятно оказалось под концом p , то после нескольких оборотов машины щелочь исчезла, и пятно пожелтело. Зато под концом n появилось новое коричневое пятно щелочи.

319. Когда кусок лакмусовой и кусок куркумовой бумаги,

¹ Куркума — род растений из семейства имбирных. Куркумовый корень употребляется для изготовления краски. (Ред.)

смоченные раствором глауберовой соли, были помещены на стекло так, что первый приходился под концом p , а второй под концом n , то несколько оборотов машины оказались достаточными для того, чтобы на первом показалась кислота, а на втором щелочь, подобно тому как это наблюдается при действии вольтаэлектрического тока.

320. Все эти разложения протекали одинаково успешно, независимо от того, каким путем электричество поступало в фольгу a , будь то из машины через воду или же просто по проводу, будь то путем непосредственного прикосновения с кондуктором или же путем пропускания искр.

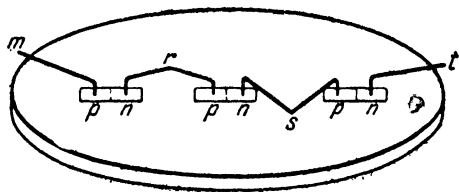


Рис. 50.

В последнем случае искры не должны только быть чересчур велики, дабы не получилось проскакивания искры также между p и n или против n . Я не имею никаких оснований полагать, что электричество, получаемое из машины, производит благодаря своему напряжению больше истинного электрохимического разложения в том случае, когда оно проскакивает у кондуктора или в какой-либо другой точке в виде искры, чем когда оно просто переходит в непрерывно текущий ток.

321. Наконец, опыт был расширен в следующей форме, позволившей окончательно убедиться в полной аналогии между обыкновенным и вольтовым электричеством. Три куски, составленных попарно из лакмусовой и куркумовой бумаги и смоченные раствором глауберовой соли, были укреплены на стеклянной пластинке при помощи платиновых проволок, как это изображено на рис. 50. Провод m шел к первому кондуктору электрической машины, провод t — к заземляющей проводке, а провода r и s посредством влажных кусков бумаги замыкали электрическую цепь. Последние провода были изогнуты таким образом, что каждый из них в точках npr и nsp опирался в точках r и s на стекло, в других же — на куски бумаги. Три конца ppp опирались на лакмусовую, три остальных nnn — на куркумовую бумагу. Когда машина вращалась в течение краткого

В последнем случае искры не должны только быть чересчур велики, дабы не получилось проскакивания искры также между p и n или против n . Я не имею никаких оснований полагать, что электричество, получаемое из машины,

промежутка времени, на всех полюсах или концах *ppr*, через которые электричество поступало в раствор, выделялась кислота, а на других полюсах *ppn*, через которые оно выходило из раствора, — щелочь.

322. При всех опытах электрохимического разложения посредством электричества, получаемого от электрической машины, и влажной бумаги, смоченной в растворе, чрезвычайно важно избегать следующих ошибок. Если искра проскакивает над лакмусовой или куркумовой бумагой, то первая (в том случае, когда она чувствительна и не чересчур щелочная) краснеет, причем покраснение чрезвычайно усиливается при перескакивании нескольких искр. Если, таким образом, электричество проскакивает от проволоки над поверхностью бумаги, пока оно не находит достаточной влажности и массы, обеспечивающей проводимость, то покраснение распространяется так же далеко, как и разветвления электричества. Появление подобных разветвлений на конце *n*, где находится куркумовая бумага, препятствует покраснению, вызываемому выделяющейся в этой точке щелочью. Лакмусовая бумага также краснеет под влиянием искр или разветвлений, исходящих из конца *n*. Если бумага, смоченная раствором иодистого калия (которая представляет необыкновенно чувствительный метод для определения наличия электрохимического действия), подвергается действию искр или разветвлений электричества или даже только слабого электрического тока, исходящего из *p* или *n*, то моментально начинается выделение иода.

323. Эти действия не следует смешивать с действиями собственно электрохимической силы обыкновенного электричества и, наоборот, тщательно избегать их при постановке наблюдения над последними. Ввиду этого ни в коем случае не следует в какой-либо точке по пути следования тока допускать перескакивания искр или же возрастания интенсивности тока, могущих повлечь за собой переход электричества из проводов к влажной бумаге иначе, чем через провода, ибо переход электричества через воздух влечет за собой вышеописанное действие.

324. Это действие объясняется образованием азотной кислоты из кислорода и азота воздуха и является лишь более тонким повторением прекрасного опыта Кавендиша. Полученная таким образом кислота, хотя и присутствует в чрезвычайно малых количествах, обладает высокой кон-

центрацией и вызывает вышеописанные эффекты: покраснение лакмусовой бумаги, задержку выделения щелочи на куркумовой бумаге и освобождение иода из иодистого калия.

325. Когда небольшая полоска лакмусовой бумаги смачивалась в растворе едкого калия и над ней по длине пропускались через воздух электрические искры, то щелочь оказывалась нейтрализованной и в конце бумага краснела. После высушивания бумаги оказалось, что в результате этой операции образовалось азотнокислое кали и бумага превратилась в зажигательную.

326. Ввиду этого лакмусовая бумага, равно и белая бумага, пропитанная раствором иодистого калия, являются простым красивым и удобным объектом для повторения опыта Кавендиша над образованием азотной кислоты из атмосферного воздуха.

327. Я упоминал уже об одном опыте Волластона (пп. 265, 309), которому было придано чересчур большое значение как противниками его теории об идентичности вольтова и обыкновенного электричеств, так и сторонниками этой точки зрения¹. Покрывая провода слоем стекла или другого изолирующего вещества так, что непокрытыми оставались лишь самые окончания или, точнее, поперечные сечения этих проводов, и пропуская ток по двум подобным проводам, защищенные концы которых были опущены в воду, Волластон нашел, что вода может быть разложена действием одного лишь тока от электрической машины без

¹ Объяснение результатов опыта Волластона и других опытов, о которых говорит Фарадей, заключается в особенностях разряда статического электричества. Особенности эти были изучены В. Томсоном в 1853 г. Томсон показал, что при обычных условиях разряд бывает колебательным и что лишь при определенных соотношениях между самоиндукцией, емкостью и сопротивлением мы получаем аperiodический ток. Разумеется, только в последнем случае может получиться обычное электрохимическое разложение. Что касается одновременного появления водорода и кислорода у обоих полусов, то это может быть обусловлено несколькими причинами. Во-первых, если частота колебания весьма мала, то выделившийся у какого-нибудь электрода газ успевает в значительной части всплыть наверх, прежде чем произойдет изменение направления тока. Во-вторых, как это правильно указывает Фарадей (п. 332), сильное нагревание самих электродов может вызвать непосредственное разложение воды, так что при наличии искр эффект усиливается (п. 329). (Ред.)

искр и что от концов проводов подымались два потока газа, по внешности вполне схожие с потоками, вызываемыми действием вольтова электричества и подобно последним представляющие собой смесь кислорода и водорода. Между тем, сам Волластон замечает, что вышеописанный процесс отличается от действия вольтова столба тем, что в данном случае водород и кислород выделяются на обоих полюсах; он называет свой опыт „весьма схожим повторением гальванического феномена“, но добавляет, что „в действительности сходство является неполным“, и не решается использовать результаты этого опыта как доказательства в пользу выставленных им в этой статье вполне правильных положений.

328. Этот опыт является лишь более усовершенствованным повторением опытов, поставленных в 1797 г. Пирсоном* и в 1789 г. или раньше Пэтс ван Труствиком и Дайманом¹. Этот опыт никогда не приводился в качестве доказательства истинного электрохимического разложения, ибо в этом случае закон, определяющий переход в конечное расположение освобожденных веществ, не играет никакой роли. На каждом полюсе вода совершенно независимо разлагается, и выделяющиеся на концах проводов водород и кислород являются составными элементами воды, находившейся там в предыдущее мгновение. Разложение не связано ни с каким взаимодействием полюсов, или, вернее, острий. Это можно доказать, заменяя одно из острий проволокой или пальцем, ибо такая замена нисколько не отражается на действии другого острия, хотя на пальце или проволоке и не наблюдается никакого эффекта. Это обстоятельство можно обнаружить, вращая машину в течение некоторого времени; ибо, несмотря на то, что на оставшемся острие пузырьки газа поднимаются в столь большом количестве, что, осадившись на проволоке, смогли бы целиком ее покрыть, на последней не замечается ни одного поднимающегося вверх пузырька.

329. Естественно было бы думать, что количество вещества, полученного в результате электрохимического разложения, будет пропорционально не интенсивности, но коли-

* Pearson, *Nicholson's Journal*, I, стр. 241, 299, 349.

¹ Труствик (1752—1837 гг.) — голландский купец и Дайман (J. R. Deimann, 1743—1808 гг.) — амстердамский врач, много занимавшийся физикой и химией. (Ред.)

честву пропущенного электричества (п. 320). Доказательства этого будут даны ниже (пп. 375, 377). Однако в вышеизложенном опыте мы наблюдаем иное. Если между двумя остриями электричество проскакивает из машины в виде искр, то выделяется известное количество газа. При укорачивании длины искр количество выделяемого газа уменьшается, а в случае полного отсутствия искр выделение газа становится едва заметным. Если вместо воды взят раствор глауберовой соли, то при наличии мощных искр выделяется едва заметное количество газа, а действием одного лишь тока не выделяется почти ничего. Однако во всех этих случаях количество возбужденного в течение определенного времени электричества было одинаково.

330. Я не отрицаю возможности того, что при помощи подобного аппарата обыкновенное электричество может разлагать воду так же, как и вольтово. Наоборот, я в настоящее время полагаю, что это именно так. Но когда я добился того, что я считаю истинным эффектом, полученное количество газа было настолько ничтожным, что мне не удалось установить, действительно ли на одном проводе выделялся кислород, а на другом водород. Один из двух потоков газа казался мне значительно другим, и после того как аппарат был повернут, та же сторона по отношению к электрической машине продолжала давать больший газовый ток. Эти небольшие токи наблюдались и в том случае, когда чистая вода заменялась раствором глауберовой соли (п. 329). Однако количества были столь ничтожны, что после получасового верчения машины мне не удавалось получить пузырька больше песчинки. Если допустить правильность моего предположения относительно количества химического действия (п. 377), то эти факты прекрасно с ним согласуются.

331. Я был тем более заинтересован в выяснении действительной ценности этого опыта как доказательства наличия электрохимического действия, что мне часто придется ссылаться на него в некоторых случаях предполагаемого химического действия при помощи магнитоэлектрического или иного электрического тока (пп. 336, 346). Однако независимо от этого Волластон несомненно прав, утверждая, что вольтово и обыкновенное электричества обладают идентичными по своей природе силами химического разложения, подчиняющимися одинаковым законам распределения.

332. IV. *Физиологические эффекты.* Способность обыкновенного электричества потрясать животный организм и вызывать судорожные сокращения мышц, а в более слабой форме действовать на язык и глаза, идентична с подобным же свойством вольтова электричества. Если на пути электрического тока из лейденской батареи (п. 291), заряженной 8—10 оборотами* мощной электрической машины (п. 290), будет помещен влажный шнур и разряд будет произведен при помощи платиновой лопатки через язык или десны, то действие на язык и глаза будет в точности сходно с действием моментального слабого вольтова тока.

333. V. *Искры.* Всем известны красивые искры, получаемые при разряде обыкновенного электричества. Они соперничают в яркости с искрами, получаемыми при разряде вольтова электричества, но их продолжительность равна лишь одному мгновению, и они сопровождаются сильным треском, подобным небольшому взрыву. Однако, в особенности при известных обстоятельствах, нетрудно убедиться, что мы здесь имеем дело с той же искрой, что и в вольтовой батарее. Если искры от вольтовой батареи и обыкновенного электричества пропускаются через один и тот же слой воздуха в промежутке между металлическими амальгамированными поверхностями, то глаз не замечает между ними никакой разницы.

334. Если лейденская батарея (п. 291) разряжалась при помощи влажного шнура, включенного в цепь на некотором расстоянии от того места, где должна была проскакать искра, то последняя была желтоватого цвета, пламенна и продолжительность ее превышала продолжительность искры, получаемой в том случае, когда вода не была включена в цепь. Она была приблизительно длиной в $\frac{3}{4}$ дюйма, не сопровождалась никаким треском и вообще была более похожа на искру вольтова электричества, потерявшую несколько своих характерных черт. Если электричество задерживалось при помощи воды и разряжалось между углями, то искры на обеих угольных поверхностях отличались необыкновенным блеском и походили на искры вольтова электричества в подобных случаях. Если электричество разряжалось между углями, не будучи задержано водой, то искры на обеих угольных поверхностях блеском также напо-

* Или даже 30—40 оборотами.

минали искры вольтова электричества, однако сопровождались громким, резким и пронзительным треском. Я полагаю и думаю, что в этом вопросе со мной согласны все физики, что атмосферное электричество по своей природе идентично с обыкновенным электричеством (п. 284). В этом отношении могу сослаться на некоторые, появившиеся в печати данные о его химическом действии, доказывающие, что оно подобно вольтову электричеству обладает разлагающей силой. Однако приводимое мной сравнение настолько ответственно, что я не считаю себя вправе пользоваться данными, в абсолютной точности которых я сомневался бы. С другой стороны, я не имею права игнорировать их, ибо они устанавливают то, что и я стремлюсь установить на неопровержимом основании и, следовательно, имеют приоритет перед результатами, полученными мной.

336. Г-н Бонижоль в Женеве* сконструировал весьма чувствительный аппарат для разложения воды при помощи обыкновенного электричества. При соединении изолированного громоотвода с этим аппаратом наблюдалось быстрое и непрерывное разложение воды, даже если атмосферное электричество и не было очень сильно. Описание этого аппарата не дано, но поскольку упоминается о том, что проволока была очень тонка, я полагаю, что он по своей конструкции сходен с аппаратом Волластона (п. 327). Последний не дает возможности наблюдать действительное полярное электрохимическое разложение (п. 328). Я думаю поэтому, что результаты, полученные Бонижолем, не могут явиться подтверждением идентичности вольтова и обыкновенного электричеств в отношении химического действия.

337. На той же странице *Bibliothèque Universelle* сказано, что г-н Бонижоль разлагал кали¹ и хлористое серебро, заключая эти вещества в очень узкие трубки и пропуская над ними искры от обыкновенной электрической машины. Очевидно, что эти явления не имеют ничего общего с постоянным вольтовым разложением, когда электричество действует разлагающе только в том случае, когда оно проводится через разлагаемое тело, но перестает разлагать, согласно обычным законам, как только начинает перескакивать в виде искр. Эти явления, по всей вероятности,

* Bonijol, *Biblioth. Universelle*, 1830, LV, p. 213.

¹ Т. е. едкий калий (KOH). (Ред.)

частично аналогичны явлениям, наблюдавшимся в опытах с аппаратами Пирсона и Волластона с водой и возможно объясняются воздействием очень высокой температуры на небольшие количества вещества или же находятся в связи с результатами, полученными на открытом воздухе (п. 322). Так как под влиянием электрической искры азот может непосредственно соединяться с кислородом (п. 324), нет ничего невозможного в том, что последний может соединиться даже с частью кислорода кали в том случае, когда имеется большой избыток кали, чтобы соединиться с образованной азотной кислотой. Эти явления, хотя и отличаются от истинного полярного электрохимического разложения, однако чрезвычайно важны и достойны изучения.

338. Покойный г-н Барри сделал в прошлом году в Королевском обществе доклад*, столь точный в своих деталях, что с первого взгляда может показаться, что им сразу доказана идентичность вольтова и обыкновенного электричеств с точки зрения химического действия. Однако при более детальном изучении оказалось трудным согласовать между собой результаты отдельных опытов. Он пользовался двумя трубками, к концам которых были припаяны провода, как это практикуется при вольтовом разложении. Трубки были наполнены раствором глауберовой соли, окрашенной фиалковым сиропом, и обычным способом соединены между собой при помощи части глауберова раствора. Провод, находящийся в одной из трубок, был соединен проволокой из сусального золота с изолированным шнуром электрического змея; провод, заключенный во второй трубке, при помощи такой же проволоки соединялся с полом. Тотчас же в трубке, соединенной с электрическим змеем, показался водород, а в другой — кислород. Через десять минут раствор в первой трубке позеленел от выделившейся щелочи, а во второй — покраснел от выделившейся кислоты. Единственное указание на силу или интенсивность атмосферного электричества дается словами: „при прикосании к шнуру ощущались обыкновенные электрические удары“.

339. Несколько фактов указывают на то, что в этом случае мы имеем дело с электричеством, не похожим на получаемое из известных источников обыкновенного электричества. Волластону, пользуясь обыкновенным электричеством,

* Barry, *Phil. Trans.*, 1831, стр. 165.

не удалось на подобной установке разложить воду и получить газы в отдельных сосудах. Никто из многочисленных физиков, пользовавшихся подобного рода аппаратом, не смог произвести разложения воды или нейтральной соли при помощи электрической машины. Недавно я повторил этот опыт с большой, чрезвычайно мощной электрической машиной (п. 290). Однако, несмотря на то, что опыт продолжался четверть часа и машина за это время совершила 700 оборотов, не было получено никаких видимых эффектов, хотя удары, произведенные машиной, были, несомненно, гораздо сильнее и многочисленнее тех, которые могут быть без особой опасности получены из шнура электрического змея. Из сравнения, приводимого мной ниже (п. 371), станет очевидно, что если этот эффект был получен при помощи обыкновенного электричества, то количество последнего должно было быть чрезвычайно велико и, повидимому, значительно больше того, которое могло быть проведено золотой проволокой в землю и при этом вызывать лишь „обычные удары“.

340. Что это электричество, повидимому, не было похоже на вольтово электричество, явствует из того, что наблюдались лишь „обычные удары, но не то непереносимое ощущение, которое причиняет вольтов столб, даже когда напряжение его настолько слабо, что не в состоянии пройти через слой воздуха толщиной в $\frac{1}{8}$ дюйма.

341. Возможно, что воздух, окружавший электрический змей и его шнур, хотя и находился в электрическом состоянии, достаточном лишь для того, чтобы вызвать „обычные удары“, все же мог возобновлять свой заряд после того, как электричество отводилось вниз, и таким образом поддерживать ток. Шнур был длиной в 1500 футов и состоял из двух двойных нитей. Если представить себе, какое невероятное количество электричества должно было быть собрано этим путем (пп. 371—376), то вышеприведенное объяснение становится чрезвычайно неправдоподобным. Я брал вольтову батарею, состоявшую из 20 пар пластин в 4 кв. дюйма каждая и с двойными медными пластинами, изолировал ее и соединял положительный конец с заземляющей проводкой (п. 292), а отрицательный — с аппаратом, сходным с аппаратом Барри, который в свою очередь соединялся с проводом, уходившим в мокрую землю на 3 дюйма. Оборудованная таким образом батарея производила, насколько

я могу судить, лишь слабые разложения в сравнении с теми, которые фигурируют в описании г. Барри. Следовательно, ее интенсивность значительно уступала интенсивности электричества в шнуре, и она не давала также никаких ударов, могущих итти в сравнение с „обычными ударами“, производимыми шнуром электрического змея.

342. Опыт Барри имеет большое значение и заслуживает повторения. Если он подтвердится, то, насколько я знаю, это будет первый случай действительного электрохимического разложения воды при помощи обыкновенного электричества, который даст нам возможность познакомиться с новой формой электрического тока, который как по количеству, так и по интенсивности занимает место как раз между током, получаемым от электрической машины и током вольтовой батареи¹.

3. МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСТВО

343. *Напряжение.* Притяжение и отталкивание при помощи электрического напряжения в случае электричества, вызванного магнитоэлектрической индукцией, были наблюдаемы достаточно часто. Г-н Пиксии при помощи своего столь же изящного, сколь и мощного аппарата* наблюдал сильное расхождение золотых листков электромэтра**.

344. *В движении.* I. *Развитие теплоты.* Ток, возбуждаемый при помощи магнитоэлектрической индукции, может подобно обыкновенному электричеству накаливать прово-

¹ Фарадей делает к п. 471 следующее примечание, касающееся этого вопроса: „Со времени постановки и описания этих опытов я узнал из примечания Дэви к его статье в *Phil. Trans.* (1807, стр. 31), что этот физик, при повторении опыта Волластона с разложением воды при помощи обыкновенного электричества (пп. 327, 330), пользовался установкой, похожей в известной мере на некоторые установки, описанные мной. Он погружал защищенное платиновое острие, связанное с электрической машиной, в дистиллированную воду и давал электричеству возможность улетучиваться из воды в воздух посредством мокрых шерстяных нитей. Он утверждал, что этим путем он якобы получал отдельно водород и кислород. Если бы этот опыт был мне ранее известен, то я поставил бы его в ряд с другими приведенными выше (п. 342) опытами подобного рода. Однако этот опыт не устраняет ни одного из возражений, выдвинутых мной против аппарата Волластона, как могущего дать истинное химическое действие (п. 331)“.

* *Ann. de Chim. et de Phys.*, L, стр. 322.

** *Ibid*, LI, стр. 77.

локу. Во время съезда Британской ассоциации естествоиспытателей в Оксфорде, в июне 1832 г., я имел удовольствие совместно с гг. Гаррисом, Даниелем, Дунканом и др. поставить опыт, для которого были использованы: большой магнит из тамошнего музея, новый электрометр Гарриса (п. 287) и описанная в моем первом докладе (п. 34) магнитоэлектрическая спираль. Последняя была несколько видоизменена, как я описал это в другом месте*, с целью получения электрической искры при нарушении или восстановлении контакта с магнитом. Концы спирали были установлены так, что их контакт прерывался, когда должна была перескакивать искра. Они были соединены с проводом электрометра, причем оказалось, что установление и прерывание магнитного контакта каждый раз сопровождаются расширением воздуха в инструменте, что является доказательством одновременного повышения температуры провода.

345. II. *Магнетизм.* Эти токи были открыты именно благодаря присущей им магнитной силе.

346. III. *Химическое разложение.* Я многократно пытался получить химическое разложение при помощи магнитного электричества, однако без успеха**. В июле 1832 г. я получил анонимное письмо, которое затем было опубликовано¹, содержащее описание магнитоэлектрического аппарата, при помощи которого, якобы, удалось разложить воду. Встречающееся в этом описании выражение „защищенные концы“ навело меня на мысль, что этот аппарат должен быть схож с аппаратом Волластона (п. 327 и др.) и что в этом случае результаты не являются доказательством полярного электрохимического разложения. Недавно г. Ботто опубликовал полученные им результаты, из описания которых нельзя, однако, сделать никаких выводов. Насколько можно судить, аппарат, которым он пользовался, был похож на аппарат Волластона, приводящий лишь к обманчивым результатам (п. 327 и др.). Так как магнитное электричество дает искры, то можно было бы заранее предсказать эффекты, свойствен-

* *Phil. Magazine and Annals*, XI, 1832, стр. 405.

** *Lond. and Edinb. Phil. Magazine*, I, 1832, стр. 161.

¹ Магнитоэлектрическая машина Фарадея была без коммутатора и, следовательно, давала переменный ток. Лишь при помощи машины Пиксии с коммутатором удалось добиться разложения воды током. (Ред.)

ные подобного рода аппарату. Ашетт* и Пиксии**, работая с аппаратом последнего, упомянутым выше, получили решающие результаты. Таким образом и это звено цепи является отныне доказанным. При помощи этого аппарата было произведено разложение воды, причем водород и кислород выделялись в отдельных трубках согласно законам, управляющим вольтаэлектрическим и магнитоэлектрическим разложением.

347. IV. *Физиологические действия.* Уже при первых опытах с этими токами удалось вызвать судороги у лягушки (п. 56). Ощущения на языке и перед глазами, вначале слабые (п: 56), впоследствии с усилением аппаратов настолько возросли, что даже сделались неприятны.

348. V. *Искры.* Слабые искры, получаемые мной вначале при работе с этими токами (п. 32), впоследствии получались гг. Антинори и Нобили столь разнообразными способами и столь сильными, что не может быть никакого сомнения в идентичности последних и искр, получаемых от обыкновенного электричества.

4. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВО

349. Что касается термоэлектричества, этой прекрасной формы электричества, открытой Зеебеком, то условия ее возбуждения таковы, что нет основания надеяться достичь высокой степени напряжения, как это нам удалось в случае обыкновенного электричества. Аналогия с уже описанными видами электричества может быть проведена в следующих проявлениях:

Напряжение. Притяжения и отталкивания в виду незначительности напряжения еще не были наблюдаемы.

В движении. I. *Развитие теплоты.* Мне неизвестно, наблюдалась ли уже способность возбуждать теплоту у этого вида электричества.

II. *Магнетизм.* Магнитные силы, присущие этому виду электричества, способствовали его открытию и наилучше изучены.

III. *Химическое разложение* с помощью этого вида электричества еще не было наблюдаемо.

* *Ann. de Chim.* LI, стр. 72.

** *Ibid.*, стр. 77.

IV. *Физиологические действия.* Как показал Нобили*, при помощи этого вида электричества удается вызвать судороги у лягушки.

V. *Искры.* Искры до сих пор наблюдаемы не были.

350. Таким образом отсутствуют или слабо проявляются лишь действия, связанные с известной высокой степенью интенсивности. Обыкновенное электричество, будучи сведено к такой же степени интенсивности, также сможет дать лишь эффекты, свойственные термоэлектричеству.

5. ЖИВОТНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

351. Ознакомившись с опытами Уолша**, Ингенгауса (Ingenhouss)***, Кавендиша****, Г. Дэви***** и Дж. Дэви*****, я отныне твердо убежден в идентичности электричества электрического ската с обыкновенным и вольтовым электричествами. Я полагаю, что и все другие также разделяют мое убеждение и что мне будет поэтому позволено не останавливаться на разборе доказательств в пользу этого предположения. Возражения, выдвинутые Гемфри Дэви, были отвергнуты его братом Джоном Дэви, получившим противоположные результаты. В настоящее время эти данные таковы:

352. *Напряжение.* Заметные притяжения и отталкивания, обусловленные напряжением, не наблюдались.

353. *В движении.* I. *Развитие теплоты* еще не наблюдалось. Однако я не сомневаюсь, что таковое может быть наблюдаемо при помощи электрометра Гарриса.

354. II. *Магнетизм.* Наблюдался вполне отчетливо. Согласно Дж. Дэви ток не только отклоняет магнитную стрелку, но также намагничивает стальные иглы в отношении направления, согласно тем же законам, которым подчиняются токи обыкновенного и вольтова электричества*****.

355. III. *Химическое разложение.* Также вполне очевидно, несмотря на то, что аппарат, которым пользовался Дж. Дэви, был похож на аппарат Волластона. Ошибка в этом

* *Biblioth. Univ.*, XXXVII, стр. 15.

** *Phil. Transact.*, 1773, стр. 461.

*** Там же, 1775, стр. 1.

**** Там же, 1776, стр. 196.

***** Там же, 1829, стр. 15.

***** Там же, 1832, стр. 259.

***** Там же, 1832, стр. 260

случае невозможна, ибо разложения происходили полярно, т. е. действительно электрохимически. Направление магнитной стрелки показало ему, что нижняя сторона этой рыбы заряжена отрицательно, а верхняя положительно, что во время химического разложения серебро и свинец выделяются только на проводе, соединенном с нижней стороной. Применяя стальные и серебряные провода, можно было наблюдать выделение газа (водорода?) из раствора поваренной соли у отрицательного провода, но не у положительного.

356. Я считаю это разложение электрохимическим также и потому, что аппарат Волластона, снабженный проводами, покрытыми сургучом, вероятно оказался бы не в состоянии разложить воду даже свойственным ему своеобразным образом, если бы интенсивность электричества не была такова, что в некоторых точках своего пути она могла бы давать искры. Скат же не в состоянии давать никаких заметных искр.

В-третьих, разложение в аппарате Волластона идет тем лучше, чем чище вода¹. Опыты, производимые мной при помощи машины и двух концов проводов, прекрасно удавались с дистиллированной водой и кончались неудачей, когда проводимость последней увеличивалась путем прибавления глауберовой, поваренной или какой-либо иной соли. Только в опытах Дж. Дэви крепкие растворы соли, азотнокислого серебра или свинцового сахара давали безусловно лучшие результаты, чем слабые растворы.

357. IV. *Физиологические действия.* Последние столь определены, что привели к открытию удивительных свойств электрического ската (*Torpedo*) и электрического угря (*Gymnotus*).

358. V. *Искры* до настоящего времени еще не получены, во всяком случае поскольку мне это известно. Впрочем, может быть лучше будет сослаться на уже известные данные, имеющиеся в моем распоряжении. Гумбольдт, говоря о результатах шведа Фальберга, замечает: „этот физик, как до него Уолш и Ингенгаус, наблюдали искры при вытаскивании электрического угря из воды, в то время как цепь была прервана при помощи двух золотых листков, наклеенных на стекло на рас-

¹ Чем чище вода, тем больше ее сопротивление, при достаточном же увеличении сопротивления частота колебаний может уменьшиться до нуля, и ток станет аperiодическим. (Ред.)

стоянии одной линии один от другого“ *. Мне, однако, неизвестны подобные наблюдения Уолша и Ингенгауса, равно как и более подробное описание опыта Фальберга¹. Гумбольдт лично не наблюдал никаких световых явлений. Наоборот, Лесли в своем обзоре успехов математических и физических наук, предпосланных седьмому изданию „Британской энциклопедии“ (Эдинбург, 1830), говорит: „Из одного экземпляра здорового *Silurus electricus* (вернее *Gymnotus*), показываемого в Лондоне, удавалось извлекать в темноте яркие искры“. Однако он не упоминает о том, видел ли он это лично и кто это видел. Кроме вышеизложенного мне не удалось найти никаких сведений об этом явлении. Таким образом этот вопрос пока остается по меньшей мере сомнительным **.

359. Заканчивая это перечисление электрических свойств ската, я должен обратить внимание на невероятное количество электричества, которое выделяется этим животным при каждом напряжении. Неизвестно, смогла ли бы какая-нибудь электрическая машина дать в заметный промежуток времени такое количество электричества для получения действительного разложения воды (пп. 330, 339), и однако это удается электрическому скату. Магнитные действия также указывают на большие количества электричества. Эти факты указывают на то, что электрический скат (*Torpedo*) обладает свойством (повидимому, по способу, описанному Кавендишем) возбуждать электричество в течение заметного времени, так что последовательные разряды скорее похожи на разряды перемежающегося в своем действии вольтова аппарата, нежели на разряды многократно заряжаемой и разряжаемой лейденской батареи. Однако в действительности между этими обоими случаями нет никакой физической разницы.

360. Я полагаю, что из всех приведенных выше фактов может быть сделан следующий общий вывод: все виды электричества, независимо от источника их получения, идентичны по своей природе. Пять различных форм или видов явлений электричества, рассмотренных выше, по существу однородны

* *Edin. Phil. Journ.*, II, стр. 249.

¹ Опыты Фальберга опубликованы в *Gilbert's Annalen*, т. XIV, стр. 420, Уолша — в письме Le Ray к Rozier, см. *Observations sur la physique*, II, 1776 г. (Ред.)

** Brayley, сообщивший мне эти данные и являющийся большим знатоком вопроса, не имел никаких дополнительных сведений об этом.

и различаются лишь по степени и в этом отношении варьируют, в зависимости от изменяющихся условий *количества* и *интенсивности**, которые могут быть по желанию изменены почти для каждого вида электричества в той же степени, как мы это наблюдаем между различными видами.

Таблица экспериментально установленных эффектов, свойственных электричествам, полученным из различных источников**:

	Физиологический эффект	Отклонение магнитной стрелки	Следан. магниты	Искры	Способность нагрева	Истин. электрохимическое действие	Притяжение и отталкивание	Разряд при мощности нагретого воздуха
Вольтово электричество	×	×	×	×	×	×	×	×
Обыкновенное электричество	×	×	×	×	×	×	×	×
Магнитоэлектричество	×	×	×	×	×	×	×	
Термоэлектричество	×	×	+	+	+	+		
Животное электричество	×	×	×	+	+	×		

* Выражение *количество* в приложении к электричеству является достаточно понятным, наоборот, выражение *интенсивность* определить гораздо труднее. Я употребляю эти два термина в их обычном и в настоящее время общеупотребительном значении.

** Многие из клеток этой таблицы, первоначально оставленные пустыми, могут теперь быть заполнены. Так, в отношении термоэлектричества Ботто добился магнитных эффектов и наблюдал полярное химическое разложение; Антинори удалось получить искру, а г. Уоткинсу нагреть проволоку в термоэлектрометре Гарриса (если только это не было сделано до него). В отношении животного электричества Маттеучи и Линари получили искру от электрического ската (*Torpedo*), а мне удалось недавно наблюдать такую у электрического угря. Д-р Дэви наблюдал нагревание проволоки током, полученным от ската. Эти новые данные отмечены на таблице крестиком другой формы. В настоящее время незаполненными остаются лишь пять клеток — две для притяжения и отталкивания и три для разряда, через нагретый воздух. Эти эффекты еще не были наблюдаемы; однако они несомненно возможны, ибо соответствующая им искра уже была получена. Если может произойти разряд через холодный воздух, то, несомненно, должна существовать интенсивность, являющаяся единственным необходимым добавочным условием остальных эффектов. — 13 декабря 1838 г.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ОБЫКНОВЕННЫМ И ВОЛЬТОВЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВАМИ

(Том I, третья серия, § 8.)

361. Установив, как мне кажется, идентичность природы этих двух видов электричества, я попытался установить общую меру или найти известное отношение между количествами электричества, возбуждаемыми электрической машиной, с одной стороны, и вольтовым столбом — с другой. При этом моей целью было не только установить их идентичность, но и вывести известные общие законы (пп. 336, 377 и пр.) и найти методы для дальнейшего исследования или применения этого удивительного и тонкого агента.

362. Сначала требовалось определить, вызывают ли равные абсолютные количества обыкновенного электричества, проходящие через гальванометр при различных условиях, одинаковое отклонение магнитной стрелки. С этой целью я снабдил гальванометр произвольной шкалой, каждое деление которой равнялось приблизительно 4° , и установил этот инструмент, как в предыдущих опытах (п. 296). Машина (п. 290), батарея (п. 291) и прочие части установки были приведены в порядок и в продолжение всего опыта поддерживались, насколько это было возможно, в неизменном состоянии. Опыты варьировались таким образом, что можно было установить всякое изменение в состоянии аппарата и вносить необходимые поправки.

363. Из батареи было вынуто 7 банок и оставлено 8, так что для полного заряжения этих 8 банок понадобилось бы около 40 оборотов машины. Они были заряжены лишь посредством 30 оборотов и затем разряжены через гальва-

нометр, причем в цепь был включен влажный шнур длиной приблизительно в 10 дюймов. Стрелка тотчас же показала отклонение на $5\frac{1}{2}$ делений в одну сторону от нулевой точки и, колеблясь, прошла почти $5\frac{1}{2}$ делений в другую сторону.

364. Затем к 8 банкам прибавлялись остальные 7, и все 15 заряжались посредством 30 оборотов машины. Электрометр Хенли (Henley) показывал не больше половины того, что раньше, однако, заряд, пропущенный через предварительно приведенный в состояние покоя гальванометр, отклонял стрелку до того же в точности деления, что и в предыдущем случае. Эти опыты с 7 и 15 банками были попеременно повторены много раз и всегда с одинаковым результатом.

365. Затем опыты были произведены со всей батареей, но видоизменены так, что ее заряд, полученный после 15 оборотов машины и пропускаемый через гальванометр, иногда проходил через влажную нить, иногда через смоченный дистиллированной водой тонкий шнур длиной в 38 дюймов, иногда через в 12 раз более толстый шнур длиной лишь в 12 дюймов, смоченный разбавленной кислотой (п. 298). Прохождение заряда через толстый шнур совершалось мгновенно, в случае тонкого шнура для этого требовался заметный промежуток времени, в случае же нити электрометр совершенно опускался лишь по прошествии 2—3 сек. В этих трех случаях интенсивность тока должна была быть чрезвычайно различна, и однако отклонения магнитной стрелки были во всех случаях приблизительно одинаковы. В случае тонкого шнура и нити отклонения были несколько больше. Если, как полагает Колладон, имеет место боковая утечка через шелковые нити обмотки мультипликатора, то указанное обстоятельство вполне понятно, ибо при более слабой интенсивности боковая утечка меньше.

366. Отсюда следует, что при прохождении через гальванометр равных абсолютных количеств электричества отклоняющая сила, действующая на магнитную стрелку, остается одинаковой независимо от величины интенсивности.

367. Затем батарея, состоящая из 15 банок, заряжалась 60 оборотами машины и, как и в предыдущих опытах, разряжалась через гальванометр. Теперь стрелка отклонялась почти до 11-го деления, однако деления не были достаточно точны, чтобы быть убежденным в том, что теперь дуга шкалы была вдвое длиннее, чем в прежнем случае. Однако

на-глаз она производила такое впечатление. Таким образом представляется вероятным, что *отклоняющая сила электрического тока прямо пропорциональна абсолютному количеству прошедшего электричества* независимо от интенсивности последнего*.

368. Д-р Ричи показал, что в одном случае, где интенсивность электричества оставалась неизменной, отклонения магнитной стрелки были прямо пропорциональны количествам прошедшего через гальванометр электричества**.

Д-р Гаррис показал, что способность электричества *нагревать* провода проволоки одинакова при разных количествах электричества независимо от интенсивности последнего***.

369. Моей следующей целью было построить вольтову установку, по силе равную предыдущей (п. 367). Платиновая и цинковая проволоки, пропущенные через одно и то же отверстие в доске для вытягивания проволоки и имеющие в диаметре $\frac{1}{18}$ дюйма, были укреплены на стойке таким образом, что нижние концы их свисали параллельно друг другу на расстоянии $\frac{5}{16}$ дюйма один от другого. Верхние концы были прочно соединены с проводами гальванометра. Была приготовлена разбавленная кислота, причем после нескольких предварительных опытов в качестве нормального был взят раствор, состоящий из одной капли концентрированной серной кислоты и четырех унций дистиллированной воды. Наконец, было отмечено время, потребное для того, чтобы стрелка гальванометра отклонилась справа налево или слева направо. Оно оказалось равным 17 ударам моих часов, которые давали 150 ударов в минуту. Целью этих приготовлений было сконструировать такой вольтов аппарат, который, будучи опущен в определенную кислоту в течение определенного времени (гораздо меньшего, чем требуется для отклонения стрелки в одном направлении),

* Большая и общая ценность гальванометра, как подлинного измерительного инструмента для непрерывно или перемежающим образом проходящего электричества, совершенно очевидна из этих двух выводов. В форме, приданной ему Ричи со стеклянными нитями (см. *Phil. Transact.*, 1830 г., стр. 218 и *Quarterly Journ. of Science*, Новая серия, т. I, стр. 29), гальванометр в этой области не оставляет желать ничего большего.

** *Quarterly Journ. of Science*, Новая серия, т. I, стр. 33.

*** *Plymouth Transact.*, стр. 22.

вызывал бы столь же сильное отклонение этой стрелки, как и разряд обыкновенного электричества из батареи (пп. 363, 364). Затем когда в указанное положение рядом с платиновой проволокой был укреплен новый кусок цинковой проволоки, были поставлены сравнительные опыты.

370. Цинковая и платиновая проволоки были погружены на $\frac{5}{8}$ дюйма в кислоту в течение 8 ударов моих часов и затем быстро вынуты. Стрелка вышла из состояния покоя и, отклонившись, продолжала двигаться в том же направлении еще некоторое время после того, как аппарат был вынут из кислоты. Стрелка достигла середины между 5-м и 6-м делением, затем вернулась в исходное положение и проделала то же отклонение в обратную сторону. Этот опыт был проделан неоднократно и всегда с одинаковым результатом.

371. Если судить только по *магнитной силе*, то уже сейчас (п. 376) можно приблизительно сказать, что две проволоки, одна цинковая и другая платиновая, толщиной в $\frac{1}{18}$ дюйма, находящиеся на расстоянии $\frac{5}{16}$ дюйма одна от другой и погруженные на $\frac{5}{8}$ дюйма в смесь, состоящую из одной капли купоросного масла и четырех унций дистиллированной воды температурой около 60° , причем другие концы их соединены с проволокой длиной в 18 дюймов и толщиной в $\frac{1}{18}$ дюйма, служащей обмоткой гальванометра, дают в течение 8 ударов моих часов, или в $\frac{8}{150}$ мин., столько же электричества, как электрическая батарея, заряженная 30 оборотами большой очень мощной электрической машины (пп. 363, 364).

Несмотря на эту кажущуюся необычайной несоразмерность, такого рода результаты вполне совпадают с теми, которые объясняются колебаниями в интенсивности и количестве электрического флюида.

372. Для того чтобы иметь основание для сравнения также и с точки зрения *химического действия* проволоки, я удерживал провода погруженными на $\frac{5}{8}$ дюйма в кислоту и наблюдал за стрелкой после того, как она останавливалась. Насколько можно судить невооруженным глазом, она стояла на $5\frac{1}{3}$ делении. Следовательно, продолжительное отклонение такого рода может рассматриваться как доказательство наличия постоянного тока, дающего в течение 8 ударов моих часов столько же электричества, как электрическая батарея, заряженная 30 оборотами машины.

373. Нижеследующее является выборкой из описания относящихся к химическому действию установок и полученных с их помощью результатов. Один конец платиновой проволоки диаметром в $\frac{1}{12}$ дюйма и весом в 260 гран был срезан таким образом, что он представлял собой правильный круг одинакового диаметра с диаметром провода. После этого он соединялся попеременно с кондуктором электрической машины и вольтовым аппаратом (п. 369) таким образом, что он всегда являлся положительным полюсом и одновременно стоял вертикально, для того чтобы всем своим весом надавливать на реагентную бумажку. Последняя помещалась в свою очередь на платиновой лопатке, соединенной либо с заземляющей проводкой, либо с отрицательным проводом вольтова аппарата. Реагентная бумага была сложена вчетверо и каждый раз в одинаковой степени смачивалась нормальным раствором иодистого калия (п. 316).

374. Когда платиновая проволока соединялась с первым кондуктором машины, а лопатка — с заземляющей проводкой, то 10 оборотов машины было достаточно для появления бледного круглого пятна иода с диаметром, равным диаметру провода. После 20 оборотов пятно становилось темнее, а после 30 оборотов пятно принимало такой темнокоричневый цвет, что становилось видимо на втором слое бумаги. Разница в действии легко определялась с точностью до 2—3 оборотов.

375. Затем провод и лопатка соединялись с вольтовым аппаратом (п. 369), причем в цепь включался также гальванометр. Вольтов аппарат погружался в довольно сильный раствор азотной кислоты в воде на такую глубину, что отклонение стрелки показывало $5\frac{1}{3}$ делений (п. 372), после чего между проводом и лопаткой прокладывалась вчетверо сложенная влажная бумага*. Благодаря этому устройству конец провода можно было передвигать с места на место по бумаге, наблюдать действие тока, продолжавшегося в течение 5, 6, 7 и больше ударов часов (п. 369), и сравнивать его с эффектом, получаемым от электрической машины. Путем многократного повторения таких чередующихся опытов было найдено, что химическое действие нормального тока воль-

* Естественно, что при введении в цепь плохого проводника сила вольтовой батареи получалась прежней посредством компенсации высотой погружения.

това электричества продолжительностью в 8 ударов моих часов равнялось действию, получаемому в результате 30 оборотов машины; действие при 28 оборотах оказывалось недостаточным.

376. Из этого следует, что электрический ток нормальной вольтовой батареи продолжительностью в 8 ударов часов как по *химическому действию*, так и по силе *магнитного отклонения* равен току, получаемому от электрической машины в результате 30 оборотов.

377. Далее следует, что в этом случае электрохимического разложения и, вероятно, во всех других случаях *химическая, равно как и магнитная силы* (п. 366), *прямо пропорциональны абсолютному количеству прошедшего электричества*

378. Отсюда получается, если это вообще еще нужно, новое подтверждение идентичности природы обыкновенного и вольтова электричества, а также то, что кажущиеся различия в их свойствах полностью объясняются различием в количестве и интенсивности.

379. Почерпнутые из вышеизложенных исследований данные позволили мне сделать некоторые добавления к теории электрохимического разложения, которые совместно с другими соображениями относительно учения об электричестве, будут незамедлительно представлены на рассмотрение Королевского общества в другой серии этих исследований.

Королевский институт
15 декабря 1832 г.

Примечание. Я позволю себе здесь исправить ошибку которая была мной приписана г. Амперу в первой серии этих экспериментальных исследований. Говоря об его опыте над индукцией электрических токов (п. 78), я назвал диском то, что следовало назвать кругом или кольцом. Ампер пользовался кольцом или очень коротким цилиндром, сделанным из узкой медной полоски, согнутой в виде кольца, и сообщил мне, что с его помощью движение получалось без всяких затруднений. Я не сомневался в том, что Ампер наблюдал описанное им движение, я лишь неправильно представил себе инструмент, которым он пользовался, и, следовательно, дал неверное описание его опыта. В том же пункте я привожу в качестве утверждения Ампера, что диск повернулся „для того, чтобы занять положение равно-

веса, которое заняла бы спираль, если бы могла свободно двигаться“. Я говорю, далее, что результаты, полученные Ампером, противоречат выставленному им положению, согласно которому *„ток электричества стремится привести в движение в том же направлении электричество проводников, мимо которых он проходит“*.

Ампер в только что полученном мной письме замечает, что он тщательно избегал при описании этого опыта всякого упоминания о направлении индуцированного тока. Перечтя это место снова, я вынужден с ним согласиться и хочу здесь исправить свою ошибку.

Для того чтобы не быть обвиненным в легкомыслии, я кратко изложу руководившие мной соображения. Вначале опыт не удался. Он был успешно повторен около года спустя в Женеве в сотрудничестве с г. де ля Рив. Этот последний дал описание результатов и указал, что полоса меди, согнутая в виде круга и применявшаяся в качестве подвижного проводника, *„иногда притягивалась к полюсам подковообразного железного магнита, иногда же отталкивалась в соответствии с направлением тока в окружающих проводниках“*. Я обычно ссылался на *„Manuel d'Électricité Dynamique“* Демонферрана (Demonferrand) как книгу, пользующуюся авторитетом во Франции и которая содержит хорошо систематизированные основные результаты и законы для этой области науки до даты своего опубликования. На стр. 17 автор, описывая этот опыт, говорит: *„Подвижный проводник поворачивается, чтобы занять положение равновесия, как это сделал бы проводник, в котором ток двигался бы в том же направлении, что и в спирали“*. В том же параграфе он добавляет: *„следовательно, является доказанным, что ток электричества стремится привести электричество проводников, мимо которых он проходит, в движение в том же направлении“*. Эти слова были приведены в моей статье (п. 78).

Статья в № 36 *Lucée* от 1 января 1832 г., написанная после получения моего злосчастного письма, адресованного г. Ашетту, и до опубликования моей статьи, трактует о направлении индуцированного тока и замечает, что должен существовать *„элементарный ток, имеющий то же направление, что и соответствующая часть производящего тока“*. Несколько ниже говорится: *„Следовательно, мы должны получить токи, движущиеся в том же направлении и произ-*

веденные при помощи магнита или тока в металлической проволоке. Г-н Ампер был настолько убежден, что направление индуцированных токов должно быть именно таково, что счел излишним удостовериться в этом во время своих женеvских опытов“.

Определенное указание в руководстве Демонферрана, совпадающее с выражениями де ля Рива (которые, как я теперь понимаю, означают только то, что движение подвижного кольца изменялось, когда изменялся индуцирующий ток) и не противоречащее ничему в описании опыта, сделанном лично Ампером, привели меня к выводу, что я в своей статье передаю его мнение. Появление номера *Lycée*, о котором я упоминал до печатания моей статьи, не могло возбудить подозрений в моей ошибке.

Таково объяснение моей невольной ошибки. Я с удовольствием исправляю ее и воздаю должное проницательности и точности, характеризующие работы г. Ампера во всех областях науки.

Наконец, в моем примечании (п. 79) сказано, что *Lycée* (№ 36) „принимает ошибочные результаты гг. Френеля и Ампера за истинные и т. д.“. Называя результаты Ампера ошибочными, я имел в виду те, которые были описаны и упоминаемы в *Lycée*; теперь же это выражение становится неправильным.

29 апреля 1833 г.

М. Ф.

ОБ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ РАЗЛОЖЕНИИ¹

(Том I, седьмая серия, § 11, январь — февраль 1834 г.)

ВВЕДЕНИЕ

661. Теория, которая, как я думаю, дает правильное выражение фактов электрохимического разложения и которую я поэтому подробно разобрал в предыдущих сериях этих исследований, настолько отличается от теорий, выдвигающихся до сих пор, что мне чрезвычайно трудно правильно (как я полагаю) выразить полученные мной результаты, пользуясь существующими терминами, имеющими определенное и общепринятое значение.

Таковы, например, термины *полюс* с относящимися к нему определениями — положительный и отрицательный — и связанные с ним понятия о притяжении и отталкивании. Согласно общепринятой терминологии положительный полюс *притягивает* кислород, кислоты и пр., или, выражаясь более осторожно, он определяет их выделение на его поверхности, а отрицательный ведет себя подобным же образом по отношению к водороду, горючим веществам, металлам и щелочам. С моей точки зрения определяющая сила находится не у полюсов, но внутри разлагаемого тела; кислород же и кислоты выделяются на отрицательном конце этого тела, а водород, металлы и пр. на положительном конце (пп. 518, 524).

662. Поэтому с целью избежать путаницы и повторений и достичь наибольшей точности я после предварительного совещания и обсуждения этого вопроса с двумя друзьями

¹ В эпоху Фарадея было открыто подавляющее большинство важнейших химических элементов. (Ред.)

предлагаю отныне пользоваться некоторыми другими терминами, к определению которых я сейчас перехожу. *Полюсы*, как их обычно называют, представляют собой только двери или пути, по которым электрический ток входит и выходит из разлагаемого тела (п. 556), и, находясь в контакте с этим телом, они естественно являются границами его распространения в направлении тока. Этот термин обычно прилагался к металлическим плоскостям, находящимся в контакте с разлагаемым веществом, и я сомневаюсь, согласились ли бы физики применить его к воздушным (пп. 465, 471) и водным (п. 493) поверхностям, на которых я вызывал электрохимическое разложение. Вместо термина полюс я предлагаю термин *электрод**, под которым я подразумеваю вещество или скорее поверхность, ограничивающую распространение разлагаемого вещества в направлении электрического тока.

663. Поверхности, через которые согласно общепринятой терминологии электрический ток входит и выходит из разлагаемого тела, являются чрезвычайно важными местами действия и должны быть отличаемы от полюсов, с которыми они часто, и от электродов, с которыми они всегда, находятся в контакте. В поисках естественного стандарта направления электричества, к которому я мог бы их отнести, способного выразить их различие и в то же время свободного от всякой теории, мне пришло на ум, что таким может явиться земля. Если земной магнетизм объясняется электрическими токами, идущими вокруг земли, то их направление должно быть постоянно, а именно, выражаясь обычным языком, с востока на запад или, что легче запомнить, в направлении кажущегося движения солнца. Если в каждом случае электроразложения мы предположим, что разлагаемое тело помещено так, что проходящие через него токи идут в том же направлении и параллельно предполагаемым земным токам, то поверхности, через которые электричество входит и выходит из вещества, неизменно будут ориентированы и всегда будут указывать на определенное соотношение сил. Поэтому я предлагаю назвать *восточную поверхность анодом*** , а *западную поверхность — катодом****, и думаю, что, несмотря на всевозможные

* ηλεκτρον и ὁδός — путь.

** ἀνα — вверх и ὁδός — путь, (путь, по которому восходит солнце).

*** κατα — вниз и — ὁδός (путь, по которому заходит солнце).

изменения в наших взглядах на природу электричества и электрического действия, а также на естественный стандарт, о котором я упоминал выше, и на разлагаемые вещества, к которым эти термины относятся, они не внесут путаницы и ни в какой степени не будут способствовать проникновению в науку ложных взглядов.

Анодом, следовательно, мы называем поверхность, через которую электрический ток согласно нашему современному выражению входит: это есть *отрицательный* конец разлагаемого тела, на котором выделяется кислород, кислоты и пр.; он соединяется с положительным электродом. *Катодом* называется поверхность, на которой ток покидает разлагаемое тело; он является *положительным* концом тела, на нем выделяются горючие вещества, металлы, щелочи и основания, и он соединен с отрицательным электродом.

664. В этих исследованиях мне также встретится необходимость в классификации тел согласно известным взаимоотношениям, вытекающим из их электрических действий (п. 822); желая выразить эти взаимоотношения и в то же время избежать высказывания гипотетических взглядов, я предлагаю пользоваться следующими названиями и терминами. Многие тела сразу разлагаются электрическим током, причем их элементы освобождаются; их я предлагаю назвать *электролитами**.

Вода, следовательно, является электролитом¹. Тела, как, например, азотная или серная кислота, разлагаемые вторичным образом (пп. 751, 777), не входят в эту группу. Отныне я часто вместо слов *электрохимически разложенное* буду употреблять термин „электролизованное“, подразумевая под этим, что тело, о котором идет речь, разложено на составные части под влиянием электричества. Этот термин по смыслу и звуку аналогичен термину анализ, который построен по тому же принципу. Термин „электролитический“ будет понятен сразу: соляная кислота электролитична, борная — нет.

* От греческих *ήλεκτρον* и *λύω* — растворяю.

¹ Удельная электропроводность дважды перегнанной воды около 10^{-6} ; удалось даже получить воду с удельной электропроводностью в $0,4 \cdot 10^{-7}$, теоретически соответствующей диссоциации на ионы H' и OH' . Такая вода уже почти не содержит посторонних примесей и является вполне химически чистой. (Ред.)

665. Наконец, мне нужен термин для обозначения тех тел, которые передвигаются к *электродам* или, как они обычно называются, полюсам. Вещества часто обозначаются как *электроположительные* и *электроотрицательные*, согласно тому, направляются ли они под влиянием предполагаемого прямого притяжения к положительному или отрицательному полюсу. Но эти термины слишком многозначны для того употребления, к которому я их предназначаю, так как хотя их смысл может быть правилен, они все же гипотетичны и могут оказаться ошибочными. Таким образом эти термины могут оказать хотя и незаметное, но все же очень опасное благодаря своему частому применению влияние и принести большой вред науке, ограничивая кругозор людей, занимающихся наукой. Я предлагаю для различения таких тел между собой называть собирающихся на аноде разлагаемого тела анионами*, а собирающихся на катоде — катионами**.

Когда же мне придется говорить о них собирательным образом, я буду называть их *ионами*. Таким образом хлористый свинец есть электролит, который, будучи электролизован, выделяет два иона: хлора и свинца, причем первый является анионом, а второй катионом.

666. Употребление этих терминов, надеюсь, позволит мне избежать повторений и неясностей. Я не собираюсь употреблять их чаще, чем это окажется необходимым, так как хорошо сознаю, что названия — одно, а наука — совсем другое***.

667. Я хочу подчеркнуть, что воздерживаюсь здесь от высказывания каких-либо предположений о природе электрического тока, кроме высказанных мной выше (пп. 283, 517), и если я и говорю, что ток направляется от положительных частей к отрицательным (п. 663), то исключительно подчиняясь условному, хотя и до известной степени молчаливому соглашению, установленному учеными для того, чтобы иметь постоянный твердый и определенный способ обозначать направление сил этого тока.

.....

* По-гречески *άνιον* — поднимающийся вверх.

** По-гречески *κατιον* — опускающийся вниз.

*** Со времени опубликования этого доклада я изменил некоторые из предложенных мной терминов и оставил только те, которые просты, ясны и свободны от гипотез.

VII. ОБ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ И СФЕРЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

783. В третьей серии этих исследований я доказал единство электричеств различного происхождения и определил посредством измерений огромное количество электричества, развиваемого чрезвычайно слабым вольтовым аппаратом (пп. 371, 376), а также вывел из этих опытов закон, который кажется мне чрезвычайно важным для всего учения об электричестве в целом и в особенности для ветви его, известной под названием электрохимии. Я формулировал этот закон следующим образом: *химическая сила электрического тока прямо пропорциональна абсолютному количеству прошедшего электричества* (п. 377).

784. При этих исследованиях мне неоднократно приходилось ссылаться на этот закон в некоторых случаях при обстоятельствах, служивших хорошим подтверждением его правильности (пп. 456, 504, 505). Настоящая серия также содержит много случаев, из которых явствует его справедливость (пп. 704, 722, 726, 732). Моей задачей является теперь более детальное рассмотрение этого важного закона и более подробное развитие некоторых вытекающих из него следствий. Для того чтобы придать этим доказательствам больше ясности и приложимости, я приведу случаи разложения, при которых наблюдается возможно меньше вторичных явлений и которые имеют место в телах, отличающихся простотой состава и определенностью своих свойств.

785. Во-первых, я считаю этот закон настолько доказанным для случая разложения воды и при стольких обстоятельствах, могущих оказать на нее влияние, что считаю излишним приводить здесь подробное описание этого опыта или полученных результатов (п. 732). Всех, желающих ознакомиться с этим вопросом, я отсылаю к разделу этой серии, трактующему о вольтовом электричестве (п. 704 и др.)

786. Далее, я считаю этот закон доказанным также для соляной кислоты на основании опытов и соображений, касающихся этого вещества и изложенных в разделе, посвященном описанию первичных и вторичных эффектов (п. 758 и др.).

787. Затем я полагаю этот закон доказанным также для

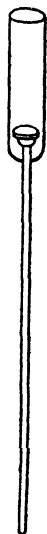
иодоводородной кислоты на основании опытов и соображений, приведенных в предыдущей серии этих исследований (пп. 767, 768).

788. Хотя и не с такой уверенностью, я все же беру на себя смелость утверждать, что описанные мной выше опыты, равно как и многочисленные не описанные опыты над плавиковой, синильной, ферроциановой и сульфоциановой кислотами (пп. 770, 771, 772), и наблюдающаяся большая аналогия между этими телами и водородными кислотами хлора, иода, брома и т. д. убеждают меня в том, что и эти тела подчиняются вышеупомянутому закону и доказывают его правильность.

789. Во всех вышеупомянутых случаях, кроме первого, вода рассматривается как нейтральная (inactive); однако во избежание всякого сомнения, могущего возникнуть благодаря присутствию воды, я постарался найти вещества, вполне свободные от последней. При помощи описанного выше закона проводимости (п. 300 и т. д.) я нашел большое количество таковых, между прочим, *хлористое олово*, которое и было в первую очередь подвергнуто разложению следующим образом: кусочек платиновой проволоки с пуговкой на конце был тщательно взвешен и герметически впаян в трубку из бутылочного стекла, так что пуговка находилась на дне трубки (рис. 51). Затем трубочка подвешивалась на платиновой проволоке и подогревалась на пламени спиртовой горелки. После этого внутрь трубки вводилось свежерасплавленное хлористое олово в таком количестве, чтобы наполнить ее до половины. Провод, впаянный в трубку, я соединял с вольтаэлектрометром (п. 711), который в свою очередь был соединен с отрицательным концом вольтовой батареи; платиновый конец проволоки, прикрепленной к положительному концу этой батареи, был опущен в расплавленное хлористое олово. Эта проволока была изогнута таким образом, что при возможном сотрясении руки или аппарата не могла коснуться отрицательного электрода на дне сосуда. Эта установка изображена на рис. 52.

790. При таких условиях производилось разложение хлористого олова. Хлор, выделявшийся на положительном электроде, образовал (п. 779) хлорное олово, улетающее в виде паров, а олово, выделявшееся на отрицательном электроде, вступало в соединение с платиной, образуя сплав, плавящийся при температуре трубки и поэтому

никогда не образывавший металлического соединения через разлагаемое хлористое олово. После того как опыт продолжался настолько долго, что в вольтэлектрометре получалось надлежащее количество газа, батарея размыкалась, положительный электрод удалялся и трубке с заключавшимся в ней остатком хлористого олова давали остынуть. Остывшую трубку разбивали, и стекло легко отделялось от платиновой проволоки с ее сплавленной пуговкой. Проволока вымывалась и взвешивалась. Прибавка в весе показала количество восстановленного олова.



791. Для выяснения подробностей устройства аппаратов, применявшихся для этого, а также других опытов, о которых мне придется говорить ниже, я приведу детали одного из них. Отрицательный электрод весил вначале 20 гран, по окончании опыта он с нарощим на нем сплавом весил 23,2 грана. Следовательно, олово, выделившееся на катоде под действием электрического тока, весило 3,2 грана. Количество водорода и кислорода, скопившееся в вольтэлектрометре, равнялось 3,85 куб. дюйма. Ввиду того что 100 куб. дюймов кислорода и водорода в пропорции, необходимой для образования воды, весят 12,92 грана, то 3,85 куб. дюйма должны весить 0,49742 грана, и это был бы

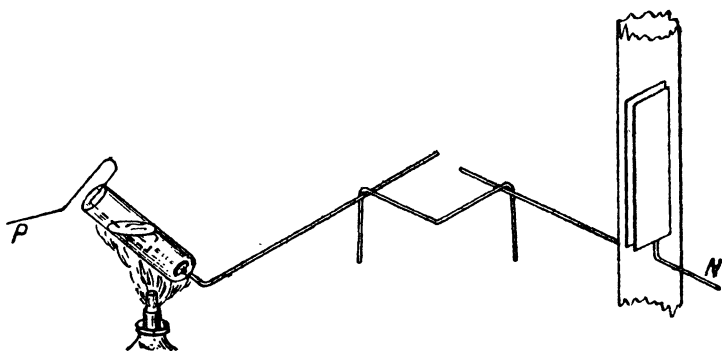


Рис. 52.

вес воды, которую разложил бы электрический ток, разложивший количество хлористого олова, могущее дать

3,2 грана металлического олова. Так как $0,49742 : 3,2 = 9$ (эквиваленту воды):57,9, то последнее число будет эквивалентом олова при условии, если опыт был проведен без ошибок и электрохимическое разложение и в этом случае было вполне определенным. В некоторых сочинениях по химии этот эквивалент дается равным 58, в других равным 57,9. Оба подходят столь близко к полученному выше результату, и самый опыт столь мало подвержен возможным осложнениям [например, благодаря абсорбции газа в вольтаэлектрометре (п. 716) и т. п.], что эти цифры не оставляют сомнений в приложимости закона *определенного действия* к этому и всем подобным случаям электрохимического разложения.

792. Мне не часто удавалось получать совпадение в числах, как в только что описанном случае. В четырех случаях количества газа, полученные в вольтаэлектрометрах, колебались от 2,95 до 10,29 куб. дюйма. Среднее из этих четырех опытов дало 58,53 для электрохимического эквивалента олова.

793. Оставшееся после опыта вещество представляло собой чистое хлористое олово, и никто не сможет ни на минуту сомневаться в том, что на аноде выделялся эквивалентный хлор, ибо в качестве вторичного продукта наблюдалось образование и улетучивание хлорного олова.

794. Подобным же образом были произведены опыты с хлорным свинцом, за исключением того, что положительный электрод был сделан из другого вещества. Ввиду того что выделяющийся на аноде хлор не образует высшего хлорида свинца и в случае применения платинового электрода соединяется с платиной, может получиться раствор хлорной платины, и тогда часть платины перейдет на катод, что испортит результат опыта. Поэтому я искал и нашел в графите вещество, которое с полной гарантией можно применять в качестве положительного электрода с такими телами, как хлориды, иодиды и т. п. Хлор и иод не действуют на графит, но выделяются самостоятельно. При указанных условиях графит не влияет также и на расплавленный хлорид или иодид, в который он погружен. Даже если в результате высокой температуры или механического воздействия выделяющихся газов от графита будут откалываться мелкие частицы, то это никоим образом не может повредить хлориду.

795. Среднее из трех опытов дало число 100,85 для эквивалента свинца. Химический его эквивалент 103,5. Я приписываю ошибку моего опыта частичному растворению газов в вольтаэлектрометре (п. 716), однако эти результаты убеждают меня в том, что в этом случае хлор и свинец под действием данного количества электричества (814 кв. дюймов) выделялись в строго определенных количествах.

796. *Хлористая сурьма*. Стремясь получить электрохимический эквивалент сурьмы из хлористого соединения, я пришел к выводу о присутствии в нем воды. Это было указано в более ранней серии настоящих исследований (пп. 690, 693 и т. д.).

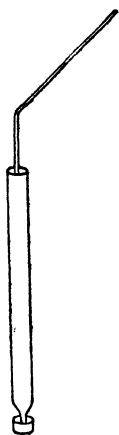


Рис. 53.

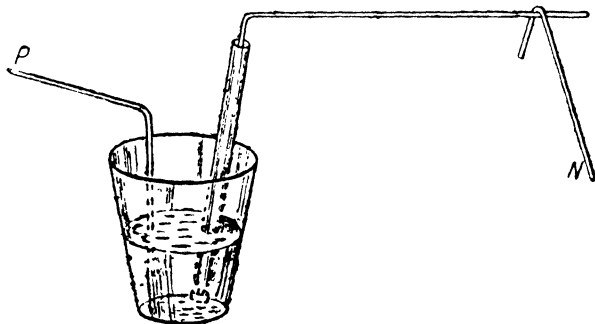


Рис. 54.

797. Я пытался экспериментировать с окисью свинца, полученной путем плавления и накаливания азотнокислой соли в платиновом тигле, но натолкнулся на большие трудности благодаря высокой температуре, необходимой для полного плавления этой окиси и ее высокой растворяющей способности (*fluxing qualities*). Опыты с трубками из зеленого стекла показали их непригодность. В конце концов я плавил эту окись в небольшом фарфоровом тигле, сильно нагретом в пламени древесного угля. Так как было весьма существенно, чтобы выделение свинца происходило на катоде под поверхностью электролита, то отрицательный электрод, заключенный в трубку из зеленого стекла, был впаян в трубку таким образом, что открытой оставалась только платиновая пуговка на нижнем его конце (рис. 53). Конец электрода мог быть введен под поверхность, и выде-

лявшийся в этом месте свинец изолировался тем самым от соприкосновения с воздухом или кислородом. В качестве положительного электрода была взята платиновая проволока, не окисляющаяся под действием выделяющегося на ней кислорода. Вся установка изображена на рис. 54.

798. Опыт дал для свинца эквивалент, равный 93,17. Это число было чересчур мало, что объясняется по всей вероятности тем, что положительный и отрицательный электроды в окиси свинца были расположены чересчур близко один от другого. Благодаря этому пена из кислорода, выделявшегося на аноде, время от времени слегка касалась свинца, выделявшегося на катоде, и могла снова его окислять. Я пытался устранить этот источник ошибки, беря большое количество окиси свинца. Однако вследствие высокой температуры, необходимой для расплавления этого вещества, тигель вскоре перегорел, и опыт пришлось прекратить.

799. В одном опыте такого рода я пользовался борнокислым свинцом (пп. 408, 673). При этом под действием электрического тока на аноде выделялся свинец, а на катоде кислород. Так как при этом борная кислота ни непосредственно (п. 408), ни случайно не разлагается, то я заключил, что этот результат объясняется разложением окиси свинца. Борнокислая окись свинца является менее энергичным флюсом, нежели окись свинца, однако для полного плавления ее необходима более высокая температура, и если она недостаточно горяча, то пузырьки кислорода скопляются на положительном электроде и препятствуют прохождению электричества. Эквивалент для свинца оказался равным 101,29 — число, столь близкое к 103,5, что действие тока было, повидимому, вполне определенным.

800. *Окись висмута*. Это вещество, как оказалось, требует чересчур высокой температуры, вследствие чего я не мог использовать его в моих опытах.

801. Затем действию электрического тока была подвергнута обыкновенная *окись сурьмы*, состоявшая из одного эквивалента металла и полутора эквивалентов кислорода. Вещество помещалось в трубочку из зеленого стекла (п. 789), завернутую в листок платиновой жести и нагретую в пламени древесного угля. Вначале разложение шло вполне успешно, повидимому, согласно общему закону (пп. 679, 697), что указывало на то, что эта окись пред-

ставляет собой соединение таких элементов и при таких условиях, которые подчиняются действию электрического тока. Как я пытался показать выше, это вероятно объясняется присутствием истинного окисла, состоящего из простых пропорциональных составных частей (пп. 696, 693). Однако действие постепенно ослабевало и, наконец, вовсе прекратилось вследствие образования высшей окиси сурьмы на положительном электроде. Это соединение (по всей вероятности, перекись сурьмы) не плавилось и не растворялось в окиси сурьмы, вследствие чего оно образовало кристаллическую корку вокруг положительного электрода, изолируя его и препятствуя прохождению электричества. Я сомневаюсь в его разложимости даже в том случае, если бы оно было способно плавиться и растворяться, ибо оно не обладает необходимым для этого составом (п. 697). Оно являлось очень естественным вторичным образованием на положительном электроде (п. 779). При вскрытии трубки оказалось, что на отрицательном электроде выделилось немного сурьмы, однако в количестве, чересчур малом для получения количественного результата.

802. *Иодный свинец*. С этим веществом можно производить опыты в стеклянных трубках на пламени спиртовой горелки (п. 789). Однако я не получил с ним удовлетворительных результатов, применяя как платиновые, так и графитные положительные электроды. При двух опытах я получил в качестве эквивалента свинца числа 75,46 и 73,45 вместо 103,5. Я объясняю это тем, что на положительном электроде образовался периодид, который, растворяясь в жидком иодиде, приходил благодаря этому в соприкосновение со свинцом, выделяющимся на отрицательном электроде, растворял последний и таким путем снова превращался в простой иодид. Такой периодид существует; полученный осаждением и хорошо промытый иодид ввиду наличия упомянутого высшего соединения очень редко удается поэтому расплавить без выделения иода и при кристаллизации из горячего водного раствора он не свободен от этого тела. Даже простое растирание в ступке иода с небольшим количеством иодида дает немного периодида. И как бы хорошо периодид ни разлагался в результате лавления и нескольких минут нагревания до красного каления, превращаясь целиком в иодид, все же не исключена возможность, что небольшое количество его, образующееся на аноде от

избытка иода, быстрыми токами в жидкости может быть перенесено на катод.

803. Этот взгляд на полученные результаты был подтвержден результатами третьего опыта, при котором расстояние между электродами было увеличено до $1\frac{1}{3}$ дюйма. Это значительно ослабило посторонние действия, и эквивалентное число для свинца оказалось равным 89,04. Эти результаты были полностью подтверждены результатами, полученными в случаях *переноса*, которые будут описаны несколько ниже (п. 818).

Вот почему опыты с иодным свинцом не являются исключением из вышеупомянутого *общего закона*, но могут на основании общих соображений быть рассматриваемы как подчиненные ему.

804. *Иодистое олово*. В расплавленном состоянии оно проводит электрический ток и разлагается последним (п. 402). На катоде выделяется олово, а на аноде в качестве вторичного результата иодное олово (пп. 779, 790)¹. Температура его плавления слишком велика, чтобы получить продукты, которые могли бы быть взвешены.

805. Затем электролитическому действию был подвергнут иодистый калий, заключенный в трубку (рис. 51). Отрицательный электрод состоял из свинцового шарика. С помощью последнего я надеялся удержать калий и получить результаты, могущие быть взвешены и сравнены с показаниями вольтэлектрометра. Однако эти результаты не были получены вследствие затруднений, связанных с высокой температурой этого опыта, действия на стекло, плавкости платины, обусловленной наличием свинца, и других обстоятельств, препятствовавших получению подобных результатов. Как и в предыдущих случаях, наблюдалось разложение иодистого соединения с выделением иода на аноде и калия на катоде.

806. В некоторых опытах ряд веществ одновременно разлагался одним электрическим током. Так, я действовал током одновременно на хлористое олово, хлорный свинец и воду. Излишне говорить, что результаты были сравнимы, и олово, свинец, хлор, водород и кислород выделялись в *определенных* и соответствующих электрохимическим элементам *количествах*.

¹ В оригинале наименования электродов ошибочно поставлены в обратном порядке. (Ред.)

807. Теперь обратимся к другому типу доказательств закона *определенного химического действия электричества*.

Если бы существовало какое-нибудь обстоятельство, влияющее на количество веществ, выделяющихся при электролитическом действии, то таковым в первую очередь должно было бы быть применение электродов, составленных из различных веществ и обладающих очень различным химическим сродством с выделяющимися телами. Платина в разбавленном растворе серной кислоты не может соединиться с кислородом на аноде, несмотря на то, что кислород находится *in status nascens*. С другой стороны, медь тотчас же соединяется с кислородом, как только последний отделяется от водорода электрическим током. Цинк не только в состоянии соеди-

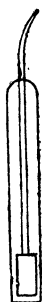


Рис. 55.

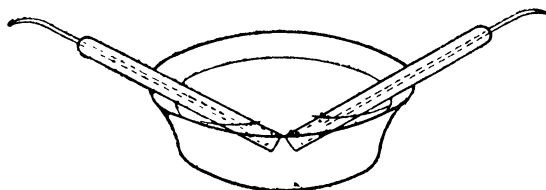


Рис. 56.

ниться с кислородом, но может даже без помощи электричества выделить кислород непосредственно из воды с одновременным образованием пузырьков водорода. И все же, когда эти три вещества были применены в качестве положительных электродов в трех одинаковых порциях разбавленной серной кислоты удельного веса в 1,336, то при помощи электрического тока было разложено одинаковое количество воды и *на катодах* выделилось одинаковое количество водорода.

808. Этот опыт был поставлен следующим образом. Одинаковые порции разбавленной серной кислоты были налиты в три чашки и три вольтаметра в форме, изображенной на рис. 55 и 56, и были наполнены той же кислотой и опрокинуты в чашки, по одному на каждую чашку (п. 707). Полоска цинка, соединенная с положительным концом вольтовой батареи, была опущена в первую чашку, образуя в ней положительный электрод. Выделявшийся благодаря

непосредственному воздействию кислоты водород свободно улетучивался. Полоска меди, опущенная во вторую чашку, соединялась с отрицательным электродом первой чашки, а платиновая полоска, опущенная в кислоту третьей чашки, соединялась с отрицательным электродом второй. Отрицательный электрод третьей чашки соединялся с вольтметром (п. 711), а последний — с отрицательным концом вольтовой батареи.

809. Тотчас же после замыкания цепи началось электрохимическое действие во всех трех сосудах. На положительном цинковом электроде первой чашки выделялся водород, повидимому, в неограниченном количестве. На положительном медном электроде второй чашки кислород не выделялся, но в этом случае, по всей вероятности, происходило образование медного купороса. Наоборот, на положительном платиновом электроде в третьей чашке выделялся чистый кислород, и электрод не подвергался окислению. Однако количество водорода, выделившегося на отрицательных платиновых электродах, было во всех трех чашках одинаково и равно количеству водорода, выделившемуся в вольтметре, а это показывает, что током во всех трех сосудах было разложено одинаковое количество воды. Этот опыт явился подтверждением закона определенного химического действия электричества.

810. Подобный же опыт был произведен при помощи соляной кислоты, разведенной равным объемом воды. В качестве трех положительных электродов были взяты цинк, серебро и платина. В первом случае хлор выделялся без помощи электрического тока и вступал в соединение с цинком. Серебро может соединиться с хлором лишь после того, как последний будет выделен действием электрического тока, а платина почти совершенно не способна к соединению с хлором. В качестве отрицательных электродов были взяты, как и в первом случае, полоски платины, укрепленные в стеклянных трубках. В этом опыте, как и в предыдущем, количество водорода, выделившегося на катодах, было одинаково во всех трех случаях и равно количеству водорода, выделившегося в вольтметре. Я уже упоминал о соображениях, заставляющих меня предполагать, что в данном случае электрический ток разлагает непосредственно соляную кислоту (п. 764), и результаты показывают, что разложенные подобным образом количества *абсолютно*

определены и пропорциональны прошедшему количеству электричества.

811. В этом опыте прохождению электрического тока мешало образовавшееся во второй чашке хлорное серебро, в полном соответствии с упомянутым выше законом проводимости (п. 394). В продолжение опыта оно должно было удаляться четыре-пять раз. Однако это не отразилось на результатах, которые были тождественны с полученными в остальных чашках.

812. Затем в качестве положительного электрода в серной, а также соляной кислотах был взят древесный уголь (пп. 808, 810), однако результаты были те же. Столь же неизменные результаты были получены с положительным цинковым электродом в серноокислом натре или растворе поваренной соли.

813. Затем были поставлены опыты с телами, находящимися в совершенно ином состоянии, например, с *расплавленными* хлоридами, иодидами и т. д. Я уже дал выше описание опыта с расплавленным хлорным серебром. В этом случае в качестве электродов было взято металлическое серебро, причем отрицательные стали толще и длиннее благодаря осажденному на них металлу, положительные же оказались изъеденными и растворенными (п. 541). Этот опыт был повторен, причем в качестве электродов были взяты два предварительно взвешенных куска серебра, и в цепь был включен вольтметр. Было обращено большое внимание на постоянную и тщательную очистку отрицательного электрода с целью предотвращения образования металлического соединения из кристаллов восстановленного серебра под поверхностью расплавленного хлорида. По окончании опыта положительный электрод был снова взвешен, и потеря была установлена. Смесь хлорного серебра и металла, отнятая последовательными порциями отрицательным электродом, была дигирирована в растворе аммиака с целью отделения хлорного серебра, и оставшееся металлическое серебро было взвешено. Это было серебро, осадившееся на катоде. Оно в точности было равно количеству серебра, растворенному на аноде, и каждая порция была приблизительно равна эквиваленту воды, разложенной в вольтметре.

814. Длина и разветвленность кристаллов серебра, а также тот факт, что последнее не плавится при применяемой нами температуре, значительно затрудняют постановку этого опыта

и делают его результаты сомнительными. Поэтому я работал с хлорным свинцом и применял при этом трубку из зеленого стекла, изогнутую, как показано на рис. 57.

В дно небольшой трубки описанным выше образом (п. 789) была впаяна предварительно взвешенная платиновая проволока. Затем трубка была изогнута под углом на расстоянии приблизительно $\frac{1}{2}$ дюйма от ее запаянного конца и, наконец, часть между изгибом и концом была размягчена и затем несколько втянута вверх для того, чтобы образовать возвышение, разделяющее два маленьких углубления *a* и *b*, как показано на рис. 57. Этот прибор был, как и раньше, подвешен на платиновой проволоке над пламенем спиртовой горелки и наклонен таким образом, чтобы во время плавления хлорного свинца весь воздух имел возможность выйти из трубки. Положительным электродом служила платиновая проволока, на

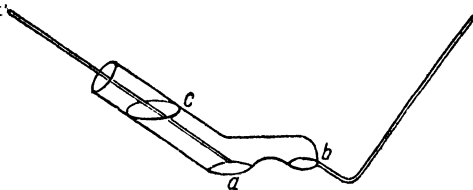


Рис. 57.

одном конце закрученная в пуговку, к которой было припаяно около 20 гран металлического свинца, причем все было заключено в небольшую узкую стеклянную трубку, которая затем разбивалась. Приготовленная таким образом проволока взвешивалась, и вес отмечался.

815. В трубку помещался хлорный свинец и тщательно расплавлялся; затем вводился снабженный на конце свинцом электрод, так что металл вскоре расплавлялся. В этот момент трубка до *c* наполнялась расплавленным хлорным свинцом. Конец электрода, впаянного в углубление *b*, делался отрицательным, а электрод из расплавленного свинца, опущенный в углубление *a*, становился положительным при соединении с проводами от вольтовой батареи. В цепь включался также и вольт-аэлектрометр.

816. Тотчас же по включении вольтовой батареи возникал ток, и начиналось разложение. На положительном электроде хлор не выделялся; однако благодаря прозрачности расплавленного хлорного серебра можно было наблюдать постепенное нарастание пуговки сплава у *b* и постепенное уменьшение количества свинца у *a*. По истечении некоторого времени опыт прерывался, трубка остывала и затем разби-

валась. Проволоки с нарощими на них пуговками были очищены и взвешены и изменение их веса сравнено с показаниями вольтаэлектromетра.

817. В этом опыте потеря свинца на положительном электроде точно соответствовала приросту последнего на отрицательном (п. 795), и прирост или потеря были очень близки к эквиваленту воды, разложенной в вольтаэлектromетре, а именно для свинца число было равно 101,5. Следовательно, из этого опыта явствует, что наличие сильного сродства для вещества, осажденного на аноде, или полное отсутствие такового не оказывает никакого влияния на определенность химического действия электрического тока.

818. Сходный опыт был поставлен с иодным свинцом, и таким путем удалось избежать всех затруднений, связанных с образованием периодида (п. 803). В продолжение всего действия не наблюдалось выделения иода, и в конце уменьшенное количество свинца на аноде соответствовало увеличению количества его на катоде или, будучи сравнено с показаниями вольтаэлектromетра, соответствовало числу 103,5.

819. Затем подобным же образом действию электрического тока было подвергнуто хлористое олово, причем, конечно, в качестве положительного электрода было взято олово. Образование хлорного олова не наблюдалось (пп. 779, 790). При исследованиях обоих электродов оказалось, что потеря на положительном электроде точно соответствовала приросту на отрицательном, и путем сравнения с показаниями вольтаэлектromетра число для олова оказалось равным 59.

820. В таких и подобных опытах необходимо тщательно исследовать внутренность шишкообразных наростов сплава на концах проводов, ибо иногда они, особенно те, которые служили положительными электродами, заключают в себе каверны, наполненные хлоридом или иодидом, которые должны быть удалены до взвешивания. Это явление чаще наблюдается у свинца, чем у олова.

821. Все эти факты, как мне кажется, самым неопровержимым и определенным образом подтверждают истинность важного закона, упомянутого мной выше, а именно, что *химическая сила электрического тока прямо пропорциональна абсолютному количеству прошедшего электричества* (пп. 377, 783). Далее, они доказывают правильность

этого закона в применении не только к воде, но вообще ко всем электролитическим веществам, а кроме того, что результаты, полученные с одним веществом, не только совпадают между собой, но и с результатами, полученными с другими веществами, так что все они дают *ряд определенных электрохимических действий* (п. 505). Я не хочу этим отрицать наличия исключений, возможно что они существуют, в особенности среди веществ, связанных слабым средством; однако я не думаю, чтобы они могли в значительной степени поколебать этот закон. Если исключения, встречающиеся в хорошо продуманном, исследованном и, я могу сказать с уверенностью, вполне обоснованном учении об определенности обычного химического средства несколько не уменьшают нашего доверия к общей правильности этой теории, то тем более они не должны нас смущать в данном случае, при рождении нового учения об электрохимическом действии. Те, кто озабочен развитием и усовершенствованием этого учения, не должны рассматривать исключения как препятствия, но, отодвинув их на время в сторону, иметь надежду, что рано или поздно им будет найдено полное и исчерпывающее объяснение¹.

Королевский институт
31 декабря 1833 г.

822. Учение об определенном электрохимическом действии, которое я только что изложил и, надеюсь, прочно установил, приводит к некоторым новым взглядам на взаимоотношение и природу веществ, связанных с этим действием или являющихся его объектом. Рассмотрим некоторые из них.

¹ В VIII серии (§§ II и IV) Фарадей рассматривает вопрос о напряжении, необходимом для электролитического разложения, и о сопротивлении электролитов. Эти параграфы показывают, что Фарадею не был известен закон Ома (1827) или же он, по каким-то основаниям, не считал возможным пользоваться им в данном вопросе. В пп. 988 и 1032 Фарадей высказывает сомнение о всеобщности установленного им закона определенности электрохимического действия, так как опыт показал, что для электролитического разложения необходимы определенное напряжение и сила тока.

Вопрос этот был выяснен Гельмгольцем, доказавшим, что при слабых напряжениях и токах происходит диффузия и воссоединение полученных в результате электролиза продуктов. (Ред.)

823. Сложные вещества могут быть подразделены, во-первых, на две большие группы: разлагаемые и не разлагаемые электрическим током; из последних некоторые являются проводниками, а другие непроводниками вольта-электричества*.

Разложимость тел, входящих в первую группу, определяется не только природой образующих их элементов, но и количественным соотношением элементов (п. 697), так как из одних и тех же элементов могут быть составлены тела, из которых одно будет относиться к одному классу, а другое — к другому. Далее необходимо отметить, что за весьма малыми исключениями, а возможно и без исключений (пп. 414, 691), эти разлагаемые тела принадлежат именно к тем телам, которые подчиняются замечательному закону проводимости, описанному мной выше (п. 894), ибо этот закон не распространяется на многочисленные сложные плавящиеся вещества, не входящие в эту группу. Я предложил назвать тела, входящие в разложимую группу, *электролитами* (п. 664).

824. В свою очередь вещества, на которые эти тела разлагаются, образуют весьма важную группу. Это — соединяющиеся вещества; они непосредственно подчиняются основным законам учения о химическом средстве, и каждое из них выделяется на электродах в определенных количественных соотношениях. Я предложил назвать эти тела *ионами*, в частности, *анионами* и *катионами*, в зависимости от того, выделяются ли они на аноде или на катоде (п. 665), а числа, представляющие собой количественное соотношение, в которых они выделяются, — электрохимическими эквивалентами. Таким образом водород, кислород, хлор, иод, свинец, олово представляют собой ионы; первые три суть анионы, а оба металла суть катионы; числа 1, 8, 36, 104, 58 125, суть приблизительно их электрохимические эквиваленты.

825. Ниже я резюмирую в форме общих положений некоторые установленные пункты относительно электролитов, ионов и электрохимических эквивалентов; надеюсь не сделать при этом особенно крупных ошибок.

826. I. Отдельный, т. е. не связанный с другим, ион не

* Здесь под вольтаэлектричеством я подразумеваю лишь электричество из источника большой производительности, но обладающее малым напряжением.

обнаруживает стремления к электродам и вполне индифферентен к проходящему току, если только он не представляет собой соединения более элементарных ионов и таким образом подвержен разложению. На этом основано большинство доказательств в пользу новой теории электродинамического разложения, изложенных мной в одной из предыдущих серий этих исследований (п. 578 и сл.).

827. II. Если один ион соединен в соответствующем определенном соотношении (п. 697) с другим, резко ему противоположным по своим обыкновенным химическим свойствам, т. е. если анион будет соединен с катионом, то один направится к аноду, а другой — к катоду разлагаемого тела.

828. III. Поэтому если один ион переходит на один электрод, то другой одновременно переходит на другой, хотя в результате вторичных явлений он может на нем не выделиться.

829. IV. Тело, разлагаемое непосредственно электрическим током, т. е. электролит, должно состоять из двух ионов, которые должны выделиться во время акта разложения.

830. V. Каждые два элементарных иона могут составить только один электролит; повидимому, это действительно так (п. 697) на основании закона, гласящего, что вещества могут направляться к электродам только в количествах, выражаемых простыми электрохимическими эквивалентами, а не их кратными.

831. VI. Тело, не разложимое само по себе, как, например, борная кислота, не может быть непосредственно разложено электрическим током, даже когда входит в состав другого тела. Оно может в качестве *иона* перейти целиком на *анод* или *катод*, но не разлагается на составные элементы кроме некоторых случаев вторичного действия. Может быть будет излишним подчеркнуть, что это не относится к таким случаям, как, например, вода, электропроводность которой повышается от присутствия других тел и которая поэтому становится более легко разложимой.

832. VII. Природа веществ, из которых состоит электрод, если только они являются проводниками, не влияет на род и степень электрохимического разложения, но зато она оказывает серьезное влияние в результате вторичного процесса на состояние, в котором ионы в конце концов выделяются. Руководясь этими принципами, можно собирать и комбинировать те ионы, обращение с которыми, если они

выделяются в свободном состоянии, представляет большие трудности*.

833. VIII. Вещество, которое, будучи употреблено в качестве электрода, способно соединяться с выделяющимся на нем ионом, я думаю, также является ионом и соединяется в таких случаях в количествах, представляющих его электрохимический эквивалент.

Все произведенные мной опыты подтверждают эту точку зрения и мне теперь кажется, что она с необходимостью вытекает из всего вышеизложенного. Более пространное исследование покажут, приложима ли эта точка зрения к случаям вторичного процесса, когда *ион* действует не на вещество электрода, но на вещество, находящееся в жидкости вокруг него.

834. IX. Сложные ионы не должны обязательно состоять из электрохимических эквивалентов простых ионов. Например, серная кислота, борная кислота, фосфорная кислота представляют собой ионы, но не электролиты, т. е. не составлены из электрохимических эквивалентов простых ионов.

835. X. Электрохимические эквиваленты всегда постоянны, т. е. число, представляющее собой эквивалент вещества *A*, когда оно отделяется от вещества *B*, будет представлять *A* и тогда, когда оно будет отделяться от третьего вещества *C*. Так, 8 является химическим эквивалентом кислорода, независимо от того, отделяется ли он от водорода, олова или свинца, а 103,5 представляет собой электрохимический эквивалент свинца, отделяется ли он от кислорода, хлора или иода.

836. XI. Электрохимические эквиваленты совпадают с обыкновенными химическими эквивалентами.

837. XII. На основе вышеизложенных положений и опытов может быть различными путями достигнуто знакомство с ионами и их электрохимическими эквивалентами.

838. Во-первых, этого можно достигнуть непосредственно,

* Часто случается, что электроды создают с жидкостью, в которую они погружены, электрический ток, совпадающий или противоположный току от вольтова столба, и таким образом или же путем непосредственно химического действия влияют на результаты опыта. Однако среди всех этих мешающих эффектов электрический ток, проходящий в любом направлении через тело, подвергаемое разложению, производит свое собственное определенное электрохимическое действие,

как это было проделано с водородом, кислородом, оловом и свинцом путем многочисленных опытов, цитированных выше.

839. Во-вторых, знакомство с многими другими ионами и их эквивалентами может быть выведено из положения II и III. При разложении хлористого свинца в том случае, когда для обоих электродов применялась платина, факт перехода хлора на анод, хотя он там и вступает в соединение с платиной, не возбуждает сомнений, как и в том случае, когда свинец выделяется в свободном состоянии, благодаря тому, что положительный электрод состоит из графита. Можно также считать несомненным, что в обоих случаях на каждые 103,5 частей свинца, выделившихся на катоде, на аноде было выделено 36 частей хлора, потому что остальной хлористый свинец остался без изменения. Следовательно, когда в растворах солей металлов на аноде выделяется один объем кислорода или вторичное соединение, содержащее это количество, то, несомненно, количество водорода, эквивалентное двум объемам, направляется к катоду, хотя в результате вторичного процесса водород и идет на восстановление окислов меди, свинца или других металлов до состояния металла. Таким образом опыты, описанные в этих исследованиях, показывают нам, что хлор, иод, бром, кальций, калий, стронций, магний, марганец и т. д. являются *ионами* и их *электрохимические эквиваленты* соответствуют их *обыкновенным химическим эквивалентам*.

840. Положения IV и V дают нам возможность увеличить запас наших сведений, ибо если вещество, химический состав которого нам известен, оказывается разложимым и природа вещества, выделившегося в результате первичного или даже вторичного процесса на одном из электродов, определена, то электрохимический эквивалент этого тела может быть выведен из известного постоянного состава выделившегося вещества. Так, в случае разложения расплавленного иодистого олова voltaическим током мы можем заключить, что иод и олово суть ионы и что количественные отношения, в которых они соединяются в расплавленном соединении, выражают их электрохимические эквиваленты. Расплавленный иодистый калий также является электролитом, и его химические эквиваленты являются вместе с тем и его электрохимическими эквивалентами.

841. Если дальнейшее экспериментальное исследование

подтвердит правильность положения VIII, это не только будет способствовать подтверждению результатов, полученных путем применения остальных положений, но и даст богатый оригинальный материал.

842. Во многих случаях вторичные результаты, полученные путем воздействия выделившегося *иона* на вещества, заключенные в окружающей жидкости или растворе, дают электрохимический эквивалент. Так, в растворе уксуснокислого свинца и, насколько я знаю, в случае других солей, подверженных восстановительному действию выделяющегося на катоде водорода, металл осаждается в таком количестве, в каком он появился бы, если бы он был первичным продуктом (при условии невыделения свободного водорода), и поэтому дает число, точно соответствующее его электрохимическому эквиваленту.

843. Основываясь на этом принципе, вторичные результаты можно иногда использовать для измерения вольтаэлектрического тока (пп. 706, 740); однако лишь немногие металлические растворы подходят для этой цели, так как если металл легко осаждается, то водород выделяется на катоде и может дать неправильный результат. Подобный же неверный результат получится в том случае, если на аноде образуется растворимая перекись или если осажденный металл дает кристаллы, прорастающие в растворе и достигающие положительного электрода. Однако я надеюсь, что растворы некоторых солей, как, например, уксуснокислой ртути или уксуснокислого цинка, окажутся подходящими для этих опытов.

844. Закончив первые экспериментальные исследования, доказывающие определенность химического действия электричества, я применил для проверки чисел, полученных электролитическим путем, более точные результаты химического анализа. Это может быть произведено во многих случаях без нарушения необходимой в научных исследованиях точности. Ряды цифр, представляющих электрохимические эквиваленты, а также обыкновенные эквиваленты химически действующих веществ, должны быть постоянно исправляемы на основании данных, полученных путем опыта или логического рассуждения.

845. Помещенная ниже таблица ионов и их электрохимических эквивалентов является скорее образцом первой попытки в этом направлении, нежели полным и совершенным

обзором этой группы веществ, необходимость в которой мы очень скоро почувствуем. Считая такую таблицу (если она будет хорошо составлена) чрезвычайно полезной для дальнейшего развития наших познаний о взаимоотношениях между обыкновенным химическим сродством и электрическим действием и для идентификации этих двух явлений не только путем голословных утверждений, но опираясь на фактический материал, я позволю себе выразить надежду, что эта таблица будет всегда заключать в себе действительные, а не гипотетические электрохимические эквиваленты. В противном случае мы рискуем пройти мимо фактов и не заметить того, что находится непосредственно на нашем пути.

846. Эквивалентные числа не претендуют на точность и взяты почти целиком из результатов химических исследований других естествоиспытателей, которым я в этом вопросе доверяю больше, чем самому себе¹.

847. Таблица ионов

А н и о н ы

Кислород	8	Фосфорная кислота	35,7
Хлор	35,5	Углекислота	22
Иод	126	Борная кислота	24
Бром	78,3	Уксусная кислота	51
Фтор	18,7	Винная кислота	66
Циан	26	Лимонная кислота	58
Серная кислота	40	Щавелевая кислота	36
Селеновая кислота	64	Сера (?)	16
Соляная кислота	54	Селен (?)	
Хлорная кислота	75,5	Сульфоциан	

К а т и о н ы

Водород	1	Никель	29,5
Калий	39,2	Сурьма	64,6 (?)
Натрий	23,3	Сода	31,3
Литий	10	Едкий литий	18
Барий	68,7	Барит	76,7
Кадмий	55,8	Гидрат окиси строн- ция	51,8
Церий	46	Известь	28,5
Кобальт	29,5		

¹ В нижеприводимой таблице эквивалентов Фарадей следует Дальтону, не имевшему еще правильного знания химического состава ряда соединений, принимавшего, например, для воды НО, вместо Н₂О и т. д. Дальтон получил поэтому неправильные атомные веса для кислорода, свинца, олова и т. д. См. сноски на стр. 177 и 209. (Ред.)

Стронций	43,8	Золото	?
Кальций	20,5	Аммиак	17
Магний	12,7	Окись калия	47,2
Марганец	27,7	Гидрат окиси магния	20,7
Цинк	32,5	Гидрат окиси алюми-	
Олово	57,9	ния	(?)
Свинец	103,5	Гидраты окисей ме-	
Железо	28	таллов вообще	
Медь	31,6	Хинин	171,6
Висмут	71	Цинхона	160
Ртуть	200	Морфий	290
Серебро	108	Растительные осно-	
Платина	98,67	вания вообще	

848. Те из помещенных в этой таблице веществ, которые взаимно действуют между собой или способны земещать друг друга, могут быть впоследствии выделены в отдельные группы. Так, например, кислоты и основания реагируют друг с другом, но не действуют в соединении с кислородом, водородом или элементарными веществами. Необходимость такого подразделения становится очевидной при более близком рассмотрении электрических взаимоотношений частиц вещества. В первую группу войдут, по всей вероятности, простые вещества, а также галоиды, сульфоциан и одно или два других сложных вещества, во вторую — кислоты и основания и те аналогичные им соединения, которые окажутся ионами. Войдут ли все ионы в эти две группы или окажется необходимым установить третью группу для более сложных веществ, покажут дальнейшие опыты.

849. *Вероятно*, что все известные нам простые вещества являются ионами, но это еще не выяснено с полной достоверностью. Принадлежность некоторых из них, как, например, углерода, фосфора, азота, кремния, бора и алюминия, к группе ионов было бы желательно выяснить возможно скорее. Затем существует много сложных веществ, как глинозем и кремнезем, которые желательно немедленно классифицировать путем исключаящих опытов. *Возможно*, что все тела, как простые, так и сложные, способные вступать между собой в соединения, могут быть отнесены к группе ионов, но в настоящее время этого нельзя утверждать с полной определенностью. Экспериментальные данные, которыми я обладаю, настолько ничтожны в сравнении с теми материалами, которые могут быть собраны по этому вопросу, что я предпочитаю воздержаться от окончательного суждения.

850. Мне кажется, что я не заблуждаюсь, придавая учению об определенном электрохимическом действии чрезвычайно важное значение. Это учение теснее всего соприкасается своими экспериментальными основаниями с прекрасной идеей о том, что обыкновенное химическое сродство является лишь следствием электрических притяжений частиц различных родов материи, и с его помощью мы, вероятно, сможем найти пути для объяснения того, что теперь кажется нам еще непонятным, полностью доказать правильность самой идеи или же выдвинуть другую ей на смену.

851. Электрохимические эквиваленты могут оказаться очень полезными для выяснения в сомнительных случаях правильного химического эквивалента, определенного пропорционального числа или атомного веса какого-нибудь вещества. Я настолько уверен в том, что силы, управляющие электрохимическим разложением, и силы обыкновенного химического притяжения тождественны, и настолько убежден во всемогущем влиянии тех естественных законов, которые придают первым их определенность, что не сомневаюсь, что и последние должны подчиняться тем же законам. А если это так, то я не сомневаюсь, что, приняв водород за единицу и отбросив для простоты мелкие, дробные величины, мы получили следующие эквивалентные числа или атомные веса: для кислорода 8, для хлора 36, для брома 78,4, для свинца 103,5, для олова 59 и т. д., несмотря на то, что один высокоавторитетный ученый удваивает некоторые из этих чисел¹.

¹ Фарадей имеет в виду Берцелиуса (1779—1848 гг.), подвергшего пересмотру атомные числа Дальтона. Различие между атомным и эквивалентным весом было отчетливо установлено Волластоном в 1814 г., хотя в смутной форме оно было известно еще Рихтеру (1791—1802 гг.). (Ред.)

ОБ АБСОЛЮТНОМ КОЛИЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, СОЕДИНЕННОГО С ЧАСТИЦАМИ ИЛИ АТОМАМИ МАТЕРИИ¹

(Том I, седьмая серия, § 13.)

852. Теория определенного электрического или электрохимического действия находится, как мне кажется, в непосредственной связи с абсолютным количеством электричества или электрической силой, принадлежащей различным веществам. Возможно, что, выражая свое мнение по этому вопросу, я выхожу за пределы области, ограниченной известными нам фактами; однако оставить его без внимания кажется мне невозможным и даже неосторожным. Хотя мы не знаем ничего о том, что представляет собой атом, однако в нашем уме невольно возникает представление о нем, как о маленькой частице. Наши познания относительно электричества так же, если не более, ограничены; мы не можем сказать, есть ли это особая материя или материи, или только движение обычной материи, или же какая-либо третья сила, или действующее начало. Однако громадное количество фактов убеждает нас в том, что между атомами материи и электрическими силами существует какая-то связь и что именно этим силам атомы обязаны своими самыми поразительными свойствами и, между прочим, взаимным химическим сродством. После того, как учение Дальтона показало нам, что каждая химическая сила, несмотря на все разнообразие условий, в которых она проявляется, соответствует опреде-

¹ Установленная в настоящее время абсолютная величина заряда, связанная с массой протона или электрона, равна $4,774 \cdot 10^{-10}$ абс. электростатических единиц. (Ред.)

ленному химическому веществу, мы научились определять относительную степень этой силы в каждом веществе; теперь же мы видим, наконец, что электричество, которое мы, повидимому, можем освобождать из его заключения и переводить с места на место без потери им химической силы, также может быть измерено и, будучи измерено, оказывается столь же *определенным в своем действии*, как любая из тех его *частей*, которые, оставаясь соединенными с частицами материи, сообщают им их химическое свойство. Этот факт доказывает, что, повидимому, мы нашли звено, связывающее количественные отношения получаемых нами веществ с количественными отношениями частиц в их нормальном состоянии.

853. Мне кажется удивительным, какое незначительное количество сложного вещества разлагается действием известного количества электричества. Рассмотрим этот и еще некоторые вопросы применительно к воде. Для разложения *одного грана* воды, подкисленной для повышения электропроводности, необходим электрический ток продолжительностью в $3\frac{3}{4}$ мин. и такой силы, что, будучи пропущен через платиновую проволоку толщиной в $\frac{1}{104}$ дюйма *, он поддерживает ее в состоянии красного каления в течение всего этого

* Я не указываю длины провода, ибо опыт и теория показывают, что эта длина безразлична¹.

То же самое количество электричества, проходящее в цепи в течение данного времени и доводящее до красного каления 1 дюйм платиновой проволоки определенной толщины, в состоянии также довести до той же степени нагрева проволоку в 100, 1000 и любое количество дюймов, если только условия охлаждения в каждом месте остаются прежними. Я доказал это с помощью вольтметра. Я нашел, что при доведении до желто-красного каления 1 и 8 дюймов платиновой проволоки в обоих случаях разлагается одинаковое количество воды. При употреблении $\frac{1}{2}$ дюйма проволоки накаливание имело место лишь посредине. Тонкая проволока может служить грубым, но удобным регулятором электрического тока; вводя его в цепь и отодвигая или сближая связанные с ним толстые провода так, чтобы кусок проволоки приблизительно имел ту же температуру, можно убедиться, что проходящий ток имеет приблизительно ту же самую интенсивность.

¹ Указываемая Фарадеем независимость степени нагрева от длины проволоки является следствием закона Джауля, именно (предполагая, что потерей на излучение можно пренебречь): $Q = RI^2t = \rho \frac{L}{S} I^2t$. Так как $Q = McT = VdcT = SLdcT^\circ$, где S — поверхность, L — длина, d — плотность, c — теплоемкость, T — температура, то

времени; будучи же пропущен сквозь цепь, в которую включены два остроконечные угля, дает очень яркий и постоянный свет. Если мы вспомним прекрасные опыты Уитстона*, показавшего, что разряд статического электричества совершается мгновенно, а также все, что я говорил в этих исследованиях о связи между обыкновенным и voltaэлектричеством, то мы сможем утверждать, что количество электричества, необходимое для разложения одного грана воды, равно очень сильному удару молнии. И однако, оно находится у нас в подчинении, мы можем получать, направлять и употреблять его по своему желанию, и когда оно проделает полную работу электролиза, то окажется, что оно только разложило на составные элементы один единственный гран воды.

854. С другой стороны, связь между проводимостью электричества и разложением воды настолько тесна, что одно влечет за собой другое. Если вода изменится хотя бы в той ничтожной степени, которую влечет за собой переход ее из жидкого состояния в твердое, проводимость, а вместе с тем и разложение приостанавливаются. Связь между обоими действиями остается одинаково тесной и неразрывной независимо от того, обусловлена ли проводимость разложением или нет (пп. 413, 703).

855. Если мы примем во внимание это тесное и двустороннее взаимоотношение, а именно, что разложение не происходит без передачи тока и что данное определенное количество электричества разлагает равно определенное и постоянное количество воды или другого вещества, а также тот факт, что действующее начало, каким является электричество, тратится на преодоление электрических сил в веществе, подверженном его действию, то придем к вероятному и почти естественному выводу, что количество проходящего электричества эквивалентно и, следовательно, равно количеству электричества, заключенному в разделяемых частях. Другими словами, если бы электрическая сила, которая

$\rho \frac{L}{S} I^2 t = SLdcT$ или $I = \sqrt{\frac{S^2 dcT}{\rho t}}$. Иначе говоря, сила тока при том же сечении S , времени t и температуре нагрева T° не зависит от длины. (Ред.)

* *Literary Gazette* 1 и 8 марта 1833 г.; *Phil. Magazine*, 1833, стр. 204; *L'Institute*, 1833, стр. 261.

держит вместе элементы грана воды или которая заставляет гран водорода и кислорода в определенных количественных соотношениях, соединяясь, дать воду, могла бы быть превращена в ток, то он был бы абсолютно равен току, необходимому для разложения грана воды вновь на его составные элементы.

856. Эта точка зрения дает нам почти потрясающее представление о необыкновенном количестве или степени электрической силы, заключенной в частицах материи; вместе с тем она нисколько не противоречит фактам.

.

861. Какое огромное количество электричества, следовательно, необходимо для разложения одного единственного грана воды. Мы уже видели (п. 853), что оно почти неизмеримо больше того, которое может быть получено при помощи наших небольших вольтовых батарей обычного типа (пп. 860, 371). Я пытался провести сравнение по потере веса такой проволоки в данное время в такой кислоте согласно принципу и опыту, которые будут описаны ниже (п. 862 и сл.). Но отношение оказалось настолько высоким, что я не сразу могу решиться назвать его. Повидимому, 800 000 таких зарядов лейденской батареи потребуются для того, чтобы разложить один гран воды или, если только я не ошибаюсь, для того, чтобы получить количество электричества, равное тому, которое заключено в составных элементах этого грана воды и является причиной их взаимного химического сродства.

.

868. Какой же вывод можно сделать из вышеописанного опыта? А вот какой: в этой простой вольтаической цепи химическое действие на 32,31 частей, или один эквивалент, цинка оказалось достаточным для получения в форме тока такого количества электричества, которое, пройдя сквозь воду, разложило 9 частей, или один эквивалент, этого вещества. Принимая во внимание определенные взаимоотношения электричества, описанные в предыдущих параграфах настоящего доклада, мы найдем, что результаты нашего опыта доказывают, что количество электричества, которое, будучи естественно соединено с частицами вещества, сообщает им способность к соединению и может, будучи превращено в ток, разрушить соединение между ними. Другими словами,

количество электричества, необходимое для разложения, и то, которое получается при разложении, равны друг другу.

869. Эта теория определенного выделения и эквивалентного определенного действия электричества вносит большую гармонию в связанные между собой теории определенных количественных соотношений и электрохимического сродства. Согласно этой теории эквивалентные веса веществ суть просто те количества их, которые содержат одинаковые количества электричества или обладают естественно одинаковыми электрическими силами; электричество определяет эквивалентное число, потому что оно определяет силу соединения. Если же мы примем атомную теорию или терминологию: атомы веществ, эквивалентные друг другу в их обычном химическом действии, обладают одинаковыми количествами электричества, естественно связанного с ними. Но должен сознаться, что я не люблю термина *атом*, потому что хотя и очень легко говорить об атомах, однако чрезвычайно трудно составить себе ясное представление об их природе, в особенности при рассмотрении сложных веществ.

870. Не могу не вспомнить здесь прекрасную идею, высказанную, кажется, Берцелиусом при изложении его взглядов об электрохимической теории сродства, а именно, что тепло и свет, выделяющиеся в случаях устойчивых соединений, являются следствием происходящего во время этого процесса электрического разряда. Эта мысль вполне совпадает с принятой мной точкой зрения на *количество* электричества, соединенного с частицами вещества.

871. Излагая закон определенного химического действия электричества и соответствующего ему определенного количественного соотношения в частицах веществ, я не претендую на то, что мне не удалось подвести под действие этого закона все случаи химического или электрохимического действия. Существует множество соображений теоретического характера, касающихся в особенности сложных частиц материи и тех электрических сил, которые, я надеюсь, со временем будут получать постепенное разъяснение, а также много экспериментальных случаев, как, например, случай соединений образованных слабыми силами сродства, случай одновременного разложения воды и солей и т. д., которые еще ждут исследования. Однако, каковы бы ни оказались результаты исследования этих и многих других вопросов, это

вряд ли сможет изменить приведенные мной факты и даже выведенные из них общие законы. Их значение настолько важно, что оправдывает их опубликование, хотя в них и осталось еще много несовершенного и недоконченного. Именно, в этом заключается великая красота нашей науки *химии*, что всякий шаг вперед, будь он мал или велик, не только не истощает количества объектов исследования, но, наоборот, открывает перед тем, кто возьмет на себя приятный труд экспериментального исследования, двери к дальнейшему более обширному познанию, полному красоты и пользы.

872. Количественная определенность получения электричества (п. 868) в связи с определенностью его действия доказывает, я полагаю, что ток электричества в вольтовом столбе поддерживается химическим разложением или, скорее, химическим действием, а не только при помощи контакта. Однако здесь, как и в других случаях, я воздерживаюсь от окончательного выражения своего мнения о реальном действии контакта, так как не пришел еще к окончательному выводу, является ли контакт причиной возникновения тока или только средством для переноса возникшего другим путем тока от одного металла к другому.

873. Но даже если мы примем, что источником возникновения электричества является химическое действие, то какую же ничтожно малую часть этого действия мы получаем и применяем в наших voltaических батареях! Цинковая и платиновая проволоки толщиной в $\frac{1}{18}$ дюйма и длиной в $\frac{1}{2}$ дюйма, опущенные в разбавленную серную кислоту, настолько слабую, что она не заметна на вкус и почти не может быть обнаружена нашими наиболее чувствительными лакмусовыми бумажками, выделяют в течение $\frac{1}{2}$ доли минуты больше электричества, чем любой из нас согласился бы пропустить сразу через свое тело. Химическое действие 1 грана воды на 4 грана цинка может выделить такое же количество электричества, как сильная гроза (п. 868). Утверждение, что это количество активно, не голословно; мы можем его направить и заставить произвести полное эквивалентное действие. Поэтому у нас есть все основания надеяться и верить, что путем более углубленного *экспериментального* исследования принципов, управляющих возбуждением и действием этого тонкого действующего начала, мы сможем усилить мощность наших батарей или изобрести

новые инструменты, превосходящие в тысячу раз те, которыми мы обладаем в настоящее время.

874. Здесь я должен временно оставить рассмотрение вопроса об *определённом химическом действии электричества*. Но прежде чем окончательно расстаться с этой серией экспериментальных исследований, я хочу напомнить, что в одной из предыдущих серий я доказал *определённость магнитного действия электрического тока*; эти исследования не были продолжены, но я не сомневаюсь, что исследование магнитных явлений может быть проведено с меньшим успехом, чем исследование химических эффектов.

ОБ ИНДУКЦИИ

VI. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ИНДУКЦИИ

(Том I. Серии XI, XII, XIII¹, § 18. Ноябрь 1837 г., февраль 1838 г.)

1295. Таким образом индукция, повидимому, есть по существу действие смежных частиц, через которые электрическая сила, зародившаяся или появившаяся в определенной точке, передается или поддерживается на расстоянии, причем там она появляется абсолютно в равном количестве в виде силы того же рода, но противоположной по направлению и стремлению (п. 1164). Для ограничения распространения индукции нет нужды в особенно толстых проводниках. Неизолированный золотой листок может быть сделан высоко положительным на одной стороне и так же высоко отрицательным на другой, причем пока продолжается индукция, одно состояние ничуть не мешает другому. Природа ограничивающих проводников ни в какой степени не влияет на индукцию; дурные проводники требуют лишь большего времени для достижения окончательного состояния.

1296. Совсем иначе обстоит дело с *диэлектриками* или изолирующими средами (п. 1167). Их толщина имеет важное непосредственное влияние на степень индукции. Что же касается их качества, то хотя все газы и пары независимо от их состояния в этом отношении одинаковы, однако между

¹ Коротенькая X серия (1835 г.) касается улучшенной формы вольтаической батареи. В сериях XI, XII, XIII изложены известные взгляды Фарадея на распределение линий электрической индукции. В противовес точке зрения мгновенного дальнего действия по линиям центров устанавливается взаимодействие сложных элементов среды, вводится понятие диэлектрика и линии электрической индукции характеризуются, вообще говоря, как кривые с боковым распором и продольным натяжением, См., однако, сноску к п. 1298. (Ред.)

твердыми телами, а также между твердыми телами и газами существуют различия, доказывающие наличие у тел специфических емкостей; эти различия могут быть в некоторых случаях очень велики.

1297. Прямая индуктивная сила, которую мы можем себе представить как действующую по определенным линиям между обеими ограничивающими и изолированными проводящими поверхностями, сопровождается боковой или трансверсальной силой, эквивалентной раздвижению или взаимотталкиванию этих воображаемых линий (п. 1224), или же притягательная сила, действующая между частицами диэлектрика в направлении индукции, сопровождается отталкивательной или раздвигающей силой в поперечном направлении (п. 1304).

1298. Индукция является, повидимому, особым состоянием поляризации частиц. Частицы приводятся в это состояние наэлектризованным телом, поддерживающим действие, причем образуются положительные или отрицательные точки или части, расположенные симметрично друг к другу и к индуцирующим поверхностям или частицам*.

Это состояние, очевидно, не является естественным состоянием, так как оно появляется и поддерживается только под действием силы, с удалением которой тело возвращается к нормальному состоянию или состоянию покоя. Оно может быть длительно и поддерживаемо при помощи того же количества электричества лишь в изоляторах, так как только их частицы могут длительно пребывать в этом состоянии (п. 1304).

1299. Принцип индукции является чрезвычайно общим принципом электрического действия. Он создает заряд в каждом обычном случае и, повидимому, во всех случаях вообще. Он является, повидимому, причиной всякого возбуждения и предшествует всякому току. Степень, которой достигают частицы в этом своем принудительном состоянии перед наступлением разряда того или другого рода, составляет, повидимому, то, что мы называем *интенсивностью*.

1300. При *зарядении* лейденской банки частицы стекла

* Излагаемая мной теория индукции не претендует на разрешение вопроса о том, есть ли электричество жидкость или жидкости, или же просто сила или состояние материи. Этим вопросом я, возможно, вынужден буду заняться в одной из следующих серий этих изысканий.

приводятся в поляризованное и принудительное состояние электричеством заряжающего аппарата. *Разряд* есть возвращение этих частиц от состояния напряжения к нормальному состоянию, при котором обе полярные электрические силы имеют возможность ориентироваться в некотором другом направлении.

1301. Весь заряд проводников располагается на их поверхностях, так как поверхности по существу индуктивны, и только там начинается среда, способная поддерживать необходимое индуктивное состояние. В случае полых, наполненных воздухом или другим диэлектриком проводников заряд все же не может появиться на их внутренней поверхности, так как находящийся внутри диэлектрик не может принять поляризованное состояние по всему объему вследствие противоположных действий, исходящих из противоположных направлений.

1302. Известное влияние *формы* прекрасно согласуется с изложенной выше корпускулярной теорией индукции. Наэлектризованный цилиндр подвержен на концах более сильному влиянию окружающих проводников (которые несут заряд), нежели по середине, так как концы подвергаются действию большей суммы индуктивных сил, чем середина. Острие может быть приведено в состояние более сильной индукции, чем шар, потому что по отношению к окружающим проводникам на поверхности острия заканчивается большее количество индуктивной силы, чем на равной ему по величине поверхности шара, с которым мы его сравнили. Здесь в особенности можно заметить влияние боковой или трансверсальной силы (п. 1297), которая, будучи сходна или эквивалентна отталкиванию, распределяет линии индуктивной силы в диэлектрике так, что они должны скопиться на остриях, концах цилиндра или какой-либо другой выступающей части.

1303. Влияние *расстояния* также не противоречит принятой нами точке зрения. Возможно, что нет такого расстояния, через которое индукция не могла бы пройти*.

* Это положение было проверено экспериментально на индукции от шара, находящегося по середине описанного выше (п. 1173) большого куба, к стенкам куба на расстоянии 6 футов, и от того же шара, помещенного в нашей аудитории, к стенам на расстоянии 26 футов. Заряд шара получился в обоих случаях исключительно путем индукции через указанные расстояния.

Однако при той же поляризующей силе индукция будет тем легче, чем меньше протяжение диэлектрика, через которое происходит индукция. Из теоретического предположения, что частицы диэлектрика, стремящиеся остаться в нормальном состоянии, приводятся в насильственное состояние в процессе индукции, повидимому, следует, что чем меньше будет количество этих промежуточных частиц, противодействующих принятию нового состояния, тем больше изменений они претерпевают, т. е. тем выше будет то состояние напряжения, которого они достигнут, и тем больше будет индуцирующее действие, переданное через них.

1304. Я употреблял термин *линии индуктивной силы* и искривленные линии сил (пп. 1231, 1297, 1298, 1302) только в общем значении, как мы это делаем, говоря о магнитных линиях сил. Эти линии лишь воображаемые, и сила в любой точке является, конечно, результирующей ряда слагающих сил, обусловленных взаимоотношением молекул, действующих во всех направлениях, и реакциями соседних молекул. Поперечная сила есть не что иное, как это отношение, представляемое под прямым углом к линиям индуктивной силы. В настоящее время я не подразумеваю ничего другого под этим термином. Под термином полярность я тоже подразумеваю в настоящее время такое расположение сил, при котором различные части молекул приобретают противоположные свойства. В дальнейшем я рассматриваю пути, по которым совершается это расположение, которое, повидимому, различно для разных веществ и таким образом вызывает разнообразные виды электрических отношений*. В настоящий момент я заинтересован лишь в том, чтобы употребляемым мной выражениям не был придан более определенный смысл, чем тот, который я придаю им сам.

Я уверен, что дальнейшие исследования позволят нам постепенно ограничить их значение и таким образом уточнить наше объяснение электрических явлений.

1305. Для проверки правильности моих взглядов я в продолжение всего этого экспериментального исследования сравнивал их с выводами, сделанными г-ном Пуассоном из его прекрасных математических исследований**.

* См. п. 1685 и т. д., декабрь 1838 г.

** *Memoires de l'Institut*, 1811, Т. XII, стр. 1, и второе исследование, стр. 163.

Я не считаю себя достойным высказывать суждение о таких прекрасных работах, но, насколько я их понимаю, мне кажется, что выдвинутая мной теория и полученные мной результаты не противоречат тем выводам относительно окончательного расположения состояния сил, которые он сделал из небольшого количества рассмотренных им случаев. Выдвинутая им теория предполагает совершенно другой механизм действия индукции, сильно отличающийся от того, который я решаюсь защищать, и по всей вероятности, она могла бы быть проверена математически путем приложения к случаям индукции по кривым линиям. Я считаю неудовлетворительным даваемое его теорией объяснение задержки электричества на поверхности проводников давлением воздуха и надеюсь показать, что это явление согласуется с развиваемым здесь воззрением и может быть легко и просто объяснено с его помощью*. Кроме того, его теория совсем не касается вольтаэлектричества и не объединяет одним общим принципом этот вид электричества и то, что мы называем обыкновенным электричеством.

Я ждал также с некоторым волнением результатов исследований неутомимого философа Гарриса над законами индукции, так как знал, что они производятся экспериментальным путем, и был глубоко уверен в их точности. С удовлетворением должен отметить, что до сих пор не заметил никакого расхождения в наших взглядах.

1306. Должен присовокупить, что высказываю свои личные взгляды с сомнением и тревогой, так как если они окажутся неверными, это только помешает дальнейшему развитию науки об электричестве. Эта теория составила в моем уме уже давно, но я решился опубликовать ее только, когда убедился, что она совпадает со всеми известными нам фактами и дает возможность объединить в одно целое явления, не имеющие между собой на первый взгляд ничего общего. До сих пор я не замечаю никакого несоответствия между моей теорией и природой, наоборот, она, как мне кажется, проливает свет на многие явления природы, и мои следующие исследования будут посвящены приложению этой теории к явлениям проводимости, электролиза, электрического тока, магнетизма, состоянию равновесия электричества на проводниках, разрядах и некоторым другим.

* Ср. пп. 1377, 1378, 1379, 1393, декабрь 1838 г.

IX. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИСКРА

1406. Искра является результатом разряда или ослабления поляризованного индуктивного состояния большого количества частиц диэлектрика вследствие специфического действия нескольких частиц, занимающих очень небольшое и ограниченное пространство; при этом все ранее поляризованные частицы возвращаются в первоначальное состояние в обратном порядке, соединяя тем временем свои силы для того, чтобы произвести или, вернее, продолжить явление разряда в том месте, где первоначально имело место разрушение силы (пп. 1417 — 1436). Мне кажется, что частицы, расположенные там, где происходит разряд, не просто расталкиваются в стороны, но принимают на время особое возбужденное состояние, т. е., другими словами, подвергаются последовательному действию всех окружающих их сил, причем интенсивность их состояния пропорционально возрастает и возможно совпадает с состоянием интенсивности химически соединяющихся атомов, а затем частицы разряжают эти силы опять-таки, возможно, подобно атомам каким-то особым, неизвестным нам процессом. На этом все заканчивается. Конечный эффект в точности соответствует тому, как если бы на место разряжающихся частиц была вставлена металлическая проволока. Мне представляется возможным, что впоследствии принцип действия в обоих случаях окажется одинаковым.

1407. *Путь искры* или разряда зависит от степени напряжения частиц на линии разряда; по обстоятельствам, очевидным в каждом обычном случае и которые могут быть легко поняты теоретически, степень напряжения в этих частицах по сравнению с соседними повышается сначала до требуемого уровня, определяя тем самым направление разряда. Это объясняет выбор пути искры и устраняет затруднения, которые, как это прекрасно выразил Гаррис*, были связаны с старой теорией. Все подготовлено заранее предварительной индукцией среди частей для прохождения электрической искры или даже молнии.

1408. То же затруднение выражено Нобили в качестве принципа для вольтаэлектричества, а именно**: „Электри-

* *Nautical Magazine*, 1834, стр. 229.

** *Bibliothèque Universelle*, IX, 275, 1835.

чество направляется к тем точкам, где оно может легче всего разрядаться". Выводы из этого принципа были им применены для вольтаэлектричества. Однако разрешение трудности или ближайшая причина эффектов одна и та же: индукция доводит частицы до известного уровня напряжения (п. 1370), и те из них, которые первыми достигли этого состояния, первые производят первый и самый действительный разряд.

1409. Момент разряда, по всей вероятности, определяется той молекулой диэлектрика, которая благодаря стечению обстоятельств первая достигнет максимальной интенсивности. В тех случаях, когда разряд переходит от одного проводника к другому, эта молекула должна находиться на поверхности одного из них. Это, вероятно, не всегда так в тех случаях, когда разряд переходит с проводника к непроводнику (п. 1453). Когда эта частица достигает максимального напряжения, весь барьер сопротивления прорывается по линии индукции и происходит дизруптивный разряд (п. 1370). Это соображение, вытекающее из теории, вполне совпадает, по моему мнению, с фактами и выводами г-на Гарриса относительно сопротивления атмосферы, а именно, с его утверждением, что оно в действительности одинаково при любой длине разрядного промежутка*.

1410. Мне кажется вероятным, что напряжение частиц такого диэлектрика, как, например, воздух, которое может вызвать разряд, есть *величина постоянная* и не зависит от формы той части проводника, с которой она находится в контакте, будь то шар или острие, не зависит от толщины и глубины диэлектрика, через который происходит индукция, быть может, даже не зависит от состояния, а именно, от разрежения или уплотнения диэлектрика и, наконец, не зависит от природы проводника, хорошего или плохого, с которым частица находится в данный момент в контакте. При этом я не исключаю возможности небольших различий, которые могут явиться следствием реакции соседних частиц с решающей частицей, ибо в самом деле очевидно, что интенсивность одной частицы должна зависеть от состояния соседних частиц. Если же окажется, что наше предположение соответствует действительности, каким общим характером оно обладает! И не найдем ли мы в определенности

* *Phil. Trans.*, стр. 227, 229, 1834.

силы, которая присуща отдельной молекуле, непосредственное отношение к силе, которая, будучи электрической по своей природе, также определена и образует сущность химического средства?

1411. Теоретически представляется возможным, что в момент искрового разряда вдоль одной линии индуктивной силы не только сила этой одной линии складывается с силами всех остальных линий (п. 1406), но что боковой распор, эквивалентный отталкиванию этих линий (пп. 1224, 1232), прекращается, и за ним возможно следует обратное действие, эквивалентное коллапсу или притяжению этих частей. В течение долгого времени я старался найти в статическом электричестве трансверсальную силу, которая была бы эквивалентна магнитному действию или трансверсальной силе гальванического электричества. Предполагая, что такая сила может быть связана с трансверсальным действием индуктивных линий сил, описанным выше (п. 1297), я хотел с помощью различных опытов выявить действие такой силы и ее связь с явлениями электромагнетизма и магнитоэлектричества.

XI. СВЯЗЬ МЕЖДУ ВАКУУМОМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ

1613. Было бы странно, если бы теория, относящая все явления изоляции и проводимости, т. е. все электрические явления, к действию смежных частиц, не занялась рассмотрением возможного случая *вакуума*. Признавая возможность получения вакуума, было бы чрезвычайно любопытно выяснить его отношение к электрическим явлениям, и зная, что шеллак и металл прямо противоположны друг другу, определить, не будет ли и вакуум противоположен им обоим, возможна ли изоляция и проводимость через него. Г-н Морган* признает, что вакуум является непроводником. Опыты сэра Гемфри Дэви показали, что полученный им вакуум проводил электрический ток; однако он признает, что ему не удалось получить абсолютного вакуума. Производя подобные опыты, мне удалось наблюдать световой разряд главным образом на внутренней поверхности стекла, и мне кажется вполне возможным, что даже если вакуум отказы-

* *Phil. Trans.*, стр. 272, 1785.

вается проводить ток, то этот процесс все же происходит на ограничивающей его поверхности стекла.

1614. В тот период, когда я считал, что силы индукции распространяются по прямым линиям, я собирался проделать для выяснения этого важного вопроса опыт над индукцией при помощи металлических зеркал (в качестве проводящих тел), направленных к ясному ночному небу и имеющих такую вогнутость, чтобы в нижней части (рис. 58) ничего не было видно кроме небосвода. Эти зеркала, наэлектризованные присоединением к лейденской банке и исследованные пробным шариком, легко отдавали, будучи помещены в комнате, электричество в

своей нижней части. Я надеялся обнаружить, что зеркала, установленные под открытым небом, как описано выше, совсем не дадут или дадут лишь незначительное количество электричества в этой точке, если верно то, что атмосфера действительно заканчивается ва-

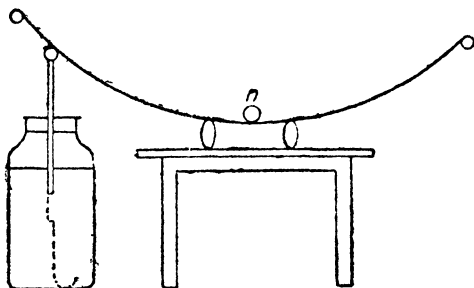


Рис. 58.

куумом. Мои предположения не оправдались, так как я получил такое же количество электричества, как и раньше; однако открытие индукции по кривым линиям (п. 1231) дало полное и действительное объяснение этого результата.

1615. Моя теория в настоящее время не претендует на разрешение вопроса о влиянии вакуума. Она еще не обладает достаточным экспериментальным материалом, чтобы дать ответ на вопросы о том, каковы могут быть последствия наличия вакуума. До настоящего времени мне только удалось установить — и все факты, повидимому, подтверждают правильность этого взгляда, — что все электрические явления, как-то: индукция, проводимость, изоляция и разряд, зависят и вызываются действием *смежных* частиц материи, причем под смежной частицей понимается находящаяся рядом. Затем я высказал предположение, что эти частицы поляризованы, что каждая из них проявляет обе полярные

силы в двух противоположных направлениях и что они действуют на расстояние только путем действия на смежную промежуточную частицу.

1616. Однако если предположить существование абсолютного вакуума на пути индуктивных линий сил (п. 1304), то из моей теории не следует, что частицы на противоположных сторонах такого вакуума не смогут действовать друг на друга.

Вообразим, что в центре вакуума диаметром в 1 дюйм находится положительно наэлектризованная частица. С точки зрения моей настоящей теории представляется вполне возможным, что эта частица действует на расстоянии $1/2$ дюйма на все частицы, образующие внутреннюю поверхность ограничивающего вакуум шара с силой, подчиняющейся хорошо известному закону квадрата расстояния. Однако если мы предположим, что шар диаметром в 1 дюйм наполнен изолирующей материей, то я полагаю, что наэлектризованная частица в этом случае будет действовать непосредственно не на отдаленную частицу, а на частицы, находящиеся с ней в непосредственном соседстве, вызывая в них появление отрицательной силы в размере, равном ее собственной положительной силе и направленной к последней, а также положительной силы в том же количестве, направленной вперед и действующей подобным же образом на соседний слой частиц. Таким образом частицы на поверхности шара радиусом в $1/2$ дюйма, подвергавшиеся прямому действию, когда шар представлял собой вакуум, теперь будут подвержены косвенному действию центральной частицы или источника действия, т. е. будут в конце концов поляризованы тем же путем и с тем же количеством силы¹.

¹ Это место важно для правильного понимания метода Фарадея. В известной статье „О действии на расстоянии“ Дж. К. Максвелл подробно разъясняет этот метод. В вопросе о действии на расстоянии Фарадей не имел намерения пускаться в абстрактные метафизические рассуждения насчет допустимости или недопустимости абсолютной пустоты. Он прежде всего стремился экспериментально и теоретически установить значение промежуточной среды. Дальнейшие теоретические и экспериментальные соображения, приводимые, например, в статье „Об электропроводности и природе материи“ и др., привели Фарадея к отрицанию абсолютного вакуума. (Ред.)

ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛЫ ИЛИ СИЛ¹

(Том I. Серия XIV, § 20, июнь 1838 г.)

1667. Теория индукции, изложенная мной в трех предыдущих сериях экспериментальных исследований, высказывает новые предположения только относительно распределения, но не природы электрической силы или сил. Электрические явления могут быть объяснены либо соединением электрического флюида с частицами материи, как в теории Франклина, Эпинуса, Кавендиша и Моссоти, либо соединением двух электрических флюидов, как в теории Дюфэ и Пуассона, или же они могут зависеть не от того, что можно назвать электрической жидкостью, а скорее от колебаний или других изменений материи, в которой эти явления имеют место. Такие разногласия во взглядах на природу электричества не отражаются на моей теории; хотя она и претендует на важную роль установления того, как распределяются силы (по крайней мере, при явлениях индукции), но, насколько я вижу, не дает ни одного опыта, могущего стать решающим для установления правильности какой-либо из вышеназванных теорий.

1668. Однако я считаю, что определить, как распределяются силы, выяснить их разнородные взаимоотношения

¹ Постановка Фарадеем вопроса о природе электрических сил методологически тождественна с постановкой Ньютоном проблемы всемирного тяготения. Ньютон указал, что, прежде чем пытаться строить теорию тяготения, необходимо, базируясь на одних законах механики и экспериментальных данных, установить точный закон действия гравитационных сил. Исследования Фарадея о роли промежуточной среды, о распределении электромагнитных силовых линий, об эффектах движения этих линий послужили базой для дальнейшего развития теории электромагнетизма Максвеллом, Герцом, Лоренцом и др. (Ред.)

с частицами материи, установить их общие законы, а также специфические отклонения в пределах этих законов, не менее, если не более, важно, чем узнать, сосредоточены ли эти силы в каком-нибудь флюиде или нет. Поэтому, надеясь принести пользу этим исследованиям, я теперь предлагаю вашему вниманию дальнейшее теоретическое и экспериментальное рассмотрение тех условий, в которых, как я полагаю, находятся частицы, когда они производят явление индукции.

1669. Теория принимает, что все *частицы*, безразлично изолирующей или проводящей материи, являются, вообще говоря, проводниками.

1670. Что, не будучи полярными в нормальном состоянии, они могут стать таковыми под влиянием соседних заряженных частиц; состояние поляризации появляется мгновенно, так же как и в изолированной проводящей *массе*, состоящей из множества частиц.

1671. Что поляризованные частицы находятся в напряженном состоянии и стремятся вернуться в свое нормальное или естественное состояние.

1672. Что будучи, вообще говоря, проводниками, они легко могут быть заряжены *как по всему объему, так и полярно*.

1673. Что смежные частицы¹, расположенные вдоль на линии индуктивных сил, могут передавать или переносить друг на друга свои полярные силы с *большой или меньшей* легкостью.

1674. Что в частицах, в которых этот процесс совершается с меньшей легкостью, поляризующие силы должны быть подняты до более высокой степени раньше, чем перенос или передача сможет совершиться.

1675. Что легкая передача сил между смежными частицами составляет *проводимость*, а затрудненная передача—*изоляция*; проводники и изоляторы суть тела, обладающие от природы свойством легко или с трудом передавать свои силы. Это различие столь же присуще им, как и многие другие естественные особенности.

1676. Обычная индукция есть эффект, получаемый в результате действия материи, заряженной возбужденным или свободным электричеством на изолирующую материю, дей-

¹ См. примечание Фарадея к п. 1164. (Ред.)

ствия, стремящегося вызвать в последней обратное состояние в том же количестве.

1677. Что это может быть достигнуто только путем поляризации соседних частиц, которые поляризуют следующие и т. д., и что таким образом действие передается от возбужденного тела к соседней проводящей массе и там вызывает обратную силу как результат передачи силы от одних поляризованных частиц к другим (п. 1075).

1678. Что индукция может происходить только через изоляторы; что индукция есть изоляция, так как она является необходимым следствием состояния частиц и того способа, которым влияние электрических сил переносится или передается через такие изолирующие среды.

1679. Частицы изолирующего диэлектрика в то время, как он находится под действием индукции, можно сравнить с рядом небольших магнитных игол или, точнее, с рядом небольших изолированных проводников. Если пространство вокруг заряженного шара будет заполнено смесью изолирующего диэлектрика, как, например, терпентинного масла или воздуха с некоторым количеством небольших круглых проводников, например, дроби (причем последние находятся друг от друга на таком расстоянии, что они изолированы), то состояние и действие этих проводников будут в точности соответствовать моему представлению о состоянии и действии частиц самого изолирующего диэлектрика (п. 1332). Если шар будет заряжен, то все эти маленькие проводники окажутся поляризованными, если шар будет разряжен, то все они вернутся в нормальное состояние, с тем чтобы снова стать изолированными при зарядании шара. Состояние, вызванное в массе проводящей материи путем индукции на расстоянии через такие частицы, будет противоположно по качеству и абсолютно равно по количеству силе индуцирующего шара. Появится боковое рассеяние силы (пп. 1224, 1297), так как каждый поляризованный шар их будет находиться в активном или напряженном состоянии по отношению ко всем соседним, подобно тому как один магнит может действовать на две или больше магнитные иглы, расположенные близ него, а те в свою очередь на еще большее количество игол. Если бы в таком, сложно составленном диэлектрике индуцировался неизоллированный металлический шар (п. 1219 и т. д.) или другая масса подходящего размера, то результатом было бы появление кривых индуктив-

ных линий сил. Эти кривые линии являются результатом принятого мной распределения обеих полярных электрических сил, и тот факт, что индуктивная сила может распространиться по таким кривым, является сильнейшим доказательством наличия обеих сил и поляризованного состояния частиц диэлектрика.

1680. Я считаю очевидным, что в вышеописанном случае действие на расстоянии является результатом действия смежных проводящих частиц. Я не вижу причин, почему индуцирующее тело будет поляризовать или действовать на отдельный проводник и оставлять без влияния проводники, находящиеся вблизи, а именно, частицы диэлектрика. Все факты и опыты над проводящими массами или частицами заметных размеров противоречат такому предположению.

1681. Отличительной особенностью электрического агента является его ограниченность и исключительность и абсолютно равные количества обеих всегда присутствующих сил. Силы всегда находятся в одном из двух соотношений: или как в естественном нормальном состоянии незаряженного, изолированного проводника, или как в заряженном состоянии, причем последнее включает в себя случаи индукции.

1682. Опыты индукции можно легко поставить таким образом, что обе силы будут ограничены в своем направлении и не покажут признаков индукции вне примененного прибора. Например, если лейденская банка, у которой внутренняя обкладка несколько выше внешней, будет заряжена, а затем зарядный шарик со стержнем будут удалены, то такая банка не будет давать электрических эффектов до тех пор, пока ее внешняя сторона будет неизолированной. Обе силы, заключенные в обкладках или в частицах соприкасающегося с ними диэлектрика, вполне связаны друг с другом индукцией через стекло, и пробный шарик, приложенный к внешней или внутренней обкладке банки (п. 1181), не вызовет никаких следов присутствия электричества. Но если банка будет изолирована и зарядный шарик со стержнем в незаряженном состоянии, подвешенные на изолирующей белой шелковой нити, будут возвращены на их место, то обкладка, выдающаяся над уровнем стенок банки, покажет признаки присутствия электричества и зарядит пробный шарик; вместе с тем внешняя обкладка банки окажется в противоположном состоянии и будет индуцировать электричество в окружающих предметах.

1683. Это суть простые следствия теории. Пока заряд внутренней обкладки мог индуцировать электричество только через стекло в направлении внешней обкладки и до тех пор, пока последняя имела только равное первой количество силы и не больше, нельзя было заметить никакой внешней индукции, но когда внутренняя обкладка была продолжена при помощи зарядного шарика и стержня, так что стала возможна индукция через воздух на внешние объекты, то напряжение поляризованных частиц стекла несколько упало благодаря их стремлению вернуться в нормальное состояние, и часть заряда, перейдя на поверхность этой своей части внутреннего проводника, производит индуцирующее действие через воздух на отдаленные объекты. Одновременно часть силы внешней обкладки, раньше направленная внутрь, теперь освобождается и принуждается действовать индуцирующим образом через воздух, вызывая появление во внешней обкладке того, что иногда, по моему мнению очень неправильно, называется свободным зарядом. Небольшая лейденская банка, превращенная в такой аппарат, обычно называемый электрическим колодецем, может прекрасно иллюстрировать вышеизложенное.

1684. Термины *свободный заряд* и *скрытое электричество* способны поэтому ввести в заблуждение, если под ними подразумевать какое-либо различие в способе и роде действия. Заряд изолированного проводника, находящегося в середине комнаты, так относится к стенам этой комнаты, как заряд внутренней обкладки лейденской банки относится к внешней обкладке той же банки. Первый не более *свободен* или связан, чем второй¹. И если иногда мы вызываем появление электричества там, где его раньше нельзя было заметить, как, например, на внешней обкладке заряженной лейденской банки после того, как мы ее изолируем и прикоснемся к ее внутренней обкладке, то это объясняется только отклонением большего или меньшего количества индуктивной силы от одного направления в другое. В подобных случаях характер или действие силы не претерпевают ни малейшего изменения.

¹ Стены комнаты можно рассматривать как дурные или хорошие проводники, соединенные с землей. Тогда характер связи будет тем же самым, как и в случае изолированной лейденской банки или банки, одна из обкладок которой имеет с землей проводящее соединение. (Ред.)

НЕВЕРОЯТНОСТЬ ГИПОТЕЗЫ КОНТАКТНОЙ СИЛЫ¹

(Том II. Серия XVII, § 24, X, декабрь 1839 г.)

2065. Выше я представил ряд экспериментальных доказательств и соответствующих выводов, которые кажутся мне способными содействовать освещению спорного вопроса в дополнение к замечаниям и доказательствам великих людей, которые ранее высказали свои заключения и мнения в пользу химической теории возбуждения в вольтовом столбе и против теории контакта. В заключение я приведу еще доказательство, основанное на неестественном (*unphilosophical*)², по моему мнению, характере силы, которой объясняются явления согласно контактной теории.

2066. Эта теория предполагает (п. 1802), что когда два

¹ Публикуемый отрывок из серии XVII, относящийся к 1839 г., показывает, что Фарадей до Роберта Майера (1843 г.), Джауля (1844 г.), Гельмгольца (1847 г.) и др. имел ясное представление о законе сохранения энергии или, как тогда выражались, сохранения силы. Однако здесь, как и в других случаях, Фарадей ограничивается формулировкой лишь качественной стороны этого закона, не пытаясь установить количественное соотношение между различными формами энергии. (*Ред.*)

² Употребление термина, *philosophia* в смысле естествознания или физики восходит к древности и средневековью, когда отличали *первую философию* (философию природы, физику в смысле естествознания) от *второй философии* или теологии. Ньютоновы „*Philosophiæ naturalis principia mathematica*“ означают „теоретические основы физики“, причем понятие физики мыслилось Ньютоном в соответствии с господствовавшим в ту эпоху механическим мировоззрением, как адекватное понятию натурфилософии в традиционном смысле, т. е. метафизики природы. Еще и поныне англичане употребляют понятие „*philosophia naturalis*“ в смысле физики, и наоборот, см., например, известный трактат Томсона и Тэта „*Treatise on Natural Philosophy*“ — название, правильно переведенное Гельмгольцем как „Теоретические основы физики“. (*Ред.*)

различные металла (или скорее тела) соприкасаются, то разнородные частицы действуют одна на другую и индуцируют противоположные состояния. Я не отрицаю этого, напротив, я думаю, что во многих случаях такое действие происходит между смежными частицами, как, например, при подготовке обыкновенных химических явлений, а также акта химического соединения, благодаря которым в вольтаической цепи возникает ток (пп. 1738, 1743).

2067. Но контактная теория предполагает, что эти частицы, которые благодаря взаимодействию приобрели противоположные электрические состояния, могут разряжать эти состояния друг на друга и все-таки оставаться в первоначальном состоянии совершенно неизменными *во всех отношениях*. Она предполагает также, что частицы, оказавшиеся благодаря взаимодействию положительными и отрицательными, могут при таком индуктивном действии разряжаться на частицы подобной им материи и таким образом вызывать ток.

2068. Это во всех отношениях не согласуется с известными действиями. Если в отношении химических явлений мы возьмем два вещества, как, например, кислород и водород, то мы можем представить себе согласно теории Берцелиуса (п. 1734), что две соседние частицы по одной из каждого вещества, подверженные действию теплоты, индуцируют противоположные состояния на противоположных поверхностях, и эти состояния, возбуждаясь все более и более, наконец, взаимно разряжаются, причем частицы оказываются уже соединенными и неспособными к повторению эффекта. Во время процесса индукции и до наступления окончательного состояния они не могут самопроизвольно потерять своего состояния; но устраняя *причину* возрастающей индукции, именно теплоту, можно свести самый эффект к его первоначальным размерам. Если действующие частицы входят в состав электролита, то они могут вызвать силу тока (пп. 921, 924), пропорциональную количеству потребленной химической силы (п. 868).

2069. Но теория контакта, которая согласно фактам должна допускать неизменность действующих частиц (пп. 1802, 2067) (иначе это была бы химическая теория), принуждена также допустить, что сила, способная вызвать в частицах известное состояние по отношению друг к другу, не способна заставить их *удержать* это состояние; таким образом она про-

тиворечит великому принципу естественной науки, что причина и действие равны (п. 2071). Если частица платины при соприкосновении с частицей цинка отдает часть своего электричества цинку, так как последний своим присутствием стремится вызвать в платине отрицательное состояние, то почему частица платины должна отнять электричество от других частиц, находящихся позади ее, если это лишь разрушает состояние, только что вызванное в ней цинком. Этого не бывает при обыкновенной индукции (Марианини допускает, что контактное действие может происходить через воздух на заметных расстояниях*, ибо шар, получив отрицательный заряд по индукции, не отнимает электричества от окружающих тел, даже если он совершенно не изолирован, и если мы вводим в него электричество, то оно будет выброшено назад с силой, эквивалентной силе индуцирующего тела).

2070. Или, предполагая, что частица цинка своим индуктивным действием стремится сообщить частице платины положительный заряд, а последняя, будучи в связи с землей через другие частицы платины, переносит на них электричество и таким образом приобретает положительное состояние, — спрашивается, почему она должна разряжать его на цинк, который, именно, сообщая платине это состояние, конечно, должен быть способен поддерживать его? Или же, если цинк стремится сообщить платине положительный заряд, почему электричество не переходит на платину *от цинка*, который также находится в соприкосновении с ней, как и соседние частицы платины? Или еще, если частица цинка в соприкосновении с платиной стремится приобрести положительный заряд, почему электричество не течет в ней от частиц цинка, так же как от частиц платины? **

Для рассматриваемого процесса не указывается достаточно вероятная или естественная (*philosophic*) причина или основание, почему то, а не другое из указанных выше

* *Memorie della Società Italiana*, XXI, 232, 233 и пр., 1837.

** Ради простоты я выражался так, как будто один металл действует, вызывая эти индуктивные состояния, а другой пассивен, но не так, как того требует теория, что оба они подвержены взаимному влиянию. Но это не уменьшает силы доказательства, тогда как попытка показать двухстороннее изменение скорее затемнила бы возникающие возражения, которые, однако, имеют равную силу при том и другом воззрении.

действий должно иметь место, и, как я не раз говорил, я не знаю ни одного факта или случая контактного тока, на коем при отсутствии такой вероятной причины могла бы быть основана теория.

2071. Действительно, контактная теория предполагает, что сила, способная преодолеть мощное сопротивление, например, сопротивление проводников, хороших или дурных, по которым проходит ток, а также сила электролиза, которой тела разлагаются, могут возникнуть из ничего. Без всякого изменения действующего вещества или потребления порождающей силы вызывается ток, который идет вечно против постоянного сопротивления или задерживается лишь, как в вольтовой ванне, продуктами разрушения, нагромождаемыми самим током на его пути. Это действительно было бы *творением силы* и не похоже ни на одну другую силу в природе. Есть много процессов, которыми форма силы изменяется так, что происходит видимое *превращение* одной в другую. Так можно превратить химическую силу в электрический ток, или наоборот. Изящные опыты Зеебека и Пельтье показывают взаимную превратимость теплоты и электричества; другие опыты Эрстеда и мои показывают взаимную превратимость электричества и магнетизма. Но ни в одном случае, даже в опытах над электрическим угрем и электрическим скатом (п. 1790), нет чистого творения силы без соответствующего исчезновения чего-либо взамен ее*.

* (Примечание 29 марта 1849 г.) Я сожалею, что ранее не был знаком с важным доказательством, состоящим в мнении д-ра Роже в его трактате о гальванизме, опубликованном в „Библиотеке полезных знаний“ от января 1829 г. Он поддерживает химическую теорию возбуждения тока, и я приведу поразительное место в § 113 статьи о гальванизме. Он говорит о контактной теории Вольты: „Если нужно еще рассуждение для опровержения ее, то лучшее доказательство представляет следующее соображение. Если бы существовала сила, имеющая свойство, приписанное ей гипотезой, именно сообщение непрерывного импульса флюиду в одном постоянном направлении без истощения ее собственного действия, то она существенно отличалась бы от всех известных сил природы. Все силы и источники движения, с действием которых мы знакомы, производя присущие им действия, истощаются в той же мере, в которой производятся эти действия; и отсюда вытекает невозможность достижения при их посредстве вечного действия или, другими словами, *perpetuum mobile*. Но электровозбудительная сила, приписанная Вольтой металлам в соприкосновении, есть сила, никогда не истощающаяся, пока вызываемое им электри-

2072. Надо всегда помнить, что химическая теория предпосылает силу, существование которой предварительно доказано, и затем следит за ее видоизменениями, редко допуская что-либо не подтвержденное соответственным простым химическим явлением. Контактная теория выступает с допущением, к которому она прибавляет другие, смотря по обстоятельствам, пока, наконец, контактная сила вместо определенной неизменной сущности, предположенной вначале Вольтой, становится также изменчивой, как и химическая сила.

2073. Если бы было иначе и контактная теория была бы истинна, то, как мне кажется, должно бы быть отвергнуто равенство причины и действия (п. 2069). Тогда было бы также возможно вечное действие и было бы вовсе нетрудно, имея первично возникший из одного лишь контакта электрический ток, построить электромагнитный прибор, который по своему принципу вечно производил бы механическое действие.

Королевский институт
26 декабря 1839 г.

чество имеет свободное движение и продолжает возбуждаться с неубывающей энергией, производя никогда непрекращающееся действие. Истинность такого предположения бесконечно невероятна“.

ГИПОТЕЗА ОБ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И О ПРИРОДЕ МАТЕРИИ

(Том II, стр. 284.)

СЭРУ РИЧАРДУ ТЭЙЛОРУ

Королевский институт
25 января 1844 г.

Милостивый государь.

В последнюю пятницу я открыл здесь еженедельные вечерние беседы по вопросу, указанному в заголовке, и не имел намерения обнародовать их. Но так как они заключают рассмотрение и приложение лишь немногих из главных элементов, т. е. фактов естественнонаучного познания, то я считаю отчет об их сущности и цели не безынтересным для вас и могущим в то же время служить записью моих мнений и взглядов, поскольку последние определились в настоящее время.

Представление об атомном составе материи, преобладающее ныне, считает атом чем-то материальным, имеющим известный объем и наделенным при создании силами, которые с тех пор и донныне дают ему способность при соединении нескольких атомов в группы образовывать различные вещества, коих свойства и действия мы наблюдаем. Эти атомы, хотя соединенные и сдерживаемые вместе своими силами, не соприкасаются друг с другом, но имеют промежуточное пространство, иначе давление или холод не могли бы заставить тело сжиматься в меньший объем, а теплота или растяжение не могли бы расширять его. В жидкостях эти атомы или частицы могут свободно передвигаться одна около другой, а в парах или газах они дальше отстоят друг от друга, но все же связаны между собой своими силами.

Учение об атомах ныне тем или другим способом широко применяется к объяснению явлений, особенно в кристаллографии и химии; оно не в достаточной степени отграничивается от фактов и часто представляется ученым как выражение самых фактов, хотя в лучшем случае это только допущение, об истинности которого мы ничего не можем утверждать, хотя можем говорить или предполагать ее возможность. Слово атом, которое никогда нельзя применять, не предполагая многого, чисто гипотетического, часто *имеет в виду* выражение простого факта. Но как ни хорошо намерение, я не встречал еще человека, который всегда отделял бы факт от сопутствующих гипотетических представлений, и не может быть сомнения, что слова: определенные пропорции, эквиваленты, элементы (*primes*) и пр., которые выражали и выражают вполне все *факты* того, что обычно называется атомной теорией в химии, ныне, однако, оставлены, так как они оказались недостаточно выразительными и не высказывали всего, предполагаемого тем, кто пользуется словом атом вместо них; они не выражали гипотезы так же, как не выражали фактов.

Но всегда разумно и логично по возможности различать факт от теории; опыт прошлых веков достаточен, чтобы показать нам мудрость такого различения, и имея в виду настоящее стремление ума держаться допущения, если оно временно отвечает на все вопросы, и забывать, что это лишь допущение, мы должны всегда помнить, что в таких случаях оно становится предубеждением и неизбежно в той или иной мере искажает отчетливость суждения. Я не могу сомневаться, что тот, кто, как мудрый естествоиспытатель-теоретик (*philosopher*), наиболее способен проникать в тайны природы и строить гипотезы о способе ее действий, будет также ради собственного успеха и развития других тщательно различать знание, состоящее в допущениях, под чем я разумею теорию и гипотезу, от знания фактов и законов, никогда не возводя первого на степень или авторитет второго и не смешивая последнего, более чем это необходимо, с первым ¹.

¹ Утверждения Фарадея имеют двоякий смысл — исторический и методологический. Исторически они направлены против той легкости, с которой физики эпохи Фарадея строили и защищали весьма малообоснованные экспериментально гипотезы и теории. Методологически они направлены против той легкости, с которой физики эпохи Фарадея строили и защищали весьма малообоснованные экспериментально гипотезы и теории. Методологически они направлены против той легкости, с которой физики эпохи Фарадея строили и защищали весьма малообоснованные экспериментально гипотезы и теории.

Свет и электричество — два великих орудия исследования молекулярного строения тел, и именно, изучая вероятную природу проводимости и непроводимости тел, неразложимых электричеством, действию которого они подвержены, и отношение электричества к пространству, которое представляется пустым и свободным от того, что атомистами называется материей, я пришел к соображениям, изложенным ниже.

Если считать правильным взгляд на строение материи, указанный выше, и я могу говорить о частицах вещества и о пространстве между ними (например, в воде или водяном паре), как о двух различных вещах, то пространство должно считаться единственной непрерывностью, ибо частицы считаются разделенными пространством друг от друга. Пространство должно пронизывать все массы материи во всех направлениях подобно сетке с той разницей, что вместо петель оно образует клеточки, изолирующие все атомы от соседних, лишь само оставаясь непрерывным.

Возьмем случай непроводника — кусок шеллака; с точки зрения атомного строения его пространство должно быть изолятором, ибо, если бы оно было проводником, то шеллак не мог бы служить изолятором, каково бы ни было отношение его материальных атомов к проводящей способности; пространство могло бы быть подобно тонкой металлической ткани, пронизывающей шеллак во всех направлениях, точно так же как мы можем представить кучу кремнистого песка, все поры которого наполнены водой, но оно скорее аналогично смоле в палочке черного сургуча; сургуч хотя и содержит бесконечное множество частиц проводящего угля, распространенного во всех его частях, однако не может проводить электричества, так как непроводящее тело (смола) примешано к углю и отделяет частицы угля друг от друга подобно предполагаемому пространству в шеллаке.

Затем возьмем металл платину или калий, имеющий согласно атомной теории такое же строение. Металл предста-

дологический смысл утверждений Фарадея заключается в подчеркивании относительности гипотез и теорий, воздвигаемых на базе хорошо изученных фактов. Гипотезы и теории развиваются, давая более глубокое познание старых фактов в свете новых. Хорошо построенные теории и хорошо обоснованные гипотезы никогда не уничтожаются полностью и в той или иной мере снимаются, т. е. включаются в новые теории и в новые гипотезы. (Ред.)

вляет собой проводник; но это возможно лишь при условии, что пространство — проводник; ибо пространство является единственно непрерывной частью металла, атомы же металла не только не соприкасаются (по теории), но, как мы сейчас увидим, должны отстоять друг от друга на значительное расстояние. Поэтому пространство должно быть проводником, иначе металлы не могли бы проводить электричество, но были бы подобны черному сургучу, упомянутому выше.

Но если пространство — проводник, то, каким образом шеллак, сера и пр. могут служить изоляторами? Ведь пространство пронизывает их во всех направлениях. Или же, если пространство — изолятор, то, как может быть проводником металл или иное подобное тело?

Таким образом, принимая обычную атомную теорию, приходится считать пространство непроводником в непроводящих телах и проводником в проводящих, и это заключение приводит к полному опровержению теории. Ибо если пространство является изолятором, то оно не может находиться в проводящих телах, и если оно служит проводником, то оно не может присутствовать в изолирующих телах. Теоретическая концепция, приводящая к таким заключениям, должна быть в основе своей ложна.

В связи с такими заключениями мы можем кратко рассмотреть, какие вероятности представляются уму, если распространить атомную теорию химиков на проводимость металлов. Если разделить удельный вес металлов на атомные числа¹, мы получим согласно гипотезе числа атомов в равных объемах металлов. В следующей таблице первый столбец чисел выражает приблизительно число атомов в равных объемах названных металлов, а второй столбец их проводимость.

Атомы		Проводимость
1,00	Золото	6,00
1,00	Серебро	4,66
1,12	Свинец	0,52
1,30	Олово	1,00

¹ Здесь и в дальнейшем Фарадей в определении атомных чисел следует Дальтону (1766—1844 гг.). Фарадею были, однако, известны исследования Берцелиуса (1779—1848 гг.), приближавшиеся по точности определения атомных весов к современным. (Ред.).

Атомы		Проводимость
2,20	Платина	1,04
2,27	Цинк	1,80
2,87	Медь	6,33
2,90	Железо	1,00

Таким образом железо, которое содержит наибольшее число атомов в данном объеме, является наихудшим проводником, если не считать свинца, а золото, содержащее наименьшее число атомов, почти лучший проводник. Эти свойства не находятся в обратном отношении, ибо медь, которая содержит почти столько же атомов, сколько и железо, проводит еще лучше, чем золото, и более чем в шесть раз лучше железа. Свинец, содержащий больше атомов, чем золото, обладает приблизительно $\frac{1}{12}$ его проводимости; свинец, который тяжелее олова и гораздо легче платины, обладает лишь вдвое меньшей проводимостью, чем у обоих этих металлов. Все это наблюдается в веществах, которые мы ныне считаем элементарными, или простыми. Как бы мы ни представляли себе частицы материи и пространства между ними, предполагаемое строение материи, если захотеть согласовать его с приведенной таблицей, получится весьма удивительным.

Теперь возьмем калий — плотный металл с превосходной проводимостью. Окись или гидрат его — непроводники, что дает нам некоторые факты, имеющие важное отношение к предполагаемому атомному строению материи.

Когда калий окисляется, то атом его сочетается с атомом кислорода, образуя частицу поташа¹, последняя же, сочетаясь с частицей воды, состоящей из двух атомов, кислорода и водорода, образует частицу гидрата поташа, так что частица гидрата поташа содержит четыре элементарных атома. Удельный вес калия 0,865, а атомный вес его 40;

¹ В эпоху Фарадея, да еще и поныне в Англии, поташем (potash) часто называют едкий калий (KOH) или реже окись калия (K₂O). Когда в 1807 г. Дэви выделил электролитическим путем калий из едкого калия, то калий он назвал potassium — название, сохранившееся до сих пор. Аналогично этому немцы называют едкий калий Kali, металл же калий Kalium. Как видно из текста, Фарадей, следуя Дальтону, принимает для окиси калия (поташ по терминологии Фарадея) состав KO, для воды HO и для гидрата окиси калия (едкого калия) KHO₂. (Ред.)

удельный вес литого гидрата поташа в таком чистом виде, как я мог получить его, оказался приблизительно 2, а его атомный вес 57. Из этих фактов вытекают следующие странные выводы. Кусок калия содержит меньше металла, чем равный (по объему) кусок поташа, образуемого калием и кислородом. Можно прибавлять к калию кислород атом за атомом, а затем еще кислород и водород в двойном числе атомов, но со всеми добавками объем вещества становится все меньше, пока не дойдет до $\frac{2}{3}$ первоначальной величины. Если данный объем калия содержит 45 атомов, то такой же объем гидрата поташа содержит около 70 атомов металла калия и, кроме того, 210 атомов кислорода и водорода. При рассмотрении этих предположений я должен, чтобы получить понятный вывод, несколько их расширить. Допустим, что в гидрате поташа все атомы одного размера и почти касаются друг друга и что в 1 куб. дюйме этого вещества содержится 2800 элементарных атомов калия, кислорода и водорода; отнимем 2100 атомов кислорода и водорода; 700 атомов оставшегося калия займут более чем $1\frac{1}{2}$ куб. дюйма, и если мы подсчитаем их число в 1 куб. дюйме, то получим 430 или около того. Таким образом пространство, вмещающее 2800 атомов и в числе их 700 чистого калия, оказывается заполненным 430 атомами калия в обычном состоянии этого металла. Из атомной теории с необходимостью следует, что атомы калия далеко отстоят друг от друга в металле, т. е. в нем должно быть гораздо более пространства, чем материи. Но он представляет отличный проводник, так что пространство должно быть проводником. В таком случае как быть с шеллаком, серой и всеми другими изоляторами? Ведь согласно атомной теории пространство в них также имеется.

С другой стороны, объем, вмещающий 430 атомов калия и ничего более в форме металла, при превращении калия в селитру содержит приблизительно то же число атомов калия, т. е. 416 и сверх того в семь раз больше, т. е. 2912 атомов, азота и кислорода. При превращении калия в углекислый калий пространство, вновь заполняемое целиком 430 атомами калия в виде металла, содержит еще 256 атомов калия, образуя 686 атомов этого металла и в придачу 2744 атома кислорода и углерода.

Эти и подобные соображения могут быть распространены на соединения натрия и другие тела с одинаково и даже

еще более поразительными результатами, если сравнить свойства одного вещества, например, кислорода или серы, с различными телами.

Я знаю, что явления кристаллизации, химии и физики вообще непреодолимо влекут нас к признанию центров силы¹. Я сам вынужден, пока в виде гипотезы, допустить их и не могу обойтись без них, но я чувствую большое затруднение в представлении атомов материи с промежуточным пространством, не занятым атомами, которые в телах твердых, жидких и в парах должны более или менее отстоять друг от друга, и я замечаю большие противоречия в выводах, вытекающих из такого воззрения.

Если мы вообще должны делать гипотезы (в отрасли знания, подобной нашей, едва ли можно обойтись без них), то надежнее всего допускать их как можно меньше, и в этом отношении атомы Босковича², по моему мнению, имеют большое преимущество перед более обычным представлением. Его атомы, если я правильно понимаю его, — простые центры сил, а не частицы материи, в которых заключаются силы. Если в обычном понятии об атомах мы назовем частицы материи независимо от сил a и систему сил в ней и вокруг нее m , то в теории Босковича a исчезает или представляет чисто математическую точку, тогда как в обычном понятии она является маленькой неизменяемой, непроницаемой частью материи, а m представляет атмосферу силы вокруг нее.

Во многих применениях гипотезы об атомах: в кристаллографии, химии, магнетизме и пр., эта разница в допущениях мало или вовсе не изменяет результатов, но в других случаях, как в электропроводности, природе света, способе

¹ Здесь и чаще всего Фарадей употребляет термин сила в смысле движения или энергии; см. отрывок: „Взаимоотношения физических сил“. (Ред.)

² Боскович (Ruggerio Giuseppe Boscovich, 1711—1787 гг.) — итальянский иезуит, профессор знаменитой „Римской коллегии“. Его перу принадлежат многочисленные астрономические и физические сочинения, из которых самое известное „Philosophiae naturalis theoria, redacta ad unicum legem virum in natura existentium“ (1735 г.). Боскович защищает точку зрения динамизма, сводя атомы к непротяженным центрам сил в абсолютно пустом пространстве. В отличие от Босковича Фарадей рассматривает атомы как центры движений в абсолютно наполненном пространстве. Против учения Босковича выступали с критикой Максвелл, Вильям Томсон (Кельвин), Ламэ и др. (Ред.)

соединения простых тел в сложные тела, действиях сил вроде теплоты или электричества на материю, разница весьма велика.

Таким образом, обращаясь, например, к калию, в котором атомы в форме металла должны, как мы видели, по обычному воззрению далеко отстоять друг от друга, как можем мы на минуту вообразить, что его проводимость принадлежит ему иначе, чем как следствие свойств пространства, или, как я назвал его выше, *m*. Точно так же другие свойства его в отношении света или магнетизма, плотности или твердости или удельного веса должны принадлежать ему вследствие свойств или сил *m*, а не *a*, которые без атмосферы сил представляются как нечто инертное. Но тогда, конечно, *m* есть материя калия, ибо где достаточное основание (кроме произвольного допущения) для качественного различия пространства, разделяющего центры двух смежных атомов, и какого-либо иного места между ними? Разницу в степени или даже в природе силы, совместной с законом непрерывности, я могу допустить, но разницу между предполагаемой маленькой твердой частицей и силами, окружающими ее, я не могу представить.

Поэтому для меня *a*, или ядро, исчезает, и субстанция состоит из сил *m*; в самом деле, какое понятие мы можем составить о ядре независимо от его силы? Все наше представление и знание об атоме и даже наше воображение ограничены идеями о его силах; какая мысль остается для поддержки представления *a* независимо от признанных сил? Человек, размышляющий об этом предмете, может считать, что трудно думать о силах материи независимо от отдельно существующего нечто, называемого *материей*, но гораздо труднее и даже невозможно мыслить или представлять эту *материю* независимо от сил. Но мы знаем и признаем силы во всяком явлении природы, а отвлеченной материи ни в одном. Зачем же тогда допускать существование того, чего мы не знаем, чего мы не можем представить и для чего нет философской необходимости?

Прежде чем закончить эти умозрения, я укажу на несколько важных различий между признанием атомов, состоящих из простых центров сил подобно атомам Босковича, и допущением молекул как чего-то специально материального, обладающих силами внутри и вокруг них.

По последнему воззрению масса материи состоит из атомов и промежуточного пространства, по первому — материя

присутствует везде и нет промежуточного пространства, не занятого ею¹. В газах атомы касаются друг друга точно так же, как в твердых телах. В этом смысле атомы воды касаются друг друга, находится ли она в состоянии льда, жидкой воды или пара; нет чистого промежуточного пространства. Без сомнения, центры сил находятся на разных расстояниях друг от друга, но воистину материальное одного атома касается материального его соседей.

С этой точки зрения материя сплошь *непрерывна*, и рассматривая массу ее, мы не должны предполагать различия между ее атомами и промежуточным пространством. Силы вокруг центров сообщают им свойства атомов материи; и эти же силы, когда несколько центров группируются в массу, сообщают каждой части этой массы свойства материи. При таком взгляде исчезает всякое противоречие при рассмотрении электрической изоляции и проводимости.

Можно представить себе атомы в высшей степени *эластичными* вместо того, чтобы считать их чрезвычайно твердыми и неизменными по форме²; их размеры может изменить простое сжатие слоя воздуха между ладонями, и опыты Каньяр де ля Тура доводят это изменение до таких размеров, что разница в объеме до и после сжатия может достигнуть нескольких сот раз. Таково же изменение, когда твердое или жидкое тело обращается в пар.

Также о *фигуре* атомов и ее определенном и неизменном согласно обычному представлению характере мы должны теперь принять другое воззрение. Самый атом может быть представлен сферическим, сфероидальным или, когда несколько атомов соприкасаются во всех направлениях, фигура их может представлять додэкаэдр, ибо каждый атом со всех

¹ Это основное положение отличает материалистический кинетизм Фарадея от идеалистического динамизма Босковича и др. Научное развитие одной из форм этой концепции мы имеем в теории атомов-вихрей (*vortex atom*), разработанной Гельмгольцом (1858 г.), Томсоном-Кельвином (1867 г.), Дж. Дж. Томсоном (1880 г.) и др. Последняя форма той же концепции это одно из истолкований волновой механики. (*Ред.*)

² Связь непрерывности со свойствами твердости, мягкости и эластичности была в математической форме развита В. Томсоном-Кельвином в его известной гиростатической модели упругого эфира. См. приложения к книге Дж. Дж. Томсона „Электричество и материя“ (1928 г.), Максвелла „Речи и статьи“; популярная трактовка, см. Перри „Вращающийся волчок“. (*Ред.*)

сторон окружен и связан с 12 другими. Но если атом представляется центром силы, тогда то, что обычно обозначается термином „фигура“, теперь должно относиться к расположению и сравнительной интенсивности сил. Сила, сосредоточенная внутри и вокруг центра, может быть однообразна в расположении и интенсивности во всех направлениях вне этого центра, и тогда поверхность равной интенсивности силы, пересекающая радиусы, будет сферой; или закон убывания силы, начиная от центра, может изменяться в разных направлениях, и тогда поверхность равной интенсивности может быть сплюснутым или продолговатым сфероидом или иметь иные формы; силы могут быть также расположены так, что сделают атом полярным; или же они могут циркулировать вокруг него по экватору или как-нибудь иначе, как это предполагают для магнитных атомов. Действительно, нельзя представить никакого расположения сил внутри или вокруг твердого ядра материи, которое не могло бы быть ориентировано относительно центра.

В изложенном воззрении на материю, заключающем минимум гипотетичного, материя и атомы ее взаимно проницаемы¹. Относительно взаимной проницаемости материи можно думать, что описанные выше факты, касающиеся калия и его соединений, достаточны, чтобы доказать этот взгляд человеку, принимающему факт за факт и свободному в своих суждениях от предвзятых идей. Что касается взаимной проницаемости атомов, то на мой взгляд она представляет прекрасную, но вероятную и философскую идею о строении тел сравнительно с другими гипотезами, особенно в случае химических соединений. Если мы предположим атом кислорода и атом калия готовыми к соединению и образованию поташа, то гипотеза твердых, неизменяемых и непроницаемых атомов помещает эти две частицы рядом без труда, так как это механически представимо и нередко встречается. Если же эти два атома представляют центры силы, то они проникают друг друга до самых центров, образуя атом или молекулу с силами, или однообразно рас-

¹ Взаимпроницаемость атомов (электронов) принимается Г. А. Лоренцом, рассматривающим протоны и электроны как узлы движений в эфире. К этому взгляду по существу примыкает одно из толкований волновой механики, согласно которому электрон, например, — это волновой пакет, т. е. групповой узел волн в эфире. (Ред.)

пределенными вокруг или расположенными как равнодействующие сил двух составляющих атомов. Способ, каким два или несколько центров сил могут сочетаться и затем под действием больших сил снова разделяться, можно в некоторой степени иллюстрировать соединением двух морских волн разных скоростей в одну, сначала их полное слияние и затем окончательное разделение на две составляющие волны, как это, я полагаю, рассмотрено на собрании Британской ассоциации в Ливерпуле. Конечно, из этого воззрения не следует, что эти центры всегда совпадают; это зависит от относительного расположения сил каждого атома.

Изложенный взгляд на строение материи, повидимому, необходимо предполагает тот вывод, что материя наполняет все пространство или, по крайней мере, все пространство, на которое распространяется тяготение (включая солнце и его систему), ибо тяготение есть свойство материи, зависящее от известной силы, и эта сила составляет материю. По этому воззрению материя не только взаимно проницаема, но каждый атом, так сказать, простирается по всей солнечной системе, всегда сохраняя свой центр силы. Это с первого взгляда весьма гармонично совпадает с математическими исследованиями Моссотти¹ и сведением явлений электричества, сцепления, тяготения и пр. к одной силе в материи, а также со старым изречением: „материя не может действовать там, где ее нет“. Но подобные соображения и рассмотрение связи этой гипотезы с теорией света и предполагаемого эфира не входят в мою задачу. Моим желанием было лишь связать известные факты электропроводимости и химического сродства с нашими взглядами на природу атомов и материи и таким образом содействовать в физике различению наших действительных знаний, т. е. знания фактов и законов от того, что, имея форму знания, может благодаря слишком большому включению чисто гипотетического представлять нечто весьма отличное.

Остаюсь, дорогой сэр, Вашим и пр.

Михаил Фарадей.

¹ Моссотти Октавиан (1791—1863 гг.) — итальянский астроном и физик. В работе „*Sur les forces qui regissent la constitution intérieure des corps*“ (Turin, 1836 г) Моссотти исходит из гипотезы взаимодействия (притяжение — отталкивание) эфирных и вещественных атомов. (Ред.)

МЫСЛИ О ЛУЧЕВЫХ ВИБРАЦИЯХ *

(Том III, стр. 447.)

СЭРУ РИЧАРДУ ФИЛЛИПСУ

Дорогой сэръ.

По Вашему желанию я посылаю Вам заметку о том, что я сказал в заключение собрания в пятницу вечером по случаю моего доклада об электромагнитном хроноскопе Уитстона. Но надо иметь в виду, что от начала до конца я высказал в качестве отвлеченного умозрения лишь мои неопределенные впечатления, так как я ничего не выдавал за результат достаточного исследования или за установившееся убеждение или даже за вероятное заключение, к которому я пришел.

Вопрос, представляемый на рассмотрение слушателей, состоял в том, возможно ли, чтобы вибрации, принимаемые в известной теории для объяснения явлений излучения, имели место в силовых линиях, соединяющих между собой частицы и, следовательно, массы материи. Это представление, поскольку оно допускается, освобождает нас от эфира, который по другому воззрению предполагается средой, где происходят эти вибрации.

Вы знакомы с умозрительной гипотезой (speculation)**, которую я высказал недавно о природе материи, согласно которой конечные атомы материи являются центрами сил, а не множеством мелких тел, окруженных силами и рассматриваемых отвлеченно как независимые от сил и способные существовать без них. По последнему взгляду эти мелкие частицы имеют определенную форму или ограниченный объем; по первому это не так, ибо то, что представляют

* *Phil. Magazine*, серия 3, XXVIII, № 188, май 1846 г.

** *Phil. Magazine*, Т. XXIV, стр. 136, 1844, или *Exper. Res.*, II, стр. 284.

себе как объем, может рассматриваться как протяжение, по которому распространены силовые линии частицы: здесь, в самом деле, частица предполагается существующей только благодаря этим силам и находится лишь там, где они имеются. Рассмотрение материи с этой точки зрения постепенно привело меня к взгляду на силовые линии, как на вероятное седалище вибраций лучистых явлений.

Другое соображение, относящееся одновременно к гипотезе о материи и излучении, возникает из сравнения скоростей, с которыми передаются лучистая энергия и известные силы материи. Скорость света в пространстве составляет около 190 000 миль в секунду; скорость электричества, по опытам Уитстона, оказывается так же велика, если не больше¹. Свет по гипотезе переносится вибрациями через эфир, который, так сказать, лишен тяжести, но обладает бесконечной упругостью; электричество переносится по тонкой металлической проволоке и часто считается передающимся также посредством колебаний. Едва ли можно сомневаться, что передача электричества зависит от сил или свойств вещества проволоки, если рассмотреть различную проводимость разных металлических и других тел; способы воздействия на нее теплоты или холода; то обстоятельство, что проводящие тела при соединении могут образовать непроводящее вещество, и наоборот; существование одного и того же элемента углерода в проводящем и непроводящем состоянии и т. д. Свойство электропроводности (будучи переносом силы со скоростью, равной скорости передачи света), повидимому, зависит от свойств материи, основано на них и существует в них.

Я предполагаю, что мы можем сравнить между собой материю эфира и обыкновенную материю (например, мед

¹ Скорость движения электромагнитных волн равна скорости света (300 000 км/сек), представляющего собой также волновой (и вместе с тем, по новейшим воззрениям, корпускулярный) процесс электромагнитного характера. Что касается скоростей положительно и отрицательно заряженных элементарных частиц (ионов и электронов), движение которых образует явление электрического тока, то эти скорости весьма разнообразны: от долей миллиметра до многих тысяч километров в секунду, и зависят от ряда сложных условий: рода вещества, степени разреженности, температуры, электрического напряжения и пр. Скорости свободных электронов в катодных трубках и в радиевом излучении порядка скорости света. (Ред.)

проводами, через которую проводится электричество) и рассматривать их, как аналогичные по своему существенному строению, т. е. или они обе состоят из мелких ядер, рассматриваемых в отвлечении в качестве материй, и из сил или свойств, связанных с этими ядрами, или же та и другая состоят из простых центров силы согласно теории Босковича и взгляду, изложенному в моей умозрительной гипотезе (*speculation*), ибо нельзя предполагать, что ядра более необходимы в одном случае, чем в другом. Правда, медь обладает тяжестью, а эфир нет, и потому медь весома, а эфир нет; но одно это еще не указывает на большую вероятность наличия в меди ядер сравнительно с эфиром, ибо из всех сил материи тяготение есть та сила, которая простирается на возможно большее расстояние от предполагаемого ядра — расстояние, которое бесконечно по отношению к объему ядра и сводит это ядро к простому центру силы. Мельчайший атом материи на земле прямо действует на мельчайший атом материи на солнце, хотя они отстоят друг от друга на расстояние 95 млн. миль. Затем атомы, которые, как нам известно, отстоят, по крайней мере, в 19 раз дальше в массах комет, таким же точно образом связаны вместе силовыми линиями, простирающимися от них и достигающими их. Если бы даже эфир был так разрежен, что между нами и солнцем была бы лишь одна его частица, то что в свойствах частиц этого предполагаемого эфира может сравниться по тонкости и протяжению со свойством тяготения?

Не будем смущаться *весомостью* и *тяготением* тяжелой материи, как будто доказывающих присутствие абстрактных ядер; эти свойства зависят не от самих ядер, если ядра вообще существуют, а от силы, приписываемой им. И если частицы *эфира* не имеют этой силы, что требуется гипотезой, то они более материальны в абстрактном смысле, чем материя нашей земли; ибо если материя, по гипотезе, состоит из ядер и силы, частицы эфира пропорционально более сопричастны к ядрам и менее к силе.

С другой стороны, бесконечная упругость, приписываемая частицам эфира, есть такая же поразительная и положительная сила, как тяжесть в весомах частицах, и вызывает такие же большие действия. Свидетельством этого являются все разновидности лучистого действия силы в световых, калорических и актинических явлениях.

Может быть я заблуждаюсь, думая, что общепринятое

представление об эфире состоит в том, что его ядра почти бесконечно малы, а сила, которая ему присуща, именно его упругость, бесконечно велика. Но если общепринятое представление действительно таково, то что остается от эфира, кроме силы или центров силы? Так как тяжесть и твердость не свойственны ему, то, может быть, многие склонны принять это заключение; но что такое тяжесть и твердость? Конечно, не вес и соприкосновение абстрактных ядер. Одна представляет следствие *притягательной* силы, которая может действовать на громадных расстояниях, какие только ум человека может оценить или представить, а другая есть следствие *отталкивающей* силы, которая исключает возможность соприкосновения всяких двух ядер. Так что эти свойства вовсе не должны вести тех, кто представляет себе эфир состоящим из одной силы (*force*), к иному представлению весомой материи, нежели обладание еще другими силами, связанными с ней, в отличие от эфира.

Из рассмотрения различного рода явлений мы можем признать в экспериментальной физике различные виды силовых линий. Так, существуют линии тяготения, линии электростатической индукции, линии магнитного действия и другие, имеющие динамический характер. Многие считают электрические и магнитные силовые линии действующими через пространство подобно линиям тяготения. Я же склоняюсь к мысли, что когда налицо промежуточные частицы материи (которые сами являются центрами силы), они также участвуют в переносе силы по линии, но когда их нет, то линия идет через пространство*.

Какое бы из этих воззрений мы ни приняли, во всяком случае мы можем действовать на эти силовые линии способом, подобным толчку или боковой вибрации. Вообразим два тела *A*, *B* на расстоянии друг от друга, взаимодействующие друг с другом и потому связанные силовыми линиями, и остановим свое внимание на равнодействующей силе, имеющей неизменное направление в пространстве. Если одно из тел передвигается в малейшей степени направо или налево или сила его сместится на мгновение внутри массы (все эти случаи нетрудно осуществить, если *A* и *B* электрические или магнитные тела), то произойдет действие, эквивалентное боковому возмущению в равнодействующей, на которой мы

* *Experim. Researches*, pp. 1161, 1610, 1663, 1710, 1729, 1735, 2443.

остановили свое внимание, ибо или она увеличится, тогда как соседние равнодействующие уменьшаются, или она уменьшится, когда они возрастут.

Можно спросить, какие силовые линии существуют в природе, которые способны проводить такое действие и заменять место эфира в теории колебания. Я не имею притязания ответить на этот вопрос с уверенностью; я могу лишь сказать, что нигде в пространстве, является ли оно (употребляя обычные выражения) пустым или наполненным материей, я не мыслю ничего кроме сил и линий, вдоль которых силы проявляются¹. Конечно, силовые линии веса или тяготения в достаточной мере экстенсивны, чтобы удовлетворить требованию, предъявляемому к ним явлениями излучения. Таковы же, вероятно, линии магнитной силы; и затем, кто может забыть, что, как показал Моссотти, тяготение, сцепление, электрическая сила и электрохимическое действие могут иметь общую связь или происхождение и что, таким образом, в своих действиях на расстоянии они могут иметь в распоряжении ту бесконечную сферу действия, которой, как известно, обладают некоторые из этих сил.

Воззрение, которое я осмеливаюсь выставить, рассматривает излучение как мощный вид колебаний в силовых линиях, которые, как известно, связывают вместе частицы и массы материи. Оно стремится устранить эфир, но не вибрации². Вид колебаний, который, я думаю, лишь один может объяснить удивительные, разнообразные и прекрасные явления поляризации, неодинаков с тем, который возникает на поверхности возмущенной воды, или с волнами звука в газах или жидкостях³, ибо колебания в этих последних случаях продольны, т. е. имеют направление вперед и назад от центра действия, тогда как первые поперечны. Мне кажется, что равнодействующая двух или более силовых линий находится в состоянии, пригодном для проявления того действия, кото-

¹ Это место, которое часто цитируют, следует, разумеется, понимать в смысле идей, развитых в статье от 1844 г. (Ред.)

² Как это ясно видно из статьи Фарадея 1844 г. „Об электропроводности и природе материи“ под „устранением эфира“, Фарадей разумеет устранение эфира в обычном понимании, как среды, состоящей из атомов, разделенных абсолютной пустотой. (Ред.)

³ Здесь у Фарадея или редакторов текста очевидная обмолвка, ибо волны на поверхности возмущенной воды поперечны и, следовательно, аналогичны световым, волны же звука в газах или жидкостях продольны. (Ред.)

рое можно считать эквивалентным *поперечному* колебанию, тогда как однородная среда подобно эфиру не кажется пригодной или более пригодной для этого, чем воздух или вода.

Изменение, возникшее на одном конце силовой линии, приводит, естественно, к предположению соответственного изменения на другом конце. Распространение света и, вероятно, всех лучистых явлений требует времени; и если такого рода колебание силовой линии должно объяснить явления излучения, то необходимо, чтобы это колебание также занимало время. Я не знаю, имеются ли данные, доказывающие или на основании которых можно было бы утверждать, что такая сила, как тяготение, действует, не требуя времени¹; или если силовые линии существуют, то требует ли поперечное возмущение их на одном конце, которое я предположил выше, для своей передачи времени или же необходимо должно немедленно обнаруживаться на другом конце.

Что касается того состояния силовых линий, которое соответствует предполагаемой высокой упругости эфира, то здесь не существует затруднений: вопрос состоит скорее в том, достаточно ли инертны в своем действии силовые линии, чтобы быть эквивалентными эфиру в отношении времени, требуемого согласно опытам для передачи лучистой силы.

Эфир мыслится проникающим все тела так же, как и пространство; в выставленном здесь воззрении — это силы атомных центров, которые проникают (и составляют) все тела, а также все пространства. Что касается пространства, то различие в том, что гипотеза эфира предполагает последовательные части или центры действия, а новая гипотеза — только линии действия. В отношении материи различие в том, что эфир лежит между частицами и таким образом передает колебания, тогда как по нашей гипотезе колебания распространяются силовыми линиями между центрами частиц.

¹ В основе закона всемирного тяготения Ньютона лежит понятие мгновенного дальнего действия. В настоящее время, однако, теоретически (Сольднер, Гербер, Эйнштейн и др.) и экспериментально (движение перигелиев планетарных орбит, отклонение световых лучей в гравитационных полях, так называемое красное смещение) доказано, что скорость распространения действий всемирного тяготения равна скорости света. В соответствии с этим закон Ньютона рассматривается как частный случай более точного и общего закона (формула Эйнштейна и др.). Новейшее обобщение закона всемирного тяготения дано Шах-Сулейманом; см. *Proceed. of the R. S. of India*, 111, 1934 — 1935. (Ред.)

Что касается различной интенсивности действий внутри материи по этим двум воззрениям, то я думаю, что здесь трудно вывести какое-либо заключение, ибо если мы возьмем простейший вид обыкновенной материи, который ближе всего подходит к состоянию эфира, именно разреженный газ, мы тотчас заметим в его упругости и взаимном отталкивании частиц отклонение от закона обратной пропорциональности действия квадрату расстояния.

Этим, мой дорогой Филлипс, я должен закончить. Я не думаю, что я высказал бы эти воззрения, если бы не был приведен к этому неожиданно и без предварительного размышления обстоятельствами вечера, на котором я должен был выступить внезапно и занять место другого. Теперь, когда я изложил их письменно, я чувствую, что я должен был гораздо дольше изучать, исследовать и, может быть, в конце концов отвергнуть их. Лишь потому, что они тем или иным путем получают распространение, так как были высказаны в собрании, я даю им форму, если только это можно назвать формой в настоящем ответе на Ваш запрос. Одно лишь достоверно, что гипотеза об излучении, могущая считаться удовлетворительной, должна обнимать не только известные явления света, но и тепловые и актинические и даже связанные с ними явления, при которых порождаются значительные количества теплоты и химической силы. В этом отношении воззрение, основанное в известной степени на обычных силах материи, имеет шанс получить некоторое признание среди других воззрений, которые могут возникнуть. Возможно, что я сделал много ошибок на предыдущих страницах, ибо даже мне самому мои идеи по этому вопросу кажутся лишь тенью умозрения или теми умственными впечатлениями, которые допустимы лишь временно как проводники к мышлению и исследованию. Человек, занимающийся опытными изысканиями, знает, как эти впечатления многочисленны и как часто их кажущаяся пригодность и изящество исчезают с прогрессом и развитием истинного и реального познания природы.

Остаюсь, мой дорогой Филлипс,
Всегда преданный Вам

М. ФАРАДЕЙ.

О МАГНЕТИЗАЦИИ СВЕТА И ОСВЕЩЕНИИ МАГНИТНЫХ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ :

(Том III. Серия XIX *¹, § 26, 6 ноября 1845 г.)

I. Действие магнитов на свет. II. Действие электрических токов на свет. III. Общие соображения.

I. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТОВ НА СВЕТ

2146. Я давно придерживался мнѣния, ставшего почти убеждением, согласного с мнением многих любителей естествознания, что различные формы, в которых обнаружи-

* Заголовок этой статьи, я думаю, привел мног. х других в недоумение относительно ее содержания, и потому я считаю долгом прибавить объяснительное примечание. Я не признаю и не отвергаю гипотезы эфира, корпускулярного или другого воззрения, какое можно защищать о природе света, и поскольку я могу видеть, о луче света нельзя знать более, чем о линии магнитной или электрической силы или даже о линии тяготения, кроме того, что все они проявляются в веществах и посредством веществ. Я думаю, что в опытах, описанных мной в этой статье, свет подвергался действию магнитной силы, т. е. магнетизм в силах материи подвергался действию и в свою очередь действовал на магнетизм в силе света. Под термином магнетизм я разумею здесь особенные проявления силы магнита в магнитных или диамагнитных телах. Слова „освещение линий магнитной силы“ не сбозначают, что я сделал их светящимися. Я хотел сказать, что линия магнитной силы была освещена, как земля освещается солнцем или паутина лампой астронома. С помощью луча света мы можем определить визуально направление магнитных линий через тело и по изменениям луча и его оптического действия на глаз можем видеть ход линий так же, как ход стеклянной нити или иного прозрачного вещества, ставшего видимым благодаря свету. Вот, что я подразумевал под освещением, как это отчетливо выясняет настоящая статья. — 15 декабря 1845 г. М. Ф.

** *Phil. Transact.*, 1846, p. 1.

ваются силы материи, имеют общее происхождение или, другими словами, так непосредственно связаны и взаимно зависимы, что превращаются друг в друга и в своих действиях обладают эквивалентами силы*. В последнее время доказательства их взаимопревратимости умножились в значительной степени, и сделана попытка определения их эквивалентных сил.

2147. Это убеждение распространилось на свойства света и привело ко многим исследованиям с целью открыть прямую связь света и электричества и их взаимодействие в телах, подверженных их совместному действию**. Но результаты были отрицательны и впоследствии подтверждены в этом смысле Вартманом***.

2148. Эти безуспешные изыскания и многие другие, никогда не обнародованные, не могли поколебать моего глубокого убеждения, основанного на философских соображениях, и потому я недавно возобновил опыты в самой точной и строгой форме, и наконец, мне удалось добиться *магнетизации и электризации светового луча и освещения магнитной силовой линии*. Я опишу по возможности кратко и ясно эти результаты, не входя в детали многих безуспешных опытов.

.

III. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

2221. Таким образом установлены, я думаю в первый раз¹, истинная непосредственная связь и зависимость между светом и магнитной и электрической силами, и этим сделано важное добавление к фактам и соображениям, имеющим в виду доказать, что все естественные силы связаны между собой и имеют общее происхождение (п. 2146). Без

* *Experiment. Researches*, pp. 57, 366, 376, 877, 961, 2071.

** *Phil. Transact.*, 1834, *Exper. Researches*, pp. 951—955.

**¹ *Archives de l'Electricité*, II, стр. 596—600.

¹ Я говорю „в первый раз“ потому, что не думаю, чтобы опыты Моррикени о возбуждении магнетизма лучами фиолетового конца спектра доказывали такую связь. В мае 1814 г., будучи в Риме, я провел несколько часов с сэром Гэмфри Дэви в доме Моррикени, работая с его аппаратом и под его руководством, но мне не удалось намагнитить иглу. Я не верю в успех *прямого* действия солнечных лучей, но думаю, что в случае успеха это дей-

сомнения, при нынешнем состоянии наших знаний трудно выразить нашу мысль в точных терминах, и хотя я сказал, что всякая сила природы в этих опытах непосредственно связана с остальными, я, может быть, должен был скорее сказать, что всякая форма великой силы ясно и прямо связана с другими формами или что великая сила, обнаруживаемая частными явлениями в частных формах, сопоставляется и признается единой в прямой связи ее формы света с ее формами электричества и магнетизма.

2222. Связь между поляризованным светом и магнетизмом и электричеством даже интереснее, чем если бы она была показана только на обыкновенном свете. Она должна распространяться на обыкновенный свет, и так как она относится к свету, сделанному в известном смысле более определенным по своему характеру и свойствам благодаря поляризации, то она указывает на связь его с этими силами в том двойственном характере, какими они обладают, и открывает путь, который был желателен нам для приложения этих сил к исследованию природы этого и других лучистых агентов.

2223. На основании сделанного ранее (п. 2149) условного различения можно еще утверждать, что *только* магнитные силовые линии действуют на световые лучи и (повидимому) *только*, когда они параллельны световому лучу или стремятся стать параллельными с ним. Как в отношении веществ, не являющихся магнитными наподобие железа, явления электрической индукции и электролиза обнаруживают громадное превосходство в энергии, с которой электрические силы могут действовать сравнительно с магнитными, так здесь в другом направлении и в особенных и соответственных проявлениях, относящихся к магнитным силам, последние оказываются, наоборот, обладающими большим преимуществом сравнительно с электрическими

ствие было бы вторичным, побочным и, может быть, даже случайным, опыт мог удасться с иглой, сохранявшей все время положение с севера на юг.

2 января 1846 г. Я не написал бы „в первый раз“, если бы я вспомнил опыты и статью м-ра Кристи о влиянии солнечных лучей на магниты, сообщенные в *Phil. Transact.* за 1826 г., стр. 219, и за 1828 г., стр. 379. М. Ф.

Рисс (Riess) и Мозер (Mozer) доказали ошибочность этих опытов; см. *Pogg. Annalen*, 1829, XVI, 563. (Ред.)

силами, представляя полный эквивалент действия на тот же род материи.

2224. Магнитные силы не действуют на луч света непосредственно и без вмешательства материи, но через посредство веществ, в которых они существуют одновременно с лучом; вещества и силы дают и получают друг от друга способность действия на свет. На это указывает неактивность пустоты, воздуха или газов, *а также различные степени*, в которых разные вещества обладают этим свойством. Эта магнитная сила действует на луч света всегда одинаковым образом и в том же направлении независимо от рода веществ, их состояния, твердого или жидкого, или особой им присущей вращательной силы (п. 2232). Это показывает, что магнитная сила и свет имеют прямую связь, но вещества необходимы и действуют в разных степенях; следовательно, магнетизм и свет действуют друг на друга через посредство материи.

2225. Так как мы познаем или воспринимаем материю *только* чрез ее силы и ничего не знаем о предполагаемом ядре, отвлеченном от идеи этих сил, то явления, описанные в этой статье, сильно подкрепляют мою склонность признавать взгляды, высказанные мной ранее о природе материи*.

2226. Нельзя сомневаться, что магнитные силы действуют на внутреннее строение диамагнитного тела так же свободно в темноте, как и при прохождении луча света через него, но явления, вызываемые светом, повидимому, представляют единственный способ наблюдать это строение и изменение его. Затем такое изменение должно происходить также и в непрозрачных телах, как дерево, камень или металл, ибо в отношении диамагнетизма нет различия между ними и прозрачными телами. Однако степень прозрачности может в этом отношении обнаруживать в известной мере различие в отдельных представителях класса.

2227. Если бы магнитные силы делали эти тела магнитами, то мы могли бы светом исследовать прозрачный магнит, и это имело бы большое значение для исследования сил материи. Но магнитные силы не делают их магнитами (п. 2171), и потому молекулярное состояние этих тел,

* См. *Phil. Magazine*, 1844, vol. XXIV, p. 136, или статью „Об электропроводности и природе материи“.

описанное выше, должно быть специфически отличным от состояния намагниченного железа или иного подобного вещества, и оно должно быть *новым магнитным состоянием*, и так как оно представляет состояние натяжения (что видно из его немедленного возвращения к нормальному состоянию по устранении магнитной индукции), то сила, которой обладает материя в этом состоянии, и способ ее действия должны быть для нас *новой магнитной силой* или *способом действия материи*.

2228. Ибо, я думаю, невозможно наблюдать и видеть действие магнитных сил с возрастающей интенсивностью на куске тяжелого стекла или на трубке с водой, не заметив, что последние приобретают свойства, не только *новые* для вещества, но также подчиненные весьма определенным и точным законам (пп. 2160, 2199) и пропорционально эквивалентные магнитным силам, вызывающим их.

2229. Быть может это состояние есть состояние *электрического натяжения*, стремящегося перейти в ток подобно тому, как в магнитах по теории Ампера это состояние есть состояние *тока*. Если вставить железный стержень в спираль, то все приводит нас к убеждению, что в нем вызываются электрические токи, которые вращаются или движутся в плоскости, перпендикулярной к оси спирали. Если поместить диамагнитное тело в том же положении, то оно приобретает способность вращать свет в той же плоскости. Приобретенное им свойство есть состояние натяжения, но оно не перешло в ток, хотя действующая сила и все другие обстоятельства и условия таковы же, как вызывающие токи в железе, никеле, кобальте и других веществах, способных воспринимать их. Поэтому мысль, что в диамагнитных телах при таких условиях существует тенденция к токам, согласна со всеми описанными явлениями и еще укрепляется тем, что, оставляя совершенно без изменения естественный магнит или электрический ток, которые индуктивным действием делают кусок железа, никеля или кобальта магнитами, простая перемена температуры отнимает у этих тел их добавочную силу и превращает их в обыкновенные диамагниты.

О НОВЫХ МАГНИТНЫХ ДЕЙСТВИЯХ И О МАГНИТНОМ СОСТОЯНИИ ВСЯКОЙ МАТЕРИИ

(Том III. Серия XXI¹, § 27.)

VII. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

2417. Таковы факты, которые в связи с явлениями света доказывают магнитное действие или состояние материи, неизвестные до сих пор. Под влиянием этого свойства продольная часть такого вещества обычно (пп. 2253, 2384) располагается перпендикулярно к линиям магнитной силы; этот результат может обнаружиться в более простой форме отталкивания вещества обоими магнитными полюсами. Положение продольной части, или отталкивание всей массы, продолжается все время, пока поддерживается магнитная сила, и прекращается с прекращением ее.

2418. При действии этой новой силы движущееся тело может пойти или *вдоль* магнитных линий или *поперек* их, и оно может двигаться вдоль или поперек их в обоих или во всяком направлении. Таким образом две части вещества, одновременно подверженные этой силе, можно заставить приближаться друг к другу, как будто они взаимно притягиваются, или удаляться друг от друга, как будто они

¹ Серии XX—XXIII содержат знаменитое открытие Фарадея — открытие диамагнетизма и магнитокристаллической силы. После того как в ноябре 1845 г. Фарадей сообщил об открытии вращения плоскости поляризации света, 6 декабря им была сообщена XX серия, посвященная диамагнетизму, а 24 декабря — XXI серия, в которой вопрос трактуется всеобъемлюще и устанавливается деление всех тел на парамагнитные и диамагнитные. В специальной работе 1848 г. (*Phil. Transact.*, 1848, или *Pogg. Ann.*, LXXIII) Фарадей рассматривает вопрос о диамагнетизме пламени и газов. (*Ред.*)

взаимно отталкиваются. Все явления происходят таким образом, что часть такого вещества под действием магнитной силы стремится двигаться от мест или точек большей силы к местам или точкам меньшей силы. Когда вещество окружено со всех сторон линиями магнитной силы равного напряжения, то оно не стремится двигаться и находится тогда в явной противоположности с линейным электрическим током при тех же условиях.

2419. Это состояние и действие новы *не только* в отношении проявления магнитом силы над телами, прежде считавшимися безразличными к этому влиянию, но оно *ново* как магнитное действие, представляющее нам второй способ, каким магнитная сила может проявлять свое влияние. Эти два способа находятся в том же общем отношении противоположности друг к другу, как положительное и отрицательное в электричестве или как север и юг в магнетизме или как линии электрической и магнитной сил в электромагнетизме. При этом диамагнитные явления более важны, так как они широко и в новом направлении простирают то свойство двойственности, которым в известной степени, как уже ранее было известно, обладает магнитная сила.

2420. Повидимому, всякая материя подвержена магнитной силе, столь же всеобщей, как тяготение, электрическая и химическая силы или сила сцепления, ибо то, что не подвержено ей по способу обычного магнитного действия, подвержено по способу, описанному мной ныне, причем материя может находиться в твердом или жидком состоянии. Поэтому вещества, повидимому, распадаются на два больших класса: магнитный и названный мной диамагнитным; и между этими классами контраст так велик и непосредственен, хотя изменчив по степени, что, когда вещество одного класса притягивается, тело другого класса отталкивается; и когда стержень из вещества одного класса принимает известное положение, стержень из вещества другого класса принимает перпендикулярное положение.

2421. До сих пор я не нашел ни одного простого, твердого или жидкого, тела, не смешанного, которое было бы совершенно нейтрально в отношении к этим двум классам, т. е. не притягивалось бы или не отталкивалось в воздухе. Для исследования магнитной силы было бы важно знать, существует ли в природе простое вещество, обладающее этим свойством в твердом или жидком состоянии.

Таковы многие сложные или смешанные тела; и для успеха опытного исследования важно изложить принципы, по которым такое смешанное вещество было изготовлено, когда оно должно было служить в качестве окружающей среды.

2422. Очевидно, что свойства магнитных и диамагнитных тел противоположны друг другу в отношении их динамических проявлений, и поэтому надлежащим смешением тел обоих классов можно получить вещество, имеющее среднюю степень свойства каждого. Протосульфат железа принадлежит к магнитному классу, а вода к диамагнитному, и с помощью этих веществ мне удалось получить раствор, который в воздухе не притягивался и не отталкивался и не принимал определенного направления. Такой раствор, окруженный водой, располагается по оси. Если раствор содержит меньше железа, то он располагается аксиально в воде, но экваториально в воздухе, и он может все более переходить в магнитный или диамагнитный класс от прибавления сульфата железа или воды.

2423. Таким образом была получена *жидкая* среда, имевшая, поскольку я мог заметить, все магнитные свойства и действия газа и даже пустоты. А так как есть магнитное и диамагнитное стекло (п. 2354), то, очевидно, возможно изготовить *твердое* вещество, обладающее тем же нейтральным магнитным характером.

2424. Попытка составить общий список веществ при настоящем несовершенном состоянии наших знаний была бы преждевременна. Поэтому ниже дан список только для представления специфического отношения, в котором тела находятся в магнитной силе, и для справок:

Железо	Осмий	Ртуть
Никель	Воздух при 0°	Флинтглас
Кобальт	и вакуум	Олово
Марганец	Мышьяк	Тяжелое стекло
Палладий	Эфир	Сурьма
Кронглас	Алкоголь	Фосфор
Платина	Золото	Висмут
	Вода	

2425. Весьма интересно заметить, что металлы стоят на концах списка, так как из всех тел они наиболее противоположны друг другу по своим магнитным свойствам. Замечательно также, что эти различия и отклонения от среднего

состояния оказываются наибольшими в металлах, находящихся в двух концах данного списка, — железе и висмуте, отличающихся малой электропроводностью. В то же время обращает на себя внимание *контраст* между этими металлами в отношении их волокнистого и зернистого состояния, их ковкости и хрупкости, когда мы представляем себе возможное состояние их молекул, подверженных магнитной силе.

2426. В отношении класса металлов, равно как и диамагнитных тел не этого класса (п. 2286), отрицание взгляда, что все тела магнитны, как железо, должно быть не простым отрицанием того, что утверждается, но заключать в себе доказательство того, что они представляют отличное и противоположное состояние и способны противодействовать значительной степени магнитной силы (п. 2448).

2427. Как уже показано, магнитная сила так поразительно отлична по своему действию на тела магнитного и диамагнитного классов, что когда она вызывает притяжение тел одного класса, она вызывает отталкивание тел другого. Мы не можем объяснить этого иначе, как действием на молекулы или массу веществ, которые приводятся в различные состояния и подвергаются соответствующему влиянию. С этой точки зрения интересно сравнить эти результаты с теми, какие представляет нам поляризованный луч, ибо здесь в отношении действия обнаруживается замечательное различие. Если мы, например, возьмем из обоих классов прозрачные тела, например, тяжелое стекло или воду из диамагнитного и кусок зеленого стекла или раствор зеленого купороса из магнитного класса, то данная линия магнитной силы вызовет отталкивание одного и притяжение другого. Но эта самая линия силы, которая так различно действует на поляризованный луч, проходящий через нее, совершенно *одинакова* в обоих случаях, так как оба тела вызывают его вращение в *той же* направлении (пп. 2160, 2199, 2224).

2428. Это соображение становится еще важнее, когда мы свяжем его с диамагнитными и оптическими свойствами тел, вращающих поляризованный луч. Так, раствор железа и кусок кварца, имея одно и то же свойство вращать луч, устанавливаются под влиянием одной и *той же* линии магнитной силы один аксиально, а другой — экваториально, но вращение, вызываемое в луче света этими двумя телами, поскольку они находятся под влиянием той же магнитной силы, *одинаково* в обоих. Затем это вращение совершенно

независимо и непохоже на вращение в кварце в самом важном пункте; ибо кварц сам по себе может вращать луч в одном направлении, но под влиянием магнитной силы он может вращать его направо и налево, смотря по ходу луча (пп. 2231, 2232). Или если взять два куска кварца (или две трубки терпентинного масла), которые вращают луч в *разных* направлениях, то под влиянием магнетизма они обнаруживают вращение всегда в *одном* направлении, и это направление может быть сделано правым или левым в каждом кристалле кварца. Между тем *контраст* между кварцем, как диамагнитным телом, и раствором железа, как магнитным, остается неизменным. Некоторые соображения о характере луча, вытекающие из этих контрастов, я надеюсь представить Обществу, когда буду иметь время подвергнуть их дальнейшему экспериментальному исследованию.

2429. Теоретическое объяснение движений диамагнитных тел и всех динамических явлений, возникающих от действия магнитов на них, можно дать, предположив, что магнитная индукция вызывает в них состояние, противоположное тому, которое она вызывает в магнитных телах. Другими словами, если поместить частицу каждого рода тел в магнитное поле, оба они станут магнитными и установят свои оси параллельно равнодействующей магнитной силы, проходящей через них. Но частица магнитного вещества установит свои полюсы на противоположных концах или обратится к противоположным полюсам индуцирующего магнита, тогда как диамагнитные частицы представляют обратное явление. Отсюда происходит приближение одного вещества и удаление другого.

2430. По теории Ампера это воззрение равносильно предположению, что в железе и магнитных телах возникают токи, параллельные существующим в индуцирующем магните, или проволоке, соединенной с батареей, а в висмуте, тяжелом стекле и диамагнитных телах возникают токи противоположного направления. Таким образом токи в диамагнитных телах будут иметь то же направление, что и токи, индуцируемые в диамагнитных проводниках при возникновении индуцирующего тока, а токи в магнитных телах — направление токов, возникающих при прекращении того же индуцирующего тока. В отношении непроводящих магнитных и диамагнитных веществ не может быть затруднения, так как гипотетические токи проходят не в массе, а вокруг частиц материи.

2431. Поскольку опыт до сих пор подтверждал такого рода представления, мы можем говорить о том, что известные индуктивные действия на массы магнитных и диамагнитных металлов *одинаковы*. Если прямой железный стержень провести поперек магнитных силовых линий или держать его или же спираль из железных стержней или проволоки вблизи магнита, магнетизм которого возрастает, то индуцируются электрические токи, идущие через стержень или спираль в определенных направлениях (п. 38, 114 и пр.). В стержне или спирали из висмута при тех же условиях также индуцируются токи и в том же направлении, как в железе; таким образом здесь нет различия в направлении индуцированного тока и мало различия в силе, во всяком случае не такое большое различие, как между током, индуцированным в одном из этих металлов, и в металле вблизи нейтральной точки (п. 2399)¹. Все-таки остается разница между условиями опыта и гипотезы: в первом индукция обнаруживается токами в массах, а в последней, т. е. в собственно магнитных и диамагнитных действиях, токи, если они существуют, идут, вероятно, вокруг частиц материи.

2432. Магнитные свойства газообразных тел крайне замечательны. Кислород или азот находятся посередине между магнитным и диамагнитным классами; они занимают место, которое не может занимать ни *одно* твердое или жидкое тело; они не обнаруживают перемены в своих свойствах при разрежении до возможной степени или даже, когда занимаемое ими пространство переходит в пустоту; они в отношении магнетизма одинаковы со всяким другим газом или паром; они занимают место не на конце, а в середине всего ряда тел, и все газы или пары одинаковы, начиная от самого разреженного состояния водорода до самого плотного состояния углекислоты, сернистой кислоты или паров эфира. Все эти свойства так поразительны, что могут сразу убедить всякого, что воздух должен играть большую и, может быть, определяющую роль в физическом характере и распределении магнитных сил на земле.

2433. Одно время я считал воздух и газы телами, кото-

¹ В п. 2399 Фарадей дает список магнитных и диамагнитных металлов, аналогичный списку в п. 2424. Около нейтральной точки (0°) расположены металлы (вещества), индифферентные к действию магнитного поля, — осмий, вольфрам и др. (Ред.)

рые, допуская разрежение своего вещества без прибавления других веществ, дадут возможность наблюдать соответственные изменения магнитных свойств. Ныне как будто оказывается, что эта их способность к разрежению, повидимому, не оказывает никакого влияния, и хотя легко приготовить жидкую среду, действующую на другие тела, как воздух (п. 2422), все-таки отношение ее к ним неодинаково. Такого рода среда не может быть разрежена без изменения ее магнитных свойств, ибо прибавить воду или иное подобное вещество значит увеличить диамагнитную силу жидкости, а если бы было возможно превратить ее в пар и таким образом разредить теплотой, то она перешла бы в класс газов и в отношении к магнетизму была бы неразличима от остальных газов.

2434. Интересно также наблюдать видимое исчезновение магнитных свойств и действий, когда тела принимают парообразное или газообразное состояние, если сравнить это с аналогичным отношением их к свету. Ибо ни один газ или пар до сих пор не обнаруживал магнитного влияния на поляризованный луч даже при наличии сил, более чем достаточных, для проявления такого действия в жидких или твердых телах.

2435. Для теории магнетизма весьма важно, зависят ли отрицательные результаты, полученные при опытах с газами и парами, от меньшего количества материи в данном объеме, или они представляют прямые следствия измененного физического состояния вещества. Для выяснения этого вопроса я придумал опыт с одной из трубок с эфиром Каньяр де ля Тура, но ожидаю встретить большие затруднения при его выполнении, главным образом ввиду прочности и массы трубки, необходимых для сопротивления расширению заключенного в ней нагретого эфира.

2436. Замечательное свойство воздуха и его отношение к телам магнитного и диамагнитного классов обнаруживаются в том, что воздух устанавливается экваториально в телах первого класса и аксиально в телах второго класса. Или если производить опыт в форме притяжения и отталкивания, то воздух движется, как испытывающий отталкивание в среде магнитного класса и притяжение в диамагнитной среде. Поэтому получается так, как будто воздух является магнитным в сравнении с диамагнитными телами и диамагнитным в сравнении с магнитными телами.

2437. Этот результат я объяснял предположением, что висмут и родственные ему тела абсолютно отталкиваются полюсами магнита, и если бы в этом явлении ничего не участвовало кроме магнита и висмута, они испытывали бы равным образом отталкивание. Точно так же в опыте с железом и подобными телами притяжение по гипотезе было прямым результатом взаимодействия их и магнитов; затем эти действия считались достаточными для объяснения установки воздуха как по оси, так и по экватору, равно как для объяснения видимого притяжения и отталкивания. В этих случаях результат считался зависящим от перехода воздуха к тем положениям, которые магнитные и диамагнитные тела стремились оставить.

2438. Но воздух в этих опытах представляет те же самые явления, как и полученные с раствором железа различной крепости (п. 2365), когда *все* тела принадлежали к магнитному классу и результат, очевидно, зависел от большего или меньшего напряжения магнетизма в растворах. Слабый раствор в более крепком устанавливался экваториально и отталкивался подобно диамагнитному телу не потому, что он под влиянием притяжения не стремился к осевому положению, но потому, что он стремился к этому положению с меньшей силой, чем окружающее его вещество. Таким образом возникает вопрос, отталкиваются ли диамагнитные тела в воздухе и стремятся ли к экваториальному положению по какой-либо иной причине, чем та, что воздух более магнитное тело, чем они, и стремится занять осевое положение. Легко заметить, что если бы все тела были магнитными в разных степенях, образуя один длинный ряд от одного конца до другого с воздухом по середине, то явления происходили бы так, как они происходят в действительности. Всякое тело из середины этого ряда устанавливается экваториально в телах, показанных выше его, и аксиально в телах ниже его, ибо вещество, которое подобно висмуту идет от точки сильного действия к точке слабого, способно к этому лишь потому, что вещество, находящееся уже на месте слабого действия, стремится к месту сильного, точно так же как в электрической индукции тела, наиболее способные к переносу силы, увлекаются по кратчайшей линии действия. Таким образом воздух в воде или даже под ртутью, повидимому, увлекается к полюсу магнита.

2439. Но если бы это воззрение было правильно и воз-

дух имел бы такую силу среди других тел, что занимал бы место по середине между ними, то следовало бы ожидать, что разрежение воздуха изменяло бы его место, делая его может быть более диамагнитным, или во всяком случае отражалось бы на его положении в списке тел. Если бы это было так, то тела, которые устанавливаются в нем экваториально при одном состоянии его плотности, при изменении плотности изменяли бы свое положение и, наконец, устанавливались бы аксиально. Но это не наблюдается, и при сравнении разреженного воздуха с магнитным или диамагнитным классом или даже со сгущенным воздухом он всегда остается на своем месте.

2440. Согласно этому воззрению даже чистое пространство было бы магнитным и точно в той же степени, как воздух и газы. Но хотя возможно, что пространство, воздух и газы имеют то же общее отношение к магнетизму, мне представляется большой добавочной гипотезой предположение, что все они абсолютно магнитны и находятся по середине ряда тел сравнительно с допущением, что они находятся в нормальном или нулевом состоянии. Поэтому в настоящее время я склоняюсь к прежнему взгляду и, следовательно, к мнению, что диамагнитные тела имеют особенное действие, противоположное обыкновенному магнитному действию, и таким образом представляют нам новое для нашего познания магнитное свойство.

2441. Количество этой силы в диамагнитных веществах, повидимому, очень мало, судя по ее динамическому проявлению, но движение, которое она в состоянии вызвать, представляет быть может наиболее поразительную меру ее. Вероятно, когда сущность ее будет нам лучше известна, мы познакомимся с другими проявлениями и другими показателями и мерами ее свойств, чем те несовершенные, которые приведены в этой статье, и быть может даже новые классы явлений послужат к обнаружению ее и к указанию ее действия. Весьма поучительно видеть слабое действие спирали, когда она одна, и поразительную силу, которую она проявляет и воспринимает в соединении с куском мягкого железа. Также и здесь мы можем ожидать аналогичного проявления этой формы силы, столь новой в нашем опыте. Нельзя даже на мгновение предположить, что, будучи присуща естественным телам, она излишня или недостаточна или не необходима. Без сомнения она имеет свое назначение, которое относится

ко всей массе земного шара, и вероятно, вследствие этой связи со всем земным шаром количество ее по необходимости (так сказать) столь мало в частях материи, которую мы употребляем и подвергаем опытам. Но как ни мала эта сила, она, когда проявляется в массах материи равной величины, все же неизмеримо больше, даже в динамических проявлениях, чем, например, мощная сила тяготения, которая связывает весь мир!

2442. В полном убеждении, что роль этой силы в природе будет раскрыта и окажется, как все другие естественные проявления силы, не только важной, но и существенной, я решаюсь высказать несколько беглых замечаний.

2443. Материя не может подвергаться действию магнитных сил, не участвуя сама в явлении и не проявляя в свою очередь известное влияние на магнитную силу. Простое наблюдение показывает, что когда магнит действует на кусок мягкого железа, то само железо благодаря состоянию своих частиц переносит силу в отдаленные пункты, сообщая ей направление и концентрацию самым поразительным образом. Также и здесь состояние, приобретаемое частицами участвующих в явлении диамагнитных тел, может быть состоянием, которое переносит и вызывает перенос силы через них. В прежних статьях (п. 1161 и пр.) * я предложил теорию электрической индукции, основанную на действии смежных частиц, которою я ныне даже более доволен, чем во время ее составления; тогда я высказал мысль, что боковое действие электрических токов, эквивалентное электродинамическому или магнитному действию, также проводится подобным образом (пп. 1663, 1710, 1729, 1735). В то время я не мог открыть особенного состояния посредствующей или диамагнитной материи, но теперь, когда мы можем различать такое действие, столь *сходное* по своей природе в столь *различных* телах и поэтому столь сходное по характеру со способом, которым магнетизм проникает во все виды тел, будучи в то же время столь же всеобщим по своему присутствию, как по своему действию; теперь, когда диамагнитные тела оказываются не индифферентными телами, я с большей уверенностью повторяю ту же мысль и спрашиваю, не переносится ли магнитная сила действием сложных или близлежащих частиц и не обусловлено ли распро-

* *Phil. Transact.*, 1838, ч. 1.

странение этой силы особенным состоянием, приобретаемым диамагнитными телами, подверженными магнитному действию?

2444. Какое бы воззрение мы ни приняли на твердые и жидкие тела, как образующие два ряда или же один большой магнитный класс (пп. 2424, 2437), это, по моему мнению, не меняет вопроса. Все они подчиняются влиянию магнитных линий сил, проходящих через них, и возможное различие в свойствах и характере любых двух веществ, взятых из разных мест ряда (п. 2424), в обоих случаях одинаково, ибо взаимодействие веществ обусловлено именно дифференциальным отношением этих веществ.

2445. Только группа, включающая воздух, газы, пары и даже вакуум, представляет некоторое затруднение для понимания. Но здесь обнаруживается такое удивительное изменение в физическом состоянии тел, и в некоторых отношениях они сохраняют столь мощные силы и свойства, тогда как другие, повидимому, исчезают, что можно почти с уверенностью ожидать появления особенного состояния под действием силы столь всеобщей, как магнетизм. Электрическая индукция, будучи действием на расстоянии, сильно изменяется в ряде твердых и жидких тел, но когда она проявляется в воздухе или газах, где она наиболее очевидна, она одинакова по количеству во всех (п. 1292); она не изменяется в воздухе по степени, как бы редок или плотен он ни был (п. 1284)¹. Магнитное действие можно считать простой функцией электрической силы, и если оно окажется аналогичным последней в этом своем особенном отношении к воздуху, газам и пр., то это меня несколько не удивит.

2446. В отношении способа, каким электрическая сила, статическая или динамическая, может переноситься от одной частицы к другой, когда они находятся на расстоянии друг от друга, или через вакуум, я не могу ничего прибавить к тому, что я говорил ранее (п. 1614 и сл.). Предположение, что такой перенос может иметь место, не представляет ничего удивительного для тех, кто пытался понять теплоизлучение и теплопроводность из единого принципа действия.

¹ Это указание Фарадея было подтверждено исследованиями Больцмана (К.).

О ПРИРОДЕ МАГНИТОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СИЛЫ И ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

(Том III. Серия XXII, § 28, V. — 4 октября 1848 г.)

2550. Магнитокристаллическая сила, повидимому, ясно отличается как от магнитной, так и от диамагнитной силы, так как она не вызывает ни притяжения, ни отталкивания, но лишь сообщает определенное положение массе, так что данная линия в массе кристалла приводится ею в данное отношение с направлением внешней магнитной силы.

2551. Я считаю необходимым тщательно исследовать и доказать вывод, что эта сила не имеет связи ни с притяжением, ни с отталкиванием. С этой целью я построил крутильные весы с бифилярным подвесом, состоящим из двух пучков шелковых нитей по семи волокон в каждом, в 4 дюйма длины, на расстоянии $\frac{1}{12}$ дюйма; на одном конце рычага я повесил кристалл висмута (п. 2457), так что он мог устанавливаться и держаться в любом положении. Эти весы были защищены стеклянным ящиком, вне которого помещался в горизонтальном положении и перпендикулярно к коромыслу крутильных весов конический конец одного полюса большого электромагнита (п. 2247) так, что кристалл висмута был на продолжении оси полюса и на расстоянии около $\frac{1}{2}$ дюйма от ее конца, когда все было в покое. Другой полюс на расстоянии 4 дюймов был широк, так что магнитные силовые линии расходились и быстро уменьшались в интенсивности от конца конического полюса. Целью было наблюдать степень отталкивания магнитом висмута, как диамагнитного тела, по расстоянию, на которое он отталкивался, или по кручению, необходимому для приведения его назад в прежнее положение, а также

установить, получится ли какое-нибудь различие, когда магнитокристаллическая ось висмута будет в одном случае расположена аксиально или параллельно магнитным силовым линиям, а в другом случае — экваториально.

2552. Поэтому кристалл помещался своей магнитокристаллической осью сначала параллельно магнитным силовым линиям, а затем поворачивался четыре раза подряд на 90° в горизонтальной плоскости, чтобы наблюдать его во всех положениях магнитокристаллической оси. Однако ни разу не обнаруживалось различия в силе отталкивания. В других опытах ось помещалась наклонно, но всегда с тем же результатом*. Поэтому если здесь существует различие, то оно должно быть весьма мало.

2553. Соответствующий опыт был произведен с подвешиванием кристалла, как маятника, бифилярно на шелковых нитях в 30 футов длины с тем же результатом.

2562. Таким образом эта сила отлична по своему характеру и действиям от магнитной и диамагнитной форм ее. С другой стороны, она имеет очевидную связь с кристаллической структурой висмута и других тел и потому с молекулами и силой, благодаря которой они способны образовывать кристаллические массы. Мне кажется невозможным представить эти результаты иначе, чем как взаимодействие магнитной силы и силы частиц кристалла друг на друга, а это приводит к другому выводу, а именно, что поскольку они могут действовать друг на друга, они имеют сходную природу. В то же время это способствует, как я думаю, решению великой проблемы теории о молекулярных силах, теории, приписывающей им общее происхождение (п. 2146).

2563. Рассматриваем ли мы кристалл или частицу висмута, полярность его имеет необычайный характер в сравнении с полярностью частицы в обычном магнитном состоянии или с дуализмом какой-нибудь другой физической силы, ибо противоположные полюсы имеют здесь *одинаковый* характер, как это показывает прежде всего диаметрально установка масс (п. 2461), а также физические свойства и отношения кристаллов вообще. Так как молекулы лежат в массе кристалла, они никоим образом не могут представлять состояния или быть представленными через состояние

* См. п. 2839 и сл.

шепотки железных опилок между полюсами магнита или частиц железа в магнитном якоре, ибо последние имеют полюсы *разных* наименований и свойство примыкать друг к другу и таким образом образовывать своего рода структуру, тогда как в кристалле молекулы полярны сходным образом по отношению друг к другу, так что и здесь можно считать все полюсы, так сказать, одинаковыми.

2564. Как показывают опыты, магнитокристаллическая сила действует на расстоянии (пп. 2556, 2574), и кристалл может также привести в движение магнит на расстоянии. Чтобы получить последний результат, я намагнитил стальное шило длиной около 3 дюймов и подвесил его вертикально на шелковом волокне длиной в 4 дюйма к небольшому горизонтальному стержню, который в свою очередь был подвешен в центре на шелковом волокне другой длины к неподвижной точке опоры. Таким образом шило могло свободно вращаться около своей оси и могло также описывать круг около $1\frac{1}{2}$ дюйма в диаметре; последнему движению не мешало стремление иглы устанавливаться под влиянием земного магнетизма, так как она могла принимать всякое положение на круге и все-таки оставаться параллельной самой себе.

2565. Стойка, совершенно свободная от действия магнетизма, была сделана из стеклянного стержня и медной проволоки, которые, проходя через дно стойки и находясь на продолжении верхней оси движения, были концентричны с кругом, который мог описывать маленький магнит. Высота стойки была такова, что она могла поддерживать кристалл или другое вещество на уровне полюса нижнего конца иглы и в центре малого круга, вдоль которого полюс мог оборачиваться. Перемещая нижний конец стойки, можно было также и верхний конец приближать или удалять от магнита. Все это было покрыто стеклянным колпаком. При сохранении однородной температуры и придя в состояние покоя, магнитная игла принимала *постоянное* положение под влиянием силы кручения нити подвеса. Далее вращение стеклянной стойки с медной проволокой не вызывало перемены положения магнита, ибо хотя движение воздуха смещало магнит, он возвращался в конце концов к той же точке. При удалении от этой точки сила кручения шелковой нити вызывала колебание системы; время половины колебания или возвращения к прежнему направлению

составляло около 3 мин., а время целого колебания—6 мин.

2609. Существует общая и, как мне кажется, важная связь между магнито-оптическими результатами Плюккера и полученными мной ранее с тяжелым стеклом и другими телами (п. 2153 и пр.). Если эти тела подвергнуть сильной индукции действием магнитных или электрических сил, то они приобретают особое состояние, в котором могут влиять на поляризованный луч света. Получается вращение луча, если он проходит через вещество параллельно магнитным силовым линиям, или, другими словами, в аксиальном направлении; если луч проходит экваториально, то не обнаруживается никакого действия. Поэтому экваториальная плоскость есть плоскость, в которой состояние молекулярных сил наименее нарушается в отношении их влияния на свет. Таким образом в опытах Плюккера оптическая ось или оси, если их две, входят в эту плоскость под влиянием того же магнетизма, представляя линии, в которых имеет место наименьшее действие или вовсе нет действия на поляризованный свет.

2610. Если кусок тяжелого стекла или известное количество воды привести сначала в такое напряженное состояние, а затем поместить его в магнитное поле, я думаю, не может быть сомнения, что они будут перемещаться, если имеют такую возможность, и располагаться естественно так, что плоскость, где нет действия на свет, будет экваториальной точно так, как это Плюккер показал на кристалле известкового шпата или турмалина. При этом как в опытах Плюккера, так и в моих опытах магнитный и диамагнитный характер тел не вызывает разницы в общем результате, и оптическое действие проявляется в одном и том же направлении и подвержено одним и тем же законам с обоими классами веществ (пп. 2185, 2187).

2611. Но хотя в этом решающем вопросе результаты в общем сходны, все-таки есть большая разница в расположении сил в тяжелом стекле и кристалле и еще большая разница в том, что тяжелое стекло принимает свое состояние лишь принудительно и на время под влиянием индукции, а кристалл обладает им свободно, естественно и постоянно. Но в обоих случаях, естественное или индуцированное, это состояние есть состояние частиц, и сравнение принудительного действия на свет стекла со свободным действием кристалла указывает на способность магнита ин-

дуцировать некое состояние частиц материи, подобное тому, которое необходимо для кристаллизации, и это даже в частицах жидкостей (п. 2184).

2612. Если эти соображения справедливы и силы, обнаруживающиеся в кристаллах висмута и исландского шпата, те же самые (п. 2607), то это дает новое основание для утверждения, что когда висмут и другие названные металлы подвержены действию магнита, то они обладают как индуцированным состоянием силы (п. 2584), так и предсуществовавшей силой (п. 2577). Последнюю можно различать, как кристаллическую силу, и обнаружить, во-первых, в телах, имеющих оптические оси и силовые линии, когда они не находятся под влиянием индукции, во-вторых, в симметрическом состоянии всей массы при обычных условиях и, наконец, в фиксированном положении линий магнитокристаллической силы в телах, обладающих ею.

2613. Хотя я говорил о магнитокристаллической оси, как о данной линии или направлении, но я не хотел бы быть понятым так, будто я предполагаю, что сила убывает или состояние меняется в равной пропорции вокруг нее. Более вероятно, что изменение различно по степени в разных направлениях, завися от сил, дающих различную форму кристаллам. Поэтому можно точно узнать распределение силы с помощью хороших кристаллов, обыкновенного постоянного магнита (пп. 2485, 2528) или отрегулированного электромагнита, плоских полюсов (п. 2463) и кручения (пп. 2500, 2530).

2614. Я не могу закончить этот ряд исследований, не заметив, как быстро развивается знание молекулярных сил и как поразительно всякое исследование стремится все более обнаруживать их важность и интерес как предмета изучения. Несколько лет тому назад магнетизм представлял для нас тайную силу, действующую лишь на немногие тела; ныне оказалось, что она влияет на все тела и имеет самую тесную связь с электричеством, теплотой, химическим действием, цветом, кристаллизацией и через нее с силами сцепления, и при настоящем положении дел мы должны продолжать наши работы, поощряемые надеждой привести его в связь с самим тяготением.

О ВОЗМОЖНОЙ СВЯЗИ ТЯГОТЕНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ¹

(Том III. Серия XXIV ², § 30. — 1 августа 1850 г.)

2702. Старое и неизменное убеждение, что все силы природы зависят друг от друга, имея общее происхождение или, скорее, будучи различными проявлениями одной основной силы (п. 2146), часто заставляло меня думать о возможности доказать на опыте связь между тяжестью и электричеством и таким образом ввести первую в группу, цепь которой, включая магнетизм, химическую силу и теплоту, связывает вместе общими отношениями многие различные проявления силы. Хотя исследования, произведенные мной с этой целью, привели лишь к отрицательным результатам, но я думаю, что будет полезно краткое изложение этого предмета, как он представляется мне, и результата опытов, которые сначала внушали много надежд, но после тщательного исследования источников ошибок сохранили

¹ Фарадей сделал попытку установить связь между тяготением и электричеством чисто экспериментально. Тематически этот вопрос разрабатывали многие крупнейшие физики, в частности, О. F. Mossotti (1836 г.), F. Zöllner (*Erklärung der universellen Gravitation aus den statischen Wirkungen der Elektrizität*, 1882), W. Weber (см. работу F. Zöllner'a), H. A. Lorenz (*Amsterdam Verst.*, 1900, и *Arch. Néerl.*, 1892), W. Wien (*Arch. Néerl.*, 1900) и др. Новейшие попытки такого рода принадлежат А. Эйнштейну (Общая теория относительности, 1916), Вихерту (1925 г.) — электростатическая точка зрения, Шах-Сулейману (Shah Soulaïman, *Proceed of Ind. Acad. of Sciences*, 1934-35) — гипотеза специфического излучения (гравитоны) и З. А. Цейтлину (Физико-химическая механика космических тел и систем, 1937) — гипотеза электромагнитных волн в эфире. Освещение вопроса и литературу до 1901 г. см. I. Zeppek, *Gravitation, Enc. d. Math. Wissensch.* V₂. (Ped.)

² *Phil. Transact.*, 1851, стр. 1, Бекеровское чтение.

лишь ограниченное значение. Это будет общее изложение проблемы и побудит других к ее рассмотрению.

2703. В поисках принципа, на котором могло бы быть основано опытное исследование для отождествления или связи обеих сил, казалось, что если существует такая связь, то в тяготении должно быть нечто, соответствующее двойственной или антитетической природе форм силы в электричестве и магнетизме. Мне казалось возможным, что подчинение действию силы или сближение тяготеющих тел, с одной стороны, и обратное действие силы или разделение тел — с другой, представляют возможные пункты соответствия, причем покой (по сравнению с движением) представляет нейтральное состояние. Конечная неизменность тяготения казалось не противоречила такому предположению, ибо действующие тела в покое всегда имеют ту же связь друг с другом, и только во время движения вперед и назад можно ожидать результатов, связанных с электричеством. Такие результаты, если они возможны, должны быть крайне малы, но *если они возможны*, т. е. истинны, то никакие слова не могут преувеличить значения связи, обнаруживаемой ими.

2704. Мысль, на которой были основаны опыты, состояла в том, что когда два тела движутся друг к другу силой тяготения, то в них или в окружающей материи могут возникнуть электрические токи некоторого направления, а когда они добавочной силой движутся друг от друга против силы тяжести, то могут возникать токи обратного направления. Эти токи должны относиться к линии приближения и удаления, а не к пространству вообще, так что два тела, приближаясь друг к другу, должны иметь токи в противоположных направлениях к пространству вообще, но того же самого направления в отношении направления движения по линии, соединяющей их¹.

Излишне рассматривать далее предположения, которые возникают относительно этих пунктов или в связи с эффектом принудительных движений, совпадающих с земным тяготением или пересекающих его направление и многие другие вещи. Достаточно сказать, что так как ожидаемое действие должно быть чрезвычайно мало, то не было

¹ Иначе говоря, токи должны быть круговыми с линией движения в качестве оси, перпендикулярной к плоскостям токов. (Ред.)

надежды добиться какого-либо результата иначе, как при помощи действия земного тяготения. Поэтому для опытов земля была взята в качестве одного тела, а определенная масса материи в качестве другого.

2705. Прежде всего тело, предоставленное свободному падению, окружалось спиралью и затем исследовалось его падение. Тело могло падать вместе со спиралью или через нее. Изолированная медная проволока длиной в 350 футов, сматывалась в виде полой цилиндрической спирали длиной около 4 дюймов с внутренним диаметром в 1 дюйм и наружным в 2 дюйма. Она укреплялась на шнурке, проходящем по легкому блоку, так что спираль могла подниматься на 36 футов и затем падать с ускорением на весьма мягкую подушку, причем ее ось все время оставалась вертикальной. Длинные изолированные проволоки укреплялись на ее обоих концах и, будучи закручены друг около друга, прикреплялись к весьма чувствительному гальванометру, находившемуся в стороне от линии падения и на расстоянии около 50 футов от середины. Затем точность связи и направление иглы проверялись введением слабого термоэлектрического элемента в цепь тока. Такая спираль, поднимаясь или падая, не может вызвать отклонения гальванометра током, зависящим от земного магнетизма, ибо так как она остается параллельной себе во время падения, то линии равной магнитной силы, которые, будучи параллельны линии магнитного наклона, пересекаются витками падающей спирали, перерезаются с одинаковой скоростью с обеих сторон спирали и, следовательно, не могут вызывать магнитоэлектрической индукции. Ни при подъеме, ни при падении эта спираль не обнаруживала следа действия на гальванометр, сохранялась ли все время связь с гальванометром или эта связь прерывалась как раз перед уменьшением или прекращением всякого движения, или же подъем и падение совпадали изохронно с колебаниями иглы гальванометра. Таким образом хотя в самой спирали не замечалось действие тяжести, однако в таком способе пользования ею не заключалось источника ошибок.

2706. Затем в спираль был введен массивный медный цилиндр диаметром $\frac{3}{4}$ дюйма и длиной 7 дюймов и тщательно укреплен в ней при помощи суконной обертки так, что он мог перемещаться, и эту сложную систему заставляли падать, как ранее (п. 2705). Получались весьма сла-

бые, но замечательно правильные указания на ток в гальванометре, и их связь с тяготением представлялась тем более вероятной, когда оказалось, что при поднятии спирали или стержня появлялись такие же, но противоположного направления токи. Прошло известное время, пока я сумел отнести эти токи к их истинной причине, но, наконец, я открыл, что они связаны с действием части проволок, соединяющих спираль с гальванометром. Две проволоки обычно скручивались вместе, но благодаря частым падениям часть раскрутилась по середине, образуя нечто вроде петли, так что проволоки уже не были скручены подобно прядям каната, но расходились на протяжении 3 футов. При падении эта петля открывалась в той или иной степени, но всегда одинаковым образом, и в результате поперечная часть ее, наиболее удаленная от гальванометра, проходила большее пространство, нежели соответствующая более близкая к гальванометру часть. Но если бы они проходили равные пространства, то действие магнитных силовых линий земли на них было бы одинаково и не обнаружилось бы на гальванометре. На самом же деле образовались токи противоположных направлений, но неравной силы, и в результате возникал ток, равный их разности. Такой случай описан в моих прежних исследованиях о земной магнито-электрической индукции (п. 171). Очевидно, что когда спираль и проволока поднимаются вверх, должен возникнуть ток обратного направления, и таким-то образом получился описанный обратный эффект. Поэтому введением медного стержня в спираль нельзя было получить позитивного доказательства в пользу первоначального допущения.

2707. Медь была выбрана как тяжелое тело и отличный проводник электричества. Она заменялась висмутом в форме цилиндра тех же размеров, так как висмут чрезвычайно диамагнитен и дурной проводник среди металлов. Получались ненадежные эффекты, но при более внимательном и тщательном проведении опытов все эти эффекты исчезли, и подъем или падение висмута не оказывали никакого влияния на гальванометр.

2708. Применялся также цилиндр из железа как магнитного металла, но если опыт проводился так, что исключалось всякое движение цилиндра относительно спирали, то получался тот же отрицательный результат, как в случае меди и висмута (пп. 2706, 2707).

2709. Применялись также цилиндры из стекла и шеллака как непроводящих веществ, но без успеха.

2710. В других опытах спираль была *укреплена* неподвижно, и разные вещества в форме цилиндров диаметром 3—4 дюйма и длиной 24 дюйма пропускались через нее или поднимались также с ускорением, но ни в одном случае не было желаемого результата. Применялись стержни из меди, висмута, стекла, шеллака и серы. Эти стержни приводились в быстрое вращение до и во время падения. Придумывались и выполнялись много других условий, но всегда с отрицательными результатами, когда исключались или учитывались источники ошибок.

2711. Первоначальное допущение о связи между силами рассматривалось также в отношении результатов, которых можно было ожидать при предположении наличия натяжения в частицах тела и вокруг них, которые, мы знаем, являются седалищем одновременно гравитационной и электрической сил и подвержены притяжению земли. Казалось вероятным, что торможение движения вверх и вниз (пп. 2703, 2704) по линии притяжения должно вызвать противоположные эффекты сравнительно с началом движения, безразлично, было ли торможение внезапным или постепенным. Когда движение вниз было быстрее сообщаемого тяготением, то действие было больше, чем в результате действия одного лишь тяготения, и соответственное увеличение скорости движения вверх давало пропорционально увеличенный эффект. При таких условиях была весьма полезна машина, могущая давать быструю смену движения вверх и вниз и таким образом производить много мелких единиц индуктивного действия в малом пространстве и в короткое время, ибо тогда с помощью надлежащих коммутаторов ускоренные и замедленные фазы каждой половины колебания могли бы разделяться и затем вновь сочетаться в один непрерывный ток; этот ток мог бы быть направлен через гальванометр тогда, когда его игла колебалась в некотором направлении, и затем обращен во время колебания в другом направлении. Такого рода смену можно было бы продолжить, пока эффект, если он вообще вызывается предполагаемой причиной, не становился бы заметным.

2713. Применяя в такой машине цилиндры из железа, меди и других веществ, можно получить электрические токи различными путями. Так, железо могло вызывать магнито-

электрические токи вследствие его поляризации под влиянием земли. Эти токи легко обнаружить и разделить с помощью надлежащих магнитов, которые должны нейтрализовать или обращать линии магнитной силы, проходящие через железо. Подобного рода токи, индуцированные в медных цилиндрах и хороших проводниках (пп. 2663, 2684), могли также вызываться действием земли. Но так как линии силы тяжести и силовые линии земного магнетизма наклонены друг к другу, то токи могли быть разделены по своему положению, и по видимому, здесь не было такого источника ошибок, которого нельзя было бы устранить. Я не хочу тратить времени на описание способов исключения ошибок, но сразу перейду к главным выводам.

2714. В машину помещался медный цилиндр, причем спираль неподвижно укреплялась около него так, что цилиндр был в вертикальном положении и двигался внутри спирали вверх и вниз, параллельно линии силы тяжести. Как бы быстро ни работала машина и каково бы ни было положение коммутатора, это не обнаруживалось в гальванометре. Применялись также цилиндры из висмута, стекла, серы, гуттаперчи и пр., но всегда с отрицательным результатом.

2715. Затем спираль снималась с неподвижного суппорта и укреплялась на медном цилиндре так, чтобы двигаться вместе с ним; тогда получались весьма правильные и сравнительно сильные эффекты. Но вскоре обнаружилось, что их необходимо приписать другим причинам, чем тяготение, и именно следующего рода. Спираль укреплялась на одном конце рычага на среднем расстоянии в 22 дюйма от его оси и при 2 дюймах в диаметре, ее проволоки отстояли с одной стороны на 21 дюйм, а с другой на 23 дюйма от рычага оси. Тогда при колебании части спирали передвигались со скоростями и на расстояния, соответствующие отношению 21:23. Поэтому когда их пути *пересекали* линии магнитной силы земли, то в различных частях стремились образоваться электрические токи, пропорциональные по качеству или силе этим числам, и разности этих токов, собираемые постоянно коммутатором, обнаруживались в гальванометре. Это становилось очевидным, когда машине придавали такое положение, что при плоскости колебаний попрежнему вертикальной спираль помещалась как раз под центром движения, и следовательно, средняя линия спирали вместо верти-

кальной делалась горизонтальной. Теперь витки спирали пересекали линии магнитной силы наиболее благоприятным образом, и в результате не требовалось коммутаторов, так как простого движения спирали в одном направлении было достаточно, чтобы обнаружить на гальванометре индуцированные магнитоэлектрические токи. Если же плоскость движения делалась горизонтальной, то никакое количество движения не возбуждало тока, ибо, хотя спираль была горизонтальна также и не более, чем прежде, но части (верхние и нижние) витков, пересекавшие магнитные линии силы, двигались теперь с совершенно одинаковой скоростью, так что не получалось разностного эффекта.

2716. Поэтому вышеуказанный слабый эффект (п. 2715), вероятно, зависел от действия этого рода, и это подтвердилось при таком расположении машины, что ось движущегося медного цилиндра и спирали в ее среднем положении была параллельна линии магнитного наклона. И в этом случае не получалось результата. Другие тела в том же положении равным образом не вызывали ожидаемого эффекта.

2717. На этом кончаются мои исследования в настоящее время. Результаты отрицательны. Они не колеблют моего глубокого убеждения о существовании связи между тяготением и электричеством, хотя и не дают доказательств такой связи.

Королевский институт
19 июля 1850 г.

О ФИЗИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ МАГНИТНОЙ СИЛЫ¹

(Том III, стр. 438.)

(„Royal Institution Proceedings“, 11 июня 1852 г.)

Выше * были описаны и определены известные силы около магнитного стержня (видимые при употреблении железных опилок, рассыпанных вблизи магнита), как точно выражающие природу, состояние, направление и количество силы в данной области внутри или снаружи стержня. В то время эти линии рассматривались отвлеченно. Не отступая и не отвергая ничего сказанного тогда, исследование касается ныне возможного и вероятного *физического существования* таких линий. Тот, кто желает вновь рассмотреть различные пункты, касающиеся этих частей учения о магнетизме, может обратиться к двум статьям первой части „Phil. Trans.“ за 1852 г. ** о данных, касающихся изображающих (representative) линий силы, и к статье „Phil. Magaz.“, 4 серия, т. III, стр. 401, 1852, о доказательстве *физических* линий силы ***.

Многие силы явно действуют на расстоянии; их физическая природа непонятна для нас, однако мы можем узнать

¹ XXIX серия „Экспериментальных исследований“, относящаяся к декабрю 1851 г. и доложенная в апреле 1852 г., заканчивается п. 3242. Следующая XXX серия, полученная 24 апреля и зачитанная 22 ноября 1855 г., начинается с п. 3263. К промежутку между 1851—1855 гг. относится ряд работ, частично занумерованных (3242—3262), частично идущих без нумерации. Нижеприводимые отрывки, расположенные в хронологическом порядке, частично относятся к перенумерованным параграфам, частично идут вне серии. (Ред.)

* „О диамагнитных силовых линиях“, стр. 402, англ. изд.

** См. п. 3243 и сл., стр. 407.

*** См. стр. 328, п. 3070 и сл.

о них много реального и положительного и между прочим о состоянии пространства между телом, действующим и подверженным действию, или между двумя взаимодействующими телами. Такие силы показывают нам явления тяготения, света, электричества, магнетизма и пр. При ближайшем исследовании они обнаруживают замечательные различия в соответственных линиях силы и доказывают в некоторых случаях существование реальных физических линий; они также облегчают рассмотрение специального вопроса о магнетизме.

Когда два тела a , b тяготеют друг к другу, они взаимно действуют по прямой линии, ибо такова линия, которой они следовали бы при свободном движении. Притягательная сила не изменяется ни по направлению, ни по количеству, если третье тело действует тяготением или иным образом на один из них или на оба. Висящий медный цилиндр тяготеет к земле точно таким же образом, висит ли он свободно, подобно маятнику, или отклонен в сторону другими притяжениями или натяжением, каково бы ни было количество последних. Тело a может подвергаться новой силе тяготения, но это ничуть не влияет на количество силы, которой оно действует на b . Мы не имеем свидетельств, что *время* влияет на эту силу, каково бы ни было расстояние между действующими телами от солнца до земли или от звезды до звезды¹. Мы с трудом можем представить себе силу в одной лишь частице самой по себе; мы воспринимаем ее лишь, когда имеются две или более частиц. Но в этом представлении мы не замечаем различия характера силы в разных частицах: все частицы одного рода равны, взаимно заменимы (*mutual*) и подобны друг другу. В случае тяготения мы не имеем перед собой действия, которое указывало бы на наличие независимой или физической линии силы; и в пределах наших теперешних знаний можно утверждать, что линия тяготения есть лишь идеальная линия, представляющая направление, в котором действует сила.

Возьмем солнце в отношении другой силы, которой оно действует на землю, именно его свет или теплоту. В этом

¹ В настоящее время теориями Гербера, Эйнштейна и др. установлено и, кроме того, экспериментально подтверждено (движение перигелиев планет, отклонение лучей света в гравитационных полях, красное смещение), что скорость распространения силы тяготения равна скорости света. (*Ред.*)

случае лучи (представляющие линии силы) проходят через промежуточное пространство, но мы можем воздействовать на эти линии помощью разных сред, через которые они проходят. Мы можем изменять их направление отражением или преломлением; мы можем заставить их идти по кривым или ломаным линиям. Мы можем отделять их от их источника, следовать за ними и перехватывать их прежде, чем они достигнут своей цели. Они имеют связь с *временем* и требуют 8 мин. на прохождение от солнца до земли, так что они могут существовать независимо от своего источника или конечной цели и действительно имеют явно определенное физическое существование. Они в этом отношении, точно так же как и в отношении их состояния на своих концах, представляют крайний контраст с линиями тяготения. Два тела, образующие концы линии тяготения, одинаковы в этих их действиях во всех отношениях, так что линия, соединяющая их, представляет одинаковые условия в обоих направлениях. Два тела на концах луча крайне несходны в своих действиях: одно является источником, а другое разрушителем линии, и сама линия имеет свойства потока, текущего в одном направлении. В этих двух случаях — тяготения и излучения — очевидна разница между отвлеченной и физической линией силы.

Обращаясь к статическому электричеству, мы находим притяжение (и другие действия) на расстоянии, как и в прежних случаях; но если сравнивать это притяжение с тяготением, то обнаруживаются поразительные различия, которые непосредственно касаются вопроса о физической линии силы. Прежде всего, исследуя тела, ограничивающие или оканчивающие линии электрического притяжения, мы находим, как прежде, что они взаимно и равно участвуют в действии, но они не сходны, напротив, хотя каждое наделено силой, которая, вообще говоря, имеет сходную природу, однако они представляют такой контраст, что их действия на строение тела, находящееся в состоянии, подобном состоянию каждого из них, совершенно обратны их действию друг на друга: то тело, которое одно из них притягивает, другое отталкивает, и сила обнаруживается как одно из проявлений агента (power)¹, обладающего двой-

¹ Термин power употребляется часто Фарадеем в современном смысле понятия энергии. (Ред.)

ственным и антитетическим характером. Но при таких агентах двойственной природы притяжение может иметь место лишь тогда, когда оба состояния силы наличны через посредство линий силы. Другое существенное ограничение состоит в том, что эти два состояния должны быть точно равны по количеству, не только в отношении действия притяжения, но и во всяком ином отношении, ибо невозможно создать такие условия, чтобы было или развивалось больше электрической силы одного рода, чем другого. Следующее ограничение состоит в том, что они должны быть в физической связи друг с другом, и когда положительно и отрицательно наэлектризованные поверхности соединены силовыми линиями, то мы не можем прервать эту связь иначе, как переводя силы этих поверхностей в равные количества противоположных сил, полученных в другом месте. Еще одно ограничение состоит в том, что сила имеет определенное количество. Если шар a заряжен 10 единицами положительного электричества, то он может действовать этим запасом силы на другой шар b , заряженный 10 единицами отрицательного электричества; но если 5 единиц заряда a отняты третьим шаром c , заряженным отрицательным электричеством, то шар a может действовать лишь 5 единицами силы на шар b , и этот шар должен найти или развить 5 единиц положительного электричества в другом месте. Это совершенно отлично от того, что происходит с тяготением, которое не представляет ничего двойственного по своему характеру. Наконец, электрическая сила действует по кривым линиям. Если шар наэлектризован положительно и изолирован в воздухе и на расстоянии 12 или 15 дюймов помещается круглая неизолированная и обращенная к шару металлическая пластинка, то последняя по указанному выше правилу окажется в отрицательном состоянии. Но она заряжена отрицательно не только на стороне, обращенной к шару, но и на другой, или внешней, стороне, как это может быть обнаружено пробным шариком или привешенной золотой или серебряной полоской. Но сила, действующая на эту поверхность, проходит не сквозь неизолированную пластинку, ибо ведь тончайший листок золота способен остановить индуктивное действие, а огибая ребра поверхности, и потому действует по кривым линиям. Все эти явления указывают на существование физических линий электрической силы: абсолютно существенная связь

положительной и отрицательной поверхностей и их зависимость друг от друга, находящаяся в контрасте с известной подвижностью сил, не допускают другого вывода. Действие по кривым линиям должно также зависеть от физической природы силовой линии. Третье важное свойство силы ведет к тому же заключению, а именно, указывает на действие на нее сред, имеющих разные удельные индуктивные способности.

При переходе к динамическому электричеству существование физических силовых линий становится гораздо очевиднее. Вольтаическая батарея, полюсы которой связаны проводящей средой, представляет то, что выразительно было названо током силы, идущим вокруг цепи; но этот ток является осью силы, имеющей равные и противоположные действия в противоположных направлениях. Силовой поток состоит из силовых линий, сжатых или расширенных сообразно трансверсальному действию проводника, которое не изменяется по направлению в зависимости от формы проводника. Эти силовые линии находятся во всех частях проводника и могут быть удалены со всякого места посредством каналов, приспособленных к этой цели, и никто не сомневается, что это физические силовые линии.

Наконец, обратимся к магниту, который составляет предмет настоящего рассуждения. Магнит образует систему сил, совершенную самое по себе и потому способную существовать благодаря ее собственным взаимоотношениям. Он имеет двойственный и антитетический характер, свойственный как статическому, так и динамическому электричеству; это очевидно из того, что называется его полярностью, т. е. из противоположности сил одинакового рода, находимых на его концах и поблизости к ним. Эти силы оказываются абсолютно равными друг другу: ни одна не может измениться в своей степени и количестве без равного изменения другой; это верно и тогда, когда противоположные полюсы магнита связаны не друг с другом, но с полюсами других магнитов. Полюсы, или *север* и *юг*, магнита не только связаны друг с другом внутри самого магнита, но также и внешне с противоположными полярностями по образцу статической электрической индукции, иным образом они вообще не могут существовать. Это внешнее отношение предполагает или требует точно равного количества новых противоположных полюсам магнита полярностей. Таким

образом, если сила магнита a связана с силой магнита b , то она не может действовать на третий магнит c , не будучи уменьшена в своем действии на b в количестве, пропорциональном своему действию на c . Посредством движущейся проволоки можно показать, что линии магнитной силы находятся внутри и вне магнита, что они являются замкнутыми кривыми, проходящими частично через магнит, что количество их внутри магнита в экваториальном сечении точно равно по силе количеству их в каком-либо внешнем сечении, проведенном через систему. Эти силовые линии вне магнита могут быть изменены по направлению с помощью разных средин, размещенных на их пути. Магнит никоим образом не может иметь только один вид магнетизма или даже малейший излишек северного или южного над другим. Когда полюсы магнита не связаны внешним образом с силами других магнитов, то они связаны друг с другом, т. е. север и юг изолированного магнита внешне взаимно зависимы и поддерживаются друг другом.

Все эти явления и многие другие указывают на существование физических силовых линий как вне, так и внутри магнитов. Они бывают кривыми и прямыми линиями, ибо, если мы представим изолированный прямой полосовой магнит, особенно же круглый стальной диск, правильно намагниченный так, что его магнитная ось находится на одном из диаметров, то очевидно его полюсы должны быть связаны снаружи кривыми линиями, так как прямая линия не может одновременно касаться двух точек севера и юга. Я думаю, что только кривые линии могут соответствовать физическим силовым линиям.

Явления, обнаруживаемые движущейся проволокой, подтверждают то же заключение. Когда проволока пересекает силовые линии, электрический ток проходит или стремится проходить через нее; но такого тока не будет, прежде чем проволока начнет двигаться. Проволока, находящаяся в покое, не имеет такого тока и, когда она движется, она не должна непременно проходить по тем местам, где магнитная сила больше или меньше. Она может идти по такому пути, что если бы магнитная игла двигалась подобным же образом, то она была бы совершенно не затронута магнитной силой, т. е. было бы абсолютно безразлично, в движении ли стрелка или в покое. Условия могут быть таковы, что проволока в покое будет иметь ту же диа-

магнитную силу, как окружающая магнит среда, и таким образом вовсе не нарушать силовых линий, проходящих через ту и другую, но когда проволока движется, в ней возбуждается электрический ток. Простое движение не могло бы вызвать этого тока: вокруг магнита должно существовать и поддерживаться им некоторое особое состояние, в сфере которого находится проволока, и это состояние показывает физическое строение линий магнитной силы.

Что представляет это состояние или от чего оно зависит, до сих пор нельзя объяснить. Оно может зависеть от эфира, как луч света, и действительно теперь уже показана связь между светом и магнетизмом. Оно может зависеть от состояния натяжения или колебаний или от иного состояния, аналогичного электрическому току, с которым так тесно связаны магнитные силы. Требуется ли оно материи для своего поддержания, зависит ли от того, что разумеется под словом материя? Если его ограничить весовыми и тяготеющими веществами, то материя не более необходима для физических линий магнитной силы, чем для лучей света или теплоты. Но если мы предположим, что эфир есть вид материи, то линии силы могут быть какой-либо функцией его. С точки зрения опыта само пространство магнитно, но в таком случае идея такого пространства должна предполагать идею эфира, если такого рода предположение вообще допустимо. Если же принять другое представление о состоянии пространства, то оно должно войти в понятие о том, что теперь в связи с опытом называется чистым пространством. С другой стороны, я считаю установленным фактом, что весомая материя не представляет существенного условия для физических линий магнитной силы.

О НЕКОТОРЫХ ПУНКТАХ ТЕОРИИ МАГНЕТИЗМА*

(Том III, стр. 566.)

Магнитная и электрическая формы силы, имеющие двойственный характер и способные действовать на расстоянии, могут сильно содействовать изучению природы физической силы вообще. Если (как я думаю) двойственность присуща силам и полюсы всегда равны и эквивалентны друг другу и так взаимно зависимы, что один не может возникнуть или даже существовать без другого, то доказательство истинности таких условий должно привести к многим выводам величайшей важности для науки о силе вообще. Некоторые простые опыты с электрической силой немедленно представляют двойственные явления нашему размышлению. Так, если металлический сосуд, вроде ведра, изолирован и соединен с чувствительным электрометром с золотым листком или с другим подобным прибором, а затем изолированный металлический шар с диаметром в половину ширины ведра заряжен положительным электричеством и помещен по середине ведра, причем последнее на мгновение не изолировано благодаря наружному проводящему соединению, а затем снова изолировано, то вся эта система внешне не обнаружит признаков электричества, и электрометр не покажет отклонения. Но пробный шарик, приложенный к шару внутри сосуда, отнимет у него положительное электричество и погасит присущий шару заряд, или приложенный внизу к внутренней поверхности сосуда отнимет отрицательное электричество и докажет, что сосуд имеет противоположный шару заряд; двойственность может быть также доказана удалением шара, когда сосуд окажется по

* *Proceedings of the Royal Institution*, 19 января 1855 г.

электromетру заряженным отрицательно, а шар положительно. Равенство этих двойственностей легко показать, снова помещая шар внутри сосуда, наблюдая электрометр, приводя шар и сосуд в соприкосновение и снова наблюдая электрометр, который окажется совершенно разряженным, а сосуд будет внешне в неизменном первоначальном состоянии. Таким образом электрические двойственности равны эквивалентам и взаимно поддерживаются. Чтобы показать, что эта двойственность не может существовать самостоятельно, изолируйте металлический сосуд, сообщите ему сильный заряд электричества соприкосновением с машиной или лейденской банкой и затем погрузите в него изолированный шар, а после соприкосновения дна сосуда с шаром удалите его, не касаясь стенок; он окажется абсолютно свободен от заряда, каково бы ни было его первоначальное состояние, ибо одно только состояние может существовать на дне такого металлического сосуда, а единственное состояние, т. е. безотносительная двойственность, не может существовать отдельно и само по себе.

Соответственные двойственности, т. е. север и юг, магнитной силы хорошо известны. Множество опытов производилось с целью изолировать один из них и отделить его в некоторой степени от другого. Эти и многие другие опыты показывают, что магнитные полюсы не могут возникать отдельно, и когда они возникают, то в равных пропорциях и существенно связанные, ибо если эта связь не была бы существенной, то как магнит мог бы существовать один? Его сила, проявляющаяся вблизи других магнитов, железа или висмута, должна по удалении их принять некоторую *другую форму* или же существовать *без действия*; первое никогда не наблюдалось и даже не подозревалось; второе представляется невозможным, как несогласное с сохранением силы. Но если двойственности одного и того же магнита оказываются лицом к лицу и таким образом становятся взаимно связаны, то происходит ли это по прямым линиям через магнит или по кривым через окружающее пространство? Связь через магнит (представляющий прямую полосу или шар) по прямым линиям опровергается тем, что, как показывают надлежащие исследования с помощью, например, спирали вокруг магнита, внутреннее распределение силы (коэрцитивной или иной) не изменяется, действует ли магнит на другие магниты или же предоставлен

самому себе („Экспериментальные исследования“, пп. 3119, 3121, 3215 и пр.); аналогичные исследования показывают, что *наружное* распределение силы в этом случае изменяется. Таким образом сила, распределенная внутри магнита по прямым линиям, не изменяется при таких условиях, а сила вдоль внешних и (необходимо) кривых линий изменяется.

Было бы очень важно, чтобы наша мысль пришла к выводу о необходимости пересмотра вопроса об общей природе физической силы и особенно тех форм ее, которые связаны с действиями на расстоянии. Свойством двойственности они весьма тесно связаны с теми, которые проявляются на незаметных расстояниях, и надо ожидать, что прогресс физической науки в наше время позволит нам подойти к этому глубокому и трудному вопросу с гораздо большим успехом, чем достигнутый физиками до сих пор. В настоящее время мы привыкли допускать действие на заметном расстоянии, например, действие одного магнита на другой или солнца на землю, как будто такое допущение представляет достаточный ответ на вопрос о природе физических средств, заставляющих удаленные тела действовать друг на друга, и человек, не решающийся признать достаточным такой ответ или допущение, на коем он основан, и требующий более удовлетворительного отчета, рискует показаться смешным или невежественным перед ученым миром. Но Ньютон, который сделал более всякого другого для доказательства закона действия удаленных друг от друга тел, включая солнце и Сатурн, отстоящие один от другого на 900 миллионов миль, не оставил этого вопроса без объяснения своим хорошо известным суждением, что простое притяжение удаленных частей материи не есть достаточное или удовлетворительное объяснение для философа. Думать, что тяготение прирожденно, присуще и существенно для материи, так что одно тело может действовать на другое на расстоянии через вакуум без посредства чего-либо другого, которым и через которое их действие и сила могут быть перенесены с одного к другому, представляет, по его словам, величайшую нелепость. Тяготение должно вызываться агентом, действующим неизменно по известным законам, но материален ли этот агент или нет, это он предоставляет на усмотрение читателей. Это глубокая мысль того, кто со своими знаниями и проницательностью.

видел в алмазе свернувшееся маслянистое вещество, тогда как он считался лишь прозрачным камнем, и предсказал присутствие горючего вещества в воде за столетие до разложения воды или открытия водорода. Это внушает мне веру, что близко время, когда его мысль о тяготении даст плод, и я решаюсь высказать несколько соображений о явной для меня недостаточности обычных понятий о тяготении и вообще силах, которые считаются действующими на расстоянии, имея в виду современное философское воззрение о сохранении и неразрушимости силы.

Понятие о тяготении для тех, кто признает закон Ньютона, но не идет далее по его пути, состоит в том, что материя притягивает материю с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния. Представьте себе массу материи (или частицу), например, солнце, и шар, подобный одной из планет, как наша земля, внезапно возникший или взятый из далекого пространства и помещенный, как земля, близ солнца; тогда появится тяготение, и мы говорим, что солнце притягивает землю, а земля в свою очередь притягивает солнце. Но если солнце притягивает землю, то эта сила притяжения или должна была возникнуть *вследствие* нахождения земли близ солнца или же она *предсуществовала* в солнце, когда земли еще не было. В первом случае, я думаю, крайне трудно себе представить, чтобы внезапное появление земли на расстоянии 95 миллионов миль от солнца, или хотя бы простое нахождение вблизи, могло без наличия предварительной физической связи вызвать в солнце силу, не существовавшую прежде. В отношении тяготения земля должна считаться первоначально столь же бездейственной, как и солнце, и не может иметь больше индуцирующей или действующей силы в отношении солнца, нежели солнце в отношении земли. Оба тела предполагаются в начале *без* силы; каким же образом эта сила может возникнуть от простого сближения их или сосуществования? Слишком трудно представить, чтобы тело без силы возбуждало силу в удаленном от него теле, но еще труднее, если не невозможно, принять эту концепцию, если вспомнить, что она включает в себе *творение силы*. Сила может быть противопоставлена силе, отклонена, направлена частично или всецело, даже превращена в том же смысле, в каком мы это допускаем также для материи, исчезая в одной форме, чтобы появиться в другой, но она не может

быть создана или уничтожена или скрыта, т. е. сделана существующей без действия или без эквивалентного действия. Сохранение силы представляет ныне идею, глубоко запечатленную в умах философски мыслящих людей, и я думаю, что все они признают невозможность творения или уничтожения силы наравне с творением или уничтожением материи. Но если представить себе солнце существующим изолированно в пространстве, не проявляющим силы тяготения вне его самого, и другой шар в таких же условиях и оба тела приближенными друг к другу и если допустить, что своим взаимным присутствием каждое заставляет другое действовать, то это значит, что мы признаем не только творение силы, но и *двойное творение*, так как оба тела предполагаются переходящими из первоначально инертного состояния в действующее. При взаимном удалении они по гипотезе переходят снова в бездейственное состояние, а это равносильно *уничтожению* силы. Легко понять, что действие солнца и земли, каких-нибудь двух или большего числа тел, взаимно и что, следовательно, изменение тяготения при всяком приближении или удалении тел продолжает тот же результат творения или уничтожения силы, что и в случае творения или уничтожения (последнее есть лишь полное удаление) одного или другого из действующих тел.

Таков, по моему мнению, должен быть вывод, если предположить, что притяжение земли солнцем возникает *вследствие* присутствия земли, а притяжение землей солнца — вследствие присутствия солнца. Если отвергнуть этот вывод, остается случай, когда сила или действующий источник силы предшествует в солнце (или в земле) *до* появления земли или солнца. Последнее воззрение, если согласовать его с сохранением силы, представляет, по моему мнению, один из трех возможных случаев: сила тяготения солнца, обращенная на землю, должна быть отнята в эквивалентной степени от некоторых других тел, и когда она отнята от земли (при исчезновении последней), она должна быть обращена на некоторые другие тела, или же она должна принять *новую* форму, перестав быть тяготением, и поглотить некоторую другую форму силы, становясь тяготением, или же она должна существовать *всегда* вокруг солнца в бесконечном пространстве. Первый случай не предполагается обычной гипотезой о тяготении и едва ли может считаться

вероятным, ибо если бы это было верно, то едва ли возможно, чтобы результаты его не были замечены астрономами при исследовании движений планет в различных положениях относительно друг друга и солнца. Сверх того, тяготение не принадлежит к числу двойственных сил, для каковых до сих пор такие исчезновения наблюдались на опыте или предполагались. Второй случай или появление новой или другой формы силы также никогда никем не предполагался в связи с теорией тяготения. Я делал попытки опытным путем связать тяготение с электричеством, имея в виду эту цель (*Phil. Transact.*, 1851, стр. 1)¹, но результаты были сплошь отрицательны. Это воззрение, если его принять на мгновение, предполагало бы, что не только солнце, но вся материя, в каком бы состоянии она ни была, получает добавочные силы, когда она лишается в некоторой степени тяготения, что частицы кометы в ее перигелии изменяют свой характер ввиду прекращения некоторой части своей молекулярной силы в увеличенное количество силы тяготения, которое они тогда проявляют, а в ее афелии эта добавочная сила тяготения обратно превращается в некоторый другой род молекулярной силы прежнего или нового характера, причем превращение всегда происходит в совершенно эквивалентной степени. Нельзя даже представить себе рассеяния облака пыли или его концентрации в камень, не предполагая нечто в том же роде, и я не думаю, чтобы кто-либо признал эту идею возможной. Остается третий случай, именно, что сила всегда существует вокруг солнца и в бесконечном пространстве, имеются ли там другие тела, на которые может действовать тяготение, или нет, и не только вокруг солнца, но и вокруг всех частиц материи. Этот случай постоянного необходимого условия для действия на расстоянии, когда по отношению к солнцу земля не находится на своем месте, и известного действия тяготения, как результата этого предварительного условия, когда земля находится на своем месте, я могу признать согласным с сохранением силы. Я думаю, что этот случай имел в виду Ньютон для тяготения, что в философском отношении он общепринят для света, теплоты и вообще лучистых явлений и (даже в более общем и широком смысле) он же навязыв-

¹ См. XXIV серию „*Experim. Research.*“ (Ред.)

вается нашему вниманию в особенно принудительной и поучительной форме явлениями электричества и магнетизма ввиду их зависимости от двойственных форм силы.

22 января 1855 г.

О НЕКОТОРЫХ ПУНКТАХ ТЕОРИИ МАГНЕТИЗМА*

(Том III, стр. 528.)

3300. В течение последних трех лет я осмелился, хотя лишь в качестве экспериментатора, опубликовать несколько новых идей относительного магнитного действия в работах под заглавиями: „О линиях магнитной силы“** и „О физических линиях магнитной силы“***. Первая из них представляет собой лишь попытку дать для экспериментаторов и прочих лиц точное выражение двойственного характера, количества и направления магнитной силы как внутри, так и вне магнита, независимо от каких бы то ни было предположений о природе источника этой силы, дабы мысль, стремящаяся к новым достижениям и открытиям, не была в рабстве и под губительным влиянием подобного рода предположений (пп. 3075, 3243). Вторая работа представляла собой умозрительное рассмотрение (*speculation*) возможной *физической природы* этой силы, существующей как вне магнита, так и в последнем, а также в телах, называемых магнитными, причем была подчеркнута полная гипотетичность этой предполагаемой физической сущности.

3301. В настоящее время существуют две или, скорее, три общие гипотезы о физической природе магнитной силы. Первая — гипотеза эфира, ведущая за собой представление об эфирных токах. Она изложена в простой форме Эйлером в его „Письмах“, предназначенных для физика без математической подготовки****. Согласно этой гипотезе магнитный

* См *Phil. Magaz.*, февраль 1855 г.

** *Phil. Trans.*, 1852, стр. 25.

*** *Phil. Magaz.*, июнь 1852, стр. 401.

**** *Euler's Letters*, 1802 г., vol. I, стр. 214, vol. II, стр. 240, 242, 244.

флюид или эфир движется потоком через магниты, а также вещества и пространства, их окружающие. Затем существует гипотеза двух магнитных флюидов, присутствующих во всех магнитных телах и собирающихся на полюсах магнита, где они притягивают и отталкивают частицы обоих флюидов на расстоянии и таким образом вызывают притяжения и отталкивания тел, содержащих эти флюиды и находящихся на расстоянии друг от друга. Наконец, имеется гипотеза Ампера, которая предполагает существование электрических токов вокруг частиц магнитов. Токи эти, действуя на расстоянии на другие частицы, содержащие такие же токи, упорядочивают расположение частиц в массах, к которым принадлежат частицы, делая таким образом эти массы способными к восприятию магнитного действия. Каждая из этих идей в большей или меньшей степени варьируется различными физиками, но для моих целей достаточно этих трех основных гипотез. Мое физико-гипотетическое представление не заходит так далеко, как вторая и третья из этих гипотез, ибо оно не занимается вопросом о возникновении или поддержании магнитной силы в магните. Моя гипотеза совпадает скорее с первой, хотя и не идет так далеко. Принимая магнит за центр силы, окруженной силовыми линиями, которые в качестве представителей силы получили уже математическое обоснование и оправдание (п. 3302), она рассматривает эти линии как *физические* линии сил, существенно необходимые как для существования силы внутри магнита, так и для передачи ее магнитным телам на расстоянии. Сторонники теории эфира могут рассматривать эти линии как токи или распространяющиеся вибрации, или стационарные колебания, или же, наконец, как состояния напряжения. По многим соображениям их необходимо считать существующими вокруг провода, несущего электрический ток, как и в том случае, когда они исходят из магнитного полюса.

3302. Мое предложение представлять магнитную силу, как состоящую из линий магнитной силы, привлекло к себе внимание двух известных лиц и выдающихся математиков. Признание ими истинности и всеобщности этого метода представления является для меня источником удовлетворения и поощрения. Профессор В. Томсон, упоминая о подобной точке зрения в приложении к статическому электричеству (пп. 1295, 1304) и к закону теплового движения

Фурье, говорит, что силовые линии дают те же математические результаты, что и теория Кулона и (где возможно) даже при помощи более простых процессов анализа, чем эта последняя*. Он затем указывает „на строгое обоснование аналогии, которая дает возможность говорить о проводящей способности магнитной среды для силовых линий“**. Ван Риис (Van Rees) напечатал на голландском языке математическую работу о моих силовых линиях***, которая была переведена в „Annalen“ Поггендорфа**** и о которой я имею весьма неполное представление из переведенных отрывков. Насколько я понимаю, он упрекает меня в отношении того, что я называю *физической стороной* моего воззрения, а именно, что я не говорю о происхождении линий и что у меня отсутствует высший принцип, приводящий к идее магнитных флюидов или электрических токов; он говорит, что моя гипотеза не устраняет старые теории и не делает их лишними. Но мне кажется, что, рассматривая их в качестве представлений (representations) силы, он считает их правильными представлениями во всей области, где применяется гипотеза магнитных флюидов или электрических токов. Я всегда старался *избегать* на место этих флюидов или токов ставить что-либо иное, дабы не стеснять мысль предвзятыми суждениями. Для тех же, кому нужна опора для представления, остается старый принцип эфиров.

3303. Благоприятная оценка, данная математиками этому методу, представляет себе магнитные силы в виде линий, придает мне смелость перейти к рассмотрению дальнейшего вопроса, а именно об истинном, но неизвестном, естественном магнитном действии. В самом деле, нам нужно совсем не множество различных методов представления сил, но единственно истинное физическое выражение как того, что раскрывают нам явления, так и законов, управляющих последними. Из принятых в настоящее время гипотез — гипотезы флюидов и гипотезы токов, какая-либо *одна* должна быть неверна, а быть может и обе. И я не думаю, чтобы математик смог указать, какая из них истинна и какая ложна, или утверждать истинность одной из них,

* *Phil. Magaz.*, 1854, VIII, стр. 53.

** *Ibid.*, стр. 56.

*** *Trans. Royal, Acad. Sciences of Amsterdam*, 1854, стр. 17.

**** *Pogg. Ann.*, XC, стр. 415.

хотя он и полагает, что они заключают более высокий принцип, чем выставленный мной. Ни одна из этих концепций не могла привести к открытию явления диамагнетизма и, как я думаю, явления магнитного вращения света. Я полагаю поэтому, что если бы вопрос о возможности явления диамагнетизма был поставлен перед математиком, руководствующимся одной из этих гипотез, то он должен был бы дать отрицательный ответ. Введенное мной понятие еще более усложняет положение, ибо оно несовместимо ни с одной из двух указанных концепций, поскольку последние связаны исключительно с действием на расстоянии без всякого посредства. И, однако, мое понятие силовых линий дает истинное представление о магнитных действиях во всем том, что не является гипотетическим. Таким образом в настоящее время мы имеем три основных понятия, из которых *два*, по крайней мере, должны быть невозможны, т. е. неверны.

3304. Из этого очевидно, что наши физические концепции (*views*) весьма проблематичны, и я думаю, что было бы очень полезно попытаться освободиться от содержащихся в них предвзятых мнений и рассматривать силу, насколько это возможно, во всей ее чистоте. В настоящее время, мысля о полярности, мы невольно склоняемся в сторону одной из двух гипотез о происхождении полярных сил, а так как решение не может быть выведено из математических соображений, то наше положение в этом вопросе напоминает положение с конкурирующими теориями света до появления новейших исследований в этой области. Однако, подобно тому как рефлектор Уитстона в соединении с решающим экспериментом, предложенным Араго и приведенным в исполнение Леоном Фуко¹, повидимому, разрешили этот вопрос, так и в области магнетизма мы можем надеяться, что дальнейшее развитие теории в соеди-

¹ Уитстон предложил в 1837 г. (*Pogg, Ann.*, XL, стр. 335) метод вращающегося зеркала для определения продолжительности искрового разряда и измерения скорости электричества. В 1838 г. Араго (*Comptes Rendus*, VII, стр. 954) предложил применить этот метод для сравнения скоростей света в воздухе и воде. Этот опыт был поставлен Фуко в 1850 г. (*C. R.*, XXX, стр. 489), который установил, что скорость света в воде уменьшается, тогда как согласно корпускулярной теории она должна была бы увеличиваться. (*Ред.*)

нении с экспериментом приведут к разрешению спорных вопросов.

3305. Большой шаг вперед для достижения этой цели был бы сделан, если бы нам удалось определить *расположение* силы в магните сначала в точке ее возникновения, а затем в окружающем пространстве. Лучше было бы добиться этого, ограничиваясь немногими гипотезами или даже не выдвигая никаких гипотез. Если представить себе магнит как своего рода солнце (ибо есть все основания полагать, что солнце представляет собой магнит), поляризованное, с антитетическими силами, непрерывно наполняющее пространство вокруг себя своими искривленными лучами, подобно тому как солнце или свеча наполняют пространство своими световыми лучами; если предположить далее, что эта концепция будет наравне с двумя другими претендовать на истинное представление расположения сил и что на основании математических соображений невозможно будет отдать предпочтение какой-нибудь из них, тогда, бесспорно, встанет вопрос о наивозможно широком рассмотрении этой проблемы с точки зрения чисто физической, ибо если предположить существование физических линий магнитной силы, соответствующих (в смысле своего реального существования) световым лучам, то не представляется столь невероятным, что к ним можно будет подступиться экспериментальным путем. Разрешение вопроса об их существовании чрезвычайно важно, тем более что есть все основания надеяться на положительный ответ. Поэтому я предполагаю, не выдвигая никаких физических гипотез о природе магнита, кроме того, что было мной сказано в п. 3299, снова обратить внимание экспериментаторов, в несколько, правда, несвязной форме, на этот вопрос как с точки зрения недостаточности современных физических взглядов, так и с точки зрения возможного существования линий физических сил. Я ограничу свои замечания немногими пунктами, как-то: полярность, двойственность и т. д. В своей попытке я исхожу из следующих соображений: 1. Подтверждение математиками правильности представления о направлении и количестве магнитной силы при помощи абстрактных силовых линий. 2. Успешное применение этих линий во многих случаях мной лично (п. 3174). 3. Наблюдаемая аналогия между магнитной силой и другими двойственными силами как в статическом, так и в динамическом состоянии,

в особенности же аналогия между магнитом и вольтовой батареей или другим постоянным источником электрических токов. 4. Идея Эйлера о магнитных эфирах или циркулирующих флюидах. 5. Высказанное сэром Исааком Ньютоном твердое убеждение в том, что даже сила притяжения не может произвести действия на расстоянии без посредства какого-либо агента, играющего роль физической линии силы*. 6. Пример борьбы между двумя теориями света и разрешения этого вопроса экспериментальным, путем.

3306. Я думаю, что некоторые нашли мои слова „места силы“ не подходящими, так как эти слова, повидимому, предвосхищают решение в пользу существования физических силовых линий. Я постараюсь употреблять их так, чтобы не внушать такой идеи. Тем не менее могу заметить, что мы применяем эти слова к лучу света даже в тех частях его, где он не задержан (не погашен), и потому здесь мы знаем о нем или о его существовании не более, чем в аналогичных магнитных явлениях. Мы употребляем также эти слова, говоря о тяготении для обозначения мест, где нет другого тяготеющего тела, и даже когда такое тело существует, то по нашим теперешним взглядам оно не может заставить силу тяготения первого тела действовать и быть направленной к данному месту.

* Ньютон говорит: „Представление о том, что тяготение врожденно, имманентно и существенно в материи, так что одно тело может действовать на другое на расстоянии через *вакуум* без посредства некоторой среды, с помощью которой или через которое их действие и сила могут быть перенесены от одного к другому, представляется мне столь абсурдным, что я не верю, что оно может разделяться человеком, обладающим в какой-либо мере способностью философски мыслить. Сила притяжения должна вызываться агентом, неизменно действующим в согласии с известными законами. Вопрос же о том, является ли этот агент материальным или нематериальным, я предоставляю суждению своих читателей“. См. третье письмо к Бентли.

О СООТНОШЕНИИ ФИЗИЧЕСКИХ СИЛ¹

В течение наших бесед мы не раз видели, что одна из сил материи производит результаты, которые получаются и от действия какой-нибудь другой силы. Мы видели, что электричество кроме притяжения производит еще другие действия, например, влиянием своим на силу химического сродства оно соединяет и разлагает тела. Этот случай дает нам уже пример связи между двумя силами. Но силы природы представляют еще другие, более глубокие соотношения. Мы должны рассмотреть не только, как одна сила влияет на другую, каким образом, например, сила теплоты действует на силу химического сродства и т. д., но мы должны стараться понять, в каком отношении силы находятся друг к другу и каким образом одна сила может быть превращена в другую. Сегодня мне и вам придется употребить все старания для того, чтобы разъяснить себе этот предмет. Я, впрочем, должен буду ограничиться лишь одним или двумя примерами.

Я возьму кусок тонкого листового цинка, разрежу его на узкие полоски и нагрею их, т. е. приложу к ним силу теплоты, допуская в то же время прикосновение их с воздухом, вы увидите, что они при этом будут гореть; благодаря приобретенным вами сведениям вы скажете, что в этом

¹ Шестая лекция книги М. Faraday: „A course of six lectures on the various forces of matter and their relations to each other“, 1859—1860, издано под редакцией Вильяма Крукса. Содержание данной лекции ясно показывает, что хотя Фарадей в некоторых случаях употребляет понятие силы в смысле Ньютона, однако в общем и целом это понятие имеет у него смысл современного понятия энергии. См. в особенности работу 1850 г. „О возможной связи электричества и тяготения“. (Ред.)

случае происходит химическое действие. Вы видите, кусок цинка горит точно так же, как дерево, только с большей яркостью. Часть цинка уходит в воздух в виде белого дыма, а часть его падает на стол. Мы таким образом имеем дело с действием химического сродства между цинком и кислородом воздуха. Чтобы показать вам это сродство, я сделаю опыт, поразительный в первый раз. Вот немного железных опилок и пороха; я тщательно перемешаю опилки с порохом, соблюдая при этом возможную осторожность. Мы сравним теперь способность горения обоих веществ. В пламя горящего спирта я буду бросать нашу смесь пороха с опилками, так что частички пороха и опилок будут иметь одинаковую возможность загореться. Теперь скажите мне, которые из них горят? Вы видите яркое горение железных опилок, между тем как большая часть пороха, хотя он имеет такую же возможность загореться, остается нетронутой. Мне нужно только слить спирт из чашки, дать просохнуть пороху, прошедшему через пламя, для чего достаточно несколько минут, и затем испытать его зажженной спичкой. Расположение железа к горению так велико, что при некоторых обстоятельствах оно требует для своего воспламенения меньше времени, нежели порох. Теперь порох просох, я прикасаюсь к нему зажженной спичкой, вы видите по сильной вспышке, как много пороха не сгорело во время падения через спиртовое пламя.

Остановимся на этих случаях химического сродства и посмотрим, есть ли возможность обратить эту силу в электричество, магнетизм или в какую-нибудь другую из сил, с которыми мы познакомились. Вот немного цинка, — я продолжаю употреблять цинк, потому что он очень годен для нашей цели, — помещаю его в реторте с серной кислотой, причем выделяется водород. Цинк разлагает воду на ее составные части и освобождает из нее водородный газ. Но из опыта в то же время известно, что если поверхность этого цинка покрыта незначительным слоем ртути, то способность его разлагать воду от этого *не теряется, но изменяется* весьма замечательным образом. Смотрите, как шипит теперь наша смесь цинка с серной кислотой, но если я прибавлю к ней немного ртути, то газ перестанет выделяться. Теперь не выходит из смеси почти ни один пузырек водорода, так что действие цинка на серную кислоту на время прекращено. Мы *не уничтожили* при этом химического сродства, а только

видоизменили его замечательным образом. Вот несколько пластинок цинка, точно так же покрытых слоем ртути, как покрыт цинк, находящийся в реторте; если я опущу такую пластинку цинка в серную кислоту, то газ не будет выделяться. Однако при этом замечательно то, что если вместе с цинком опущу в кислоту еще другой металл, не имеющий в такой степени способности гореть, как цинк, то действие возобновится. В реторту с серной кислотой и цинком, покрытым слоем ртути, я помещаю кусок медной проволоки, — медь не такой горючий металл, как цинк. Вы видите, что водород начинает выделяться точно так же, как выделялся в начале опыта, пузыри его проходят через воду и собираются все скорее и скорее в колоколе, — цинк действует теперь вследствие своего прикосновения с медью.

Всякий шаг, который мы делаем теперь вперед, приводит нас к новому явлению. Водород, который, как видите, так обильно освобождается теперь, выделяется не у цинка, как прежде, а у меди. Вот у меня сосуд, содержащий раствор меди, кусок амальгамированного цинка не производит на него почти никакого действия; если я помещу в раствор пластинку платины и оставлю ее там сколько угодно времени, то она также не произведет никакого действия. Но если я одновременно опущу в раствор пластинки цинка и платины и приведу их в прикосновение между собой, то вы заметите, что платина немедленно покроется слоем меди. Отчего это происходит? Платина сама по себе не имеет способности выделять металл из жидкости, а получает эту способность каким-то таинственным образом вследствие прикосновения с цинком. Вы видите здесь странную передачу химической силы от одного металла к другому, от цинка к платине, вследствие простого соприкосновения этих металлов. Вместо платины я могу поместить в раствор кусок меди или серебра, которые сами по себе тоже не произведут на него никакого действия, но как только я вставляю в него еще цинк и приведу его в соприкосновение с этими металлами, действие немедленно начнется, и они покроются медью. Не удивительно ли это явление? Действие той же химической силы частиц цинка мы каким-то странным образом можем перемещать с места на место, — в замечательном опыте, который я показал вам, мы заставили химическую силу перейти от цинка к платине, помещая оба металла в одну и ту же жидкость и приводя их в соприкосновение друг с другом.

Рассмотрим теперь эти явления поближе. Возьмем сосуд с жидкостью вместе с пластинками цинка и платины или меди. Если мы соединим их между собой вне сосуда проволокой, то результат будет тот же, что и в том случае, когда пластинки непосредственно соприкасаются друг с другом. Если вместо одного сосуда я возьму несколько сосудов, вставлю в каждый из них цинк и платину и соединю платину одного сосуда с цинком другого, то этот ряд сосудов будет действовать вместе. Позади меня вы видите такой прибор. Я употребляю так называемую гальваническую батарею Грове¹, в которой действуют цинк и платина: сила от всех 40 пар металлических пластинок действует в этом приборе одновременно, и все количество возбужденной таким образом химической силы проводится по этим проволокам, которые проходят под полом и могут быть соединены с этими двумя прутами, проходящими через стол. Стоит только привести в соприкосновение концы этих проволок, и искра покажет нам присутствие силы. Не замечательно ли, что эта сила переносится из батареи, стоящей позади меня, и проводится по этим проволокам.

Гемфри Дэви устроил много лет тому назад прибор, при помощи которого можно узнать, производит ли сила гальванической батареи взаимное притяжение тел, так же как и обыкновенное электричество. Он устроил его для опытов со своей большой гальванической батареей, самой сильной из существовавших в то время. В стеклянном сосуде подвешены два золотых листка, которые я могу приближать и удалять друг от друга с помощью винта наверху сосуда. Я соединяю каждый из этих листков с проволокой батареи, и если батарея достаточно сильна, то я буду в состоянии показать вам, что при этом листки на небольшом расстоянии притягивают друг друга. Когда золотые листки от действия притяжения придут в соприкосновение друг с другом, то они загорятся от действия нашей силы, что может случиться лишь тогда, когда они действительно прикасаются друг

¹ Платиновый элемент Грове был изобретен в 1840 г. В элементе Грове цинк находится в растворе серной кислоты, платина же — в растворе азотной кислоты. Последняя служит так называемым *деполяризатором*, т. е. выделяющийся на платиновом электроде водород окисляется азотной кислотой, что способствует поддержанию нормального напряжения элемента около 1,5 вольта. (Ред.)

к другу. Я не сомневаюсь, что некоторые из вас увидят приближение листков прежде, нежели они загорятся, а те, которые слишком удалены от стола, для того чтобы заметить это приближение, увидят по горению листков, что они пришли в соприкосновение. Я делаю этот опыт: листки сближаются между собой, вот, наконец, они загорелись, — вы видите блестящую вспышку. Притягательная сила в обоих концах батареи показывает вам, что мы имеем теперь дело с явлениями электрическими.

Посмотрим теперь, что это за искра. Я беру оба конца проволоки, соединяю их и получаю прекрасную искру с сильным блеском, подобным блеску солнца. Что же это за явление? То ли самое, которое происходит при разряде большой электрической машины, когда вы также замечали блестящую искру? Явление в обоих случаях, действительно, одинаково, только искра от проволоки батареи продолжительнее, потому что прибор этот действует сильнее¹. Вместо машины, которую нужно долго вертеть, мы имеем здесь химическую силу, посылающую искру, которая дивным образом проводится по проволокам. Я хочу показать вам, что эта искра и производимая при этом теплота не более не менее, как химическая сила цинка, которая переносится по проволокам и доходит до их концов. Я возьму кусок цинка и сожгу его в кислороде, чтобы показать вам, какой именно свет производится настоящим сгоранием в кислороде одного из употребляемых нами металлов. Я зажигаю на спиртовой лампе кисточку из листового цинка и вставляю ее в сосуд с кислородом, — вы видите, что она горит ярким светом. Это явление показывает вам энергию и силу² химического сродства. В батарее, находящейся позади меня, цинк сгорает гораздо быстрее, нежели в этом сосуде, в ней цинк растворяется, горит и производит сильный электрический свет, который вы видите у концов проволоки. Та же

¹ В современных электростатических машинах напряжение достигает 300 000 вольт; новейшая машина Жоли дает 5 млн. вольт. Однако вследствие громадного внутреннего сопротивления (диски из изолятора — стекла или эбонита, воздушные промежутки) сила тока весьма мала (около 10^{-5} ампер). Внутреннее же сопротивление гальванических элементов и динамомашин (электролиты, металлы) весьма мало, так что при несравнимо меньших напряжениях можно получать большие силы тока. (Ред.)

² Energy and power — это место ясно показывает, что термины энергия и сила являются у Фарадея синонимами. (Ред.)

сила, которая развивается в сосуде с кислородом при горении в нем цинка, проводится по проволокам батареи и обнаруживается у их концов в виде электрического света. Вы можете поэтому рассматривать дело так, что цинк сгорает в сосудах батареи и что свет от этого горения обнаруживается при сближении концов проволок (полюсов). Я мог бы устроить наш прибор таким образом, чтобы показать вам, что в обоих случаях развивается одно и то же количество силы. Таким образом мы по произволу можем располагать силой химического средства и проводить ее с места на место. Когда мы хотим произвести взрыв пороха, мы можем направить в мину силу химического средства, превращенную в электричество; не запасаясь заранее огнем, мы можем получить его когда угодно. Вы видите здесь сосуд, в котором помещены две заостренные палочки из древесного угля; этот прибор может также служить нам примером удивительной способности нашей силы передвигаться с места на место. Стоит только соединить посредством проводов палочки из угля с батареей и привести их в соприкосновение между собой, сила сейчас же обнаружится (электрический свет). Мы выкачали воздух из сосуда, так что уголь не может гореть, и поэтому свет, который вы видите, происходит от сгорания цинка в батарее, находящейся позади меня; уголь не исчезает, хотя и дает нам чудесный электрический свет. Как только я прерываю соединения угля с батареей, свет прекращается. Вот другой пример, который еще лучше покажет вам, с какой уверенностью мы можем проводить нашу силу в такие места, в которых при обыкновенных обстоятельствах химическое средство не могло бы действовать. Мы можем поместить угольные полюсы в воду и получить там электрический свет. Теперь они под водой, — вы видите, что, сообщая их с батареей, мы получаем тот же свет, который имели в стеклянном сосуде.

Но кроме образования света горящий цинк производит еще и другие действия. Вот несколько несгораемых проволок: одну из них, тонкую, платиновую проволоку я укреплю между двумя столбиками, которые могут быть соединены с батареей*. Производя это соединение, мы получаем огромное количество теплоты. Не удивительно ли это явление? Проволоки, идущие от батареи, представляют для прохождения силы настоящий мост. В нашем приборе сила всюду прово-

дится по металлу, но вы видите, что большое количество теплоты выделяется в платиновой проволоке, которая представляет собой некоторое сопротивление движению силы. Это — та теплота, которую цинк дал бы при горении в кислороде; но так как он горит в гальванической батарее, то теплота выделяется в другом месте. Я укорочу теперь проволоку, чтобы показать вам, что чем короче проволока, затрудняющая прохождение силы, тем сильнее выделяющаяся в ней теплота, пока, наконец, платина не будет расплавлена ею и не упадет, вследствие чего сообщение прервется.

Вот другой пример. Я кладу кусок серебра на древесный уголь, представляющий собой один полюс батареи; другой полюс ее я также приведу в соприкосновение с серебром. Смотрите, как ярко горит серебро.

Я кладу на уголь кусок железа, — вы видите, что и он сгорает; мы можем сжигать таким образом между полюсами батареи почти все вещества. Я хочу показать вам теперь, что эта сила есть не что иное, как химическое сродство, что хотя мы и называем ее теплотой, электричеством или другим именем, соображаясь с ее источником или способом передачи, но в сущности она — химическое сродство. Вот окрашенная жидкость, изменение цвета которой указывает на химическое действие. Я налью часть этой жидкости в стакан, и вы увидите, что проволоки батареи произведут в ней весьма сильную перемену. Действие, которое я покажу вам, не будет ни горение, ни образование теплоты. Я беру две платиновые пластинки, прикрепляю их к проволокам батареи и затем помещаю в наш раствор. Вы скоро увидите, что голубой цвет его полностью исчезнет. Смотрите, раствор уже обесцвечивается. Мне стоило только опустить концы проволок в раствор индиго, — проходящая через них сила электричества обнаруживается этим химическим действием. Говоря о химическом действии электричества, я должен упомянуть еще об одном замечательном явлении, именно, что цвет раствора разрушается от действия одного только полюса батареи. Я налью немного более этой серноиндиговой кислоты¹ в плоскую чашку и поставлю

¹ Серноиндиговая кислота — смесь одной части индиго и пятнадцати частей крепкой серной кислоты. Она обесцвечивается там, где выделяется водород, отнимающий у индиго кислород, так что получается бесцветное индиго. (Ред.)

в ней глиняную пористую перегородку, которая разделит жидкость на две части. Теперь мы можем видеть, есть ли различие в действии обоих полюсов батареи и который из них, собственно, обесцвечивает жидкость. Вы видите, что на правой стороне полюс действительно уничтожает синий цвет раствора, — часть его на этой стороне совершенно побелела, — тогда как на другой стороне в ней не произошло, повидимому, никакого изменения. Я говорю „повидимому“, потому что вы не должны думать, что на этой стороне не произошло никакого действия лишь потому только, что этого вы не замечаете.

Вот другой пример химического действия. Я опять беру платиновые пластинки и погружаю их в медный раствор, из которого мы прежде осадили часть меди, поместив в него одновременно платину и цинк. Вы видите, что платиновые пластинки сами по себе не производят никакого химического действия на раствор, они могут оставаться в нем сколько угодно времени, не осаждая из него меди. Но как только я соединяю их с проволоками батареи, то химическое действие, которое в батарее превращается в электричество и проводится по проволокам, снова обнаруживается как химическое действие у двух платиновых полюсов, осаждая из раствора медь на платиновую пластинку с левой стороны. Таким образом я мог бы показать вам много любопытных примеров того, каким образом химическое действие или электричество может быть перенесено с места на место. Замечательный самородок золота, модель которого находится в другой комнате, представляет особенно интересное явление в истории золота. Он был найден в Балларате и при выплавлении его, в ноябре 1859 г., стоил от 8000 до 9000 фунтов стерлингов. Самородок этот был образован в недрах земли какой-нибудь силой, подобной тем, пример которых я вам показал. Прекрасное свинцовое дерево¹, которое находится теперь перед нами, также образовалось действием химического сродства, от которого свинец нарастал постепенно все более и более. Способ действия свинца и цинка в маленьком гальваническом приборе имеет для нас важное значение, потому что в природе мы постоянно видим подобные малые действия, которые чрез-

¹ Кристаллы металлического свинца, покрывающие пучок медных проволок, погруженных в раствор свинцового сахара. (Ред.)

вычайно важны для осаждения металлов, образования минеральных жил и т. д.

Эти малые действия продолжают неопределенно долгое время, производя таким образом в течение веков огромные изменения. Я показал вам несколько примеров превращения химического сродства в электричество и электричества — в химическое сродство. Ограничимся покуда ими и постараемся ознакомиться немного глубже с химическим сродством или электричеством, — мы не знаем, какую силу нужно назвать прежде, так как одна весьма различными путями производит другую. Силы эти замечательны еще своей способностью производить силу, которую мы уже рассматривали, а именно магнетизм. Эта способность электричества и химической силы производить магнетизм стала известна лишь в последнее время. Естествоиспытатели давно предчувствовали это сродство между названными силами и давно уже питали надежду доказать существование его, — в науке всегда сперва начинают с надежд и ожиданий, и когда они осуществляются, то на них опять основывают новые ожидания, дальнейшие открытия, и таким образом наука идет все вперед, преследуя известную мысль, осуществляя ее, добывая результаты и опирая на них дальнейшие надежды.

Обратите теперь внимание на следующий опыт. Вот кусок проволоки, которым я соединю оба конца батареи. Это простая медная проволока; сама по себе она не обнаруживает магнетизма. Действительно, покуда проволока соединена с одним лишь концом батареи, она не оказывает никакого действия на магнитную стрелку. Но посмотрите, как стрелка повертывается, как только я соединяю проволоку с другим концом батареи. Когда я размыкаю цепь батареи, стрелка опять приходит в состояние покоя. Таким образом вы видите, что проволока во время прохождения через нее электрического тока, очевидно, действует на магнитную стрелку. Я покажу вам теперь этот опыт немного нагляднее. Вот у меня очень длинная проволока, свернутая в спираль; эта спираль будет действовать на нашу стрелку гораздо сильнее, она будет на нее действовать как настоящий магнит. Медная спираль сама по себе не действует на магнитную стрелку; я соединяю теперь концы ее с полюсами батареи, — смотрите, как спираль сильно притягивает один конец стрелки, отталкивая другой конец ее. Вы таким образом видите, что наша медная проволока в виде

спирали действует на стрелку подобно настоящему магниту. Не замечательно ли, что мы можем устроить магнит из меди? Я помещаю теперь железную полосу в другую медную спираль, и покуда через проволоку не проходит электрический ток, спираль не оказывает никакого действия на полосу, — смотрите, полоса вовсе не притягивает железных опилок. Теперь я соединяю концы спирали с батареей так, что через спираль проходит ток. Смотрите, как сильно наша полоса теперь притягивает железные опилки. Полоса стала теперь сильным магнитом, она притягивает теперь несколько кусков железа. Однако, когда я опять прерываю соединение спирали с батареей, притяжение железной полосы к железу исчезает. Какое может быть лучшее и более строгое доказательство связи между элетричеством и магнетизмом? Я беру теперь подковообразно изогнутую полосу железа и обвиваю ее медной проволокой. Проволока должна быть при этом покрыта шелком, для того чтобы медь не прикасалась к железу. Если я соединю проволоку с батареей, то я могу сделать такой же опыт с изогнутой полосой железа, какой я сделал во второй лекции с магнитом, т. е. образовать мост из железных опилок. Смотрите, как сильно железные опилки притягиваются полосой, когда через проволоку проходит электрический ток. Такие аппараты называются электромагнитами — выражение, обозначающее, что магнит приготовлен действием электричества. Этим путем мы можем приготовить самые сильные магниты.

Вот еще хороший пример могущественной силы магнетизма. Перед нами сильный электромагнит. Когда я пропускаю ток через обвивающие его проволоки, он притягивает железную полосу с такой силой, что я не могу оторвать ее от него. Я могу поднять весь магнит вместе с этой полосой, но оторвать ее мне невозможно. Если я положу на него длинную железную полосу, то другой конец ее проявит значительную магнитную силу, — смотрите, сколько железа этот конец притягивает! Таким образом мы видели переход химической силы в электричество и электричества в магнетизм. Я мог бы показать вам еще несколько опытов этого рода, я мог бы показать вам получение из магнита электричества и химической силы, теплоты и света, но соотношения сил материи и их взаимные превращения, надеюсь, будут вам и без того понятны.

В заключение я должен благодарить вас за внимание,

с которым вы следили за этими лекциями. Надеюсь, что познания, которые вы приобрели теперь о некоторых законах природы, поведут некоторых из вас к полнейшему и более всестороннему изучению этих законов. В самом деле, какие науки более свойственны уму человека, какие науки могут более удовлетворить его, чем науки естественные? При помощи этих наук человек находит по словам поэта:

„ — язык в деревьях, книгу в ручьях,
Летописи в скалах и всюду законы“.

З. ЦЕЙТЛИН

БИОГРАФИЯ М. ФАРАДЕЯ

МИХАИЛ ФАРАДЕЙ

КРАТКИЙ БИОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Вторая половина XVIII и первая половина XIX вв. ознаменовались в экономической истории Западной Европы промышленной революцией, сущность которой характеризуется переворотом в промышленной технике и переходом к промышленному капитализму.

Еще в период XVII—XVIII вв. ослабление цехов, усиление торгового капитала и рост массового кустарного производства, работающего на вывоз, появление первых крупных капиталистических предприятий — мануфактур, — все это вместе взятое обусловило возникновение обширного рынка и широкое применение машин. В этих условиях (массового производства) стремление к снижению издержек производства содействовало появлению новых изобретений. Последние же нуждались в научном прогрессе и, естественно, стимулировали его.

Первой вступила на путь промышленной революции Англия. Среди других стран Западной Европы она была наиболее экономически развитой, благодаря чему все характерные особенности буржуазной революции получили в ней наиболее полное и четкое выражение. Неудивительно поэтому, что Англия явилась родиной гениального ученого, открытия которого легли в основу величайших технических достижений. Этим ученым был Фарадей.

Михаил Фарадей родился 22 сентября 1791 г. в предместьях Лондона, в семье кузнеца. Родители Фарадея, как и он сам, принадлежали к небольшой религиозной секте, возникшей в Шотландии в 1728 г. Представители этой секты назывались сначала глэсситами, по имени ее основа-

теля Джона Глэсса, а затем стали называться зандемановцами, по имени Роберта Зандемана.

Фарадей при случае подчеркивал свою религиозность. Но, как это сплошь и рядом встречается в биографиях великих ученых, не разорвавших с религиозными предрассудками, последние находятся в резком противоречии с их научной деятельностью. Биограф Фарадея — Вильгельм Оствальд — справедливо замечает, что свои религиозные воззрения Фарадей абсолютно не вносил в область научного исследования, и эти две области оставались у него до конца жизни совершенно разграниченными одна от другой. Это было, говорит Оствальд, полное разграничение двух различных содержаний, совместное существование которых в духовной жизни Фарадея никогда, повидимому, к коллизиям не приводило. Эти две души в одной груди не сказали друг другу ни слова: между ними, вообще, не было никаких сношений, не было сознания возможности общей почвы. Сам Фарадей в одном из своих писем говорит по этому поводу следующее: „Хотя в природе творения бога никогда не могут находиться в противоречии с высшими предметами, относящимися к нашей будущей жизни, и хотя эти творения должны служить подобно всему другому для его возвеличения и восхваления, — я все же не нахожу нужным сочетать изучение естественных наук с религией и всегда считал религию и науку вещами совершенно различными“.

Отец Фарадея отдал своих сыновей — младшего Михаила и старшего Роберта — в начальную школу. Но уже девяти лет из-за столкновения с учительницей, хотевшей наказать маленького Фарадея розгами, мальчика пришлось забрать из школы и на этом окончилось его официальное обучение. В школе Фарадей научился лишь чтению, письму и начаткам счета.

Жить семье кузнеца Фарадея становилось трудно. Это был 1801 г., когда Наполеон I организовал против Англии известный континентальный блок. Рабочее население Англии от этого терпело особенно сильную нужду. Материальная стесненность семьи Фарадеев заставила отдать старшего брата Фарадея в ученики к кузнецу. Михаила по настоянию матери не трогали до 13 лет. В детстве Михаил обладал слабым здоровьем, и отец определил его в книжную лавку француза Жоржа Рибо рассыльным. В обязанности мальчика входила разноска газет подписчикам. В те времена газет

было мало, и были они дороги. Многие подписчики платили только за прочтение газеты, и маленькому Фарадею приходилось часто часами простаивать у подъездов, ожидая возврата газеты.

В часы таких ожиданий Фарадей никогда не скучал; он всегда обдумывал различные вопросы, которые он сам себе задавал. Пытливость и любознательность мальчика заставляли искать ответов в книгах, и Фарадей рано пристрастился к чтению.

По воскресеньям в лавке француза Рибо устраивалось нечто вроде клуба. Здесь прочитывались громко газеты, хозяин показывал покупателям книжные новинки, тут же обсуждались различные новости. Михаил проработал рассыльным год, после чего отец Фарадея заключил с торговцем Рибо контракт, по которому Михаил отдавался в ученики на 7 лет. Рибо обязался выучить мальчика переплетному делу и писчебумажной торговле, за что Михаил должен был беспрекословно подчиняться хозяину, будучи занят с 5 час. утра до 7 час. вечера. Дальше в контракте говорилось, что ученик пользуется пищей, одеждой и помещением хозяина безвозмездно. Побег от хозяина грозил ученику тюрьмой.

7 октября 1805 г. участь четырнадцатилетнего Фарадея была решена в камере мирового судьи, где по английскому закону утверждались подобного рода контракты.

Работал мальчик хорошо. По вечерам, оставаясь один, он жадно читал книги, которые переплетал. Рибо ценил способного ученика и не мешал этому чтению. Сначала Фарадей увлекался романами, путешествиями, сказками. Однажды ему попались три маленьких томика „Химических бесед“ мадам Марсе, написанных ярким и живым языком. Книжка Марсе произвела большое впечатление на Фарадея, и с тех пор он пристрастился к чтению естественнонаучных книг. Явления природы и объяснение этих явлений — вот что занимало ум юноши. Он читает статьи по электричеству в Британской энциклопедии. Мальчик был резв, имел сильное воображение, но вместе с тем пытливый ум. Он начал проверять прочитанное на опыте. Силы электричества настолько пленили ум мальчика, что он соорудил в переплетной мастерской самодельную электрическую машину и удивлял ею окружающих. Еще одна книга оставила в уме Фарадея глубокий след. Это были „Письма о физике

к немецкой принцессе“ Леонарда Эйлера. Фарадей познакомился также с сочинением „Об уме“ Уайта, трактующем модную в то время тему о познавательных способностях человеческого разума.

В 1810 г. умер от туберкулеза Джемс Фарадей. В этом же году Михаил Фарадей в витрине книжного магазина прочел объявление о том, что некий мистер Тэтэм прочтет ряд вечерних общедоступных лекций по естествознанию у себя на квартире. Плата за вход 1 шиллинг. Шиллинг, который так беспокоил Михаила, дал ему брат Роберт, правда, предупредив Михаила, что все эти лекторы — шарлатаны. Тэтэм оказался добросовестным и опытным педагогом. На этих лекциях Фарадей познакомился с несколькими молодыми учеными, которые не только помогали ему преодолеть трудности, встречавшиеся им при изучении того или иного вопроса, но вместе с тем дали возможность молодому переплетчику проникнуть в некоторые научные учреждения, в том числе в созданное упомянутым выше Тэтэмом вольное „Философское общество“. Новые связи в большой мере содействовали развитию и образованию Фарадея.

Фарадей усердно конспектировал лекции и своим прилежанием обратил на себя внимание жильца своего хозяина, художника-эмигранта Маскерье, который обучил его рисованию и черчению.

Здесь же на лекциях Фарадей познакомился с Бенджаменом Абботом, который на всю жизнь остался его другом и в тяжелые минуты поддерживал Фарадея.

В 1812 г. один из клиентов переплетной мастерской Денс обратил внимание на любознательного и чрезвычайно способного ученика. С целью поощрить его к дальнейшим занятиям Денс предоставил ему возможность посетить несколько лекций знаменитого химика Дэви, которые произвели на Фарадея неизгладимое впечатление.

Дэви, несмотря на свою молодость, был самой блестящей фигурой в английском ученом мире и уже пользовался большой известностью за границей. Свою научную карьеру он сделал с большой быстротой. Дэви много работал над изучением лечебного действия разных газов в газовой лечебнице доктора Бэддоса в Клифтоне. Его открытие — соединение азота с кислородом (веселящий газ) — создало ему большую известность. Дэви пригласили читать лекции в Королевском институте Великобритании, открытом на

средства частных лиц, с прекрасно оборудованными аудиториями и лабораториями. Дэви был вначале единственным лектором Королевского института и сразу же стал очень популярен среди лондонской публики. На лекциях Дэви состав слушателей был совершенно иной, чем у Тэтэма. Фарадей чувствовал себя неловко среди нарядных леди и блестящих милордов. В своих лекциях по электрохимии Дэви доказывал научные истины на опыте, разбивая общераспространенные предвзятые мнения. Это производило сильное впечатление на Фарадея, который, несмотря на свою молодость, обладал большой способностью к критическому мышлению. Фарадей восхищался смелостью и новизной утверждений Дэви и прекрасным выполнением опытов.

Фарадей начал упорно думать о том, как бы ему самому заняться наукой. Он решил написать письмо Бэнксу, президенту Лондонского королевского общества естествознания. Фарадей сам отнес свое письмо. В нем он просил Бэнкса помочь ему получить хоть самое ничтожное место, где он постарался бы быть полезным науке и где он смог бы пополнить свое образование.

Ответа на письмо Фарадей не получил. С горечью принял Фарадей это холодное равнодушие. Между тем срок ученичества у Рибо окончился, и в 1812 г. 7 ноября Рибо рекомендовал своего ученика новому хозяину французу Делярошу. Делярош был человек вспыльчивый, часто кричал на рабочих и даже бил их. Опытов больше производить Фарадею не удавалось, и все мысли его были направлены на то, как избавиться от грубости хозяина и от оупляющего беспросветного механического труда. По существу, однако, Делярош был добрым человеком и хотел сделать Фарадея своим наследником, но Фарадей мечтал быть ученым. Денс, видя удрученное состояние Фарадея, посоветовал ему обратиться к Дэви, послав ему конспект лекций.

Фарадей на этот раз написал короткое письмо и на ответ не надеялся. Ответ последовал, но к великому огорчению Фарадея Дэви ограничился обещанием рекомендовать его своим коллегам в качестве . . . переплетчика. Лишь случай помог Дэви ближе узнать Фарадея и изменить свое мнение о нем.

Лишившись временно способности работать вследствие ранения глаза, Дэви пригласил Фарадея для скромной роли писца. Вскоре из отрывочных частных разговоров с ним

Дэви пришел к заключению, что молодой человек обладает исключительными способностями и довольно большими знаниями. Удивленный Дэви предложил ему вакантное место лаборанта химической лаборатории Королевского института, директором которой он состоял. Хотя обязанности лаборанта немногим отличались от обязанностей простого служителя, Фарадей принял предложение с радостью. Вознаграждение в размере 25 шиллингов в неделю и квартира из двух комнат вполне удовлетворяли нетребовательного Фарадея, тем более что он мог теперь целиком отдаться научной работе, которая представляла собой предел его желаний.

Дэви не разделял восторга своего нового сотрудника. „Помогая мне в осуществлении моих стремлений, — рассказывал впоследствии Фарадей, — он вместе с тем предупреждал не бросать прежнего места; он говорил, что наука — особа черствая, что она в денежном отношении скупко вознаграждает тех, кто посвящает себя служению ей. На мое замечание о возвышенных нравственных переживаниях людей науки он улыбнулся и сказал, что предоставит меня опыту нескольких лет, который в этом отношении исправит мои взгляды“.

Огромное влияние на развитие Фарадея оказало его путешествие совместно с Дэви на континент. Знакомство с бытом и нравами континентальной Европы, а также с ее выдающимися учеными расширили кругозор Фарадея, обогатили его жизненный опыт и научные знания. Ради этих положительных сторон путешествия Фарадей готов был сносить возмутительное отношение к себе высокомерной леди Дэви. Хотя Фарадей был приглашен Дэви в качестве „помощника натуралиста“, но он, по просьбе Дэви, в некоторой степени заменил камердинера, отказавшегося в последний момент ехать с хозяевами. Неуживчивый характер жены Дэви сделал это двусмысленное положение Фарадея весьма тягостным.

„Я научился понимать свое невежество, — писал Фарадей своему другу, — стыжусь своих разнообразных недостатков и желаю воспользоваться теперь случаем исправить их ... Это обстоятельство и побуждает меня сопутствовать сэру Гемфри Дэви до окончания путешествия“.

День отъезда из Англии Фарадей пометил в своем дневнике как день, знаменующий новую эпоху его жизни.

В своем путешествии Фарадей впервые близко соприкоснулся с европейским ученым миром. Дэви посещали крупнейшие европейские естествоиспытатели — знаменитый Ампер, профессор прикладной химии Клеманс, выдающийся физико-химик Гей-Люссак, физик и врач де ля Рив и др. В Париже Дэви при сотрудничестве Фарадея открыл иод. Из Франции Дэви и Фарадей направились сначала в Швейцарию, затем в Италию. В Италии Фарадей наблюдал водяные смерчи и производил опыты с электрическими рыбами — скатами. Фарадей и раньше читал об этих чудесных рыбах, от прикосновения к которым получался сильный электрический удар.

Во Флоренции Дэви проделал опыт, в котором подтвердилось предположение Ньютона, что алмаз горячее тело. Дэви окончательно доказал, что алмаз — это кристалл чистого углерода. Италия особенно поразила Фарадея. Вся Флоренция представлялась Фарадею сплошным музеем, где бережно хранят памятники славного прошлого, оставшиеся от Данте, Микель-Анджело, Петрарки, Галилея. В Флорентинском музее естествознания Фарадей увидел телескоп Галилея, с помощью которого Галилей открыл спутников Юпитера. Будучи в Риме, Фарадей долго простаивал перед зданиями, красота которых заключалась в удивительно правильном соотношении частей. От этого всестороннего познания природы и культуры Фарадей возвращался к суровым будням, и унижительное положение лакея часто отравляло радость молодому Фарадею. Жена Дэви, знатная дама, старалась на каждом шагу подчеркнуть Фарадею его зависимое положение слуги. В гостях у де ля Рива Фарадей был приглашен к общему столу. Лэди Дэви была возмущена этим нарушением этикета, и де ля Риву пришлось приказать накрыть отдельный столик для Фарадея. Во время обеда он подошел с бокалом к Фарадею и провозгласил тост за науку. „Не огорчайтесь, мой молодой друг, и будьте уверены, что тот, кто хочет унижить другого, унижает только себя“.

Фарадей скрывал от своих близких друзей и родных истинное положение, но часто печаль от повседневных унижений его человеческого достоинства прорывалась в нем. Он пишет своему другу Абботу: „Проходя через жизнь, каждый из нас получает двойной ряд уроков: в школе благополучия и в школе лишений. И я думаю, что это

относится не только к богатству и к бедности, но и ко всему, что делает нас счастливыми или несчастными. Я прошел еще только первый класс обеих этих школ, но я уже научился видеть, что те вещи, которые представляются нам как несчастье, или крайнее зло, на самом деле оказываются благодетельными для будущего нашего развития“.

Путешествие с Дэви открыло перед Фарадеем новый мир. Наблюдая за работой учителя, он узнал то, чего следует избегать. Самообразованию Фарадей придавал большое значение. „Что может быть поучительнее для нас, чем наблюдение за действиями других“, писал он. Фарадей с одинаковой пытливостью рассматривал ландшафты, животных и людей. Его, жителя Лондона, города самых резких социальных контрастов, тем не менее глубоко поражала ужасная нищета, которую он увидел во Франции, истощенной наполеоновскими войнами.

Свои впечатления Фарадей тщательно заносил в дневник, и никакие, даже малозначачие подробности не ускользали от его внимания.

15 мая 1815 г., через две недели после возвращения в Лондон, Фарадей опять приступил к работе в Королевском институте, но уже не лаборантом, а ассистентом с окладом в 20 шиллингов в месяц. Фарадей расписал все часы своих занятий. Все дни он проводил в институте, а вечера он использовывал для самообразования по точно выработанной программе. Работы у Фарадея было много. Кроме лабораторных занятий он присутствовал на лекциях Дэви и профессора химии Брэнда, помогая им во всем. После ухода Дэви из лаборатории Фарадей тщательно перемывал всю посуду и убирал приборы. Потом он был занят подготовкой опытов к очередным лекциям. Эта подготовка целиком лежала на Фарадее. По средам он посещал организованный им кружок самообразования — „Философское общество“, а субботы проводил у матери.

В „Философском обществе“ Фарадей прочел несколько лекций по химии. К своей первой лекции он готовился целый месяц. Он написал ее всю от слова до слова. Товарищи очень тепло приняли его лекцию и указали ее недостатки и неудачные обороты речи, повторения, нечеткость отдельных выражений и неправильное произношение. Эта критика внушила Фарадею мысль брать уроки выразительного чтения. В 1816 г. Фарадей прочел 7 лекций о притя-

жении, о химическом сродстве, о хлоре, фторе, иоде, кислороде и азоте. К этому периоду относится появление в печати первой работы Фарадея, именно о химическом составе тосканской извести. Произвести химический анализ этой извести поручила Дэви одна знатная дама — герцогиня Монтрозская. Дэви передал эту работу Фарадею. Фарадей выполнил это поручение блестяще и составил о нем прекрасный отчет. Дэви остался очень доволен отчетом и передал его Брэнду для напечатания в журнале Королевского института.

Основным стремлением Фарадея в первый период его научной деятельности было стремление овладеть искусством экспериментирования. Он постиг это искусство в таком совершенстве, что впоследствии в ученом мире пользовался славой „короля экспериментаторов“.

Стремление Фарадея стать мастером своего дела было той характерной чертой, которая отличала Фарадея от многих исследователей. Все, что ни делал Фарадей, он делал чрезвычайно тщательно и поистине мастерски.

Всего в течение первого периода своей научной деятельности (1816—1830 гг.) Фарадей опубликовал 60 исследований и вышедшую в 1827 г. книгу „*Chemical Manipulations*“. К числу открытий, сделанных им в это время, относятся и такие значительные, как, например, открытие метода сжижения газов, открытие бензола и бутилена, а также метода добывания новой группы веществ — сульфокислот.

Вслед за этим началась эпоха (1830—1860 гг.) замечательных открытий Фарадея в области электромагнетизма и электрохимии, о чем подробнее будет сказано ниже.

Особо необходимо отметить популяризаторскую деятельность Фарадея. На запрос комиссии общественных школ относительно целесообразности популяризации науки Фарадей ответил: „Я удивляюсь и понять не могу, почему естественнаучные знания, сделавшие большие успехи в последние пятьдесят лет, остаются, так сказать, нетронутыми; почему вовсе не делают основательных попыток знакомить с ними подрастающую молодежь и давать ей хотя бы первые понятия в этих науках“. Кроме „Истории свечи“ перу Фарадея принадлежит выдающееся популярное сочинение „Силы материи и их взаимоотношения“.

Как исследователь Фарадей мало считался с ученой тра-

дицией и академической рутинной. Этому благоприятствовало то, что он был самоучка, не получивший систематического школьного образования. Гений Фарадея не испытывал давления традиционных научных взглядов и смог свободно взглянуть на вещи с новых точек зрения.

Это обстоятельство вместе с завистью к возрастающей славе Фарадея создало ему много противников, во главе которых Фарадей с глубоким сожалением увидел своего бывшего покровителя — Дэви. Кампания, поднятая ими против Фарадея, едва не помешала его избранию в члены высшей ученой корпорации Англии — Королевского общества, президентом которой Дэви состоял в то время. Когда последний убедился, что подавляющее большинство членов Общества поддерживает нежелательную ему кандидатуру, он предложил Фарадею, чтобы тот сам ее снял. „Я возразил, — сообщает об этом эпизоде Фарадей, — что этого сделать не могу, потому что выставил ее не я, а члены Королевского общества. Он заметил, что я должен побудить их взять свое предложение обратно. Я ответил, что заранее знаю, что они этого не сделают. Тогда он заявил, что сделает это как президент. Я ответил, что сэр Г. Дэви сделает наверное то, что он считает полезным для Королевского общества“. Агитация Дэви среди членов общества не увенчалась успехом, и Фарадей был избран в 1823 г. всеми голосами против одного.

Причины оппозиции Дэви против Фарадея недостаточно выяснены. Обычно указывают на обвинение в плагиате, которое было выдвинуто доктором Волластоном по поводу открытия эффекта вращения магнитного полюса относительно тока¹.

Это обвинение будто бы поддерживалось Дэви, который считал, что Фарадей не имеет „нравственного права“ носить звание члена Королевского общества. Фарадей в специальной записке опроверг возведенное на него обвинение. Возможно, однако, что корни столкновения между Дэви и Фарадеем лежали глубже и заключались в принципиальных

¹ Открытие Эрстедом и другими действия тока на магнитную стрелку навело на мысль о возможности получения эффекта более специального характера, именно, взаимовращения тока и магнитного полюса, в частности, вращения тока или магнита вокруг оси. Теоретически вопрос был разработан Ампером в 1820 г., экспериментально эффект был осуществлен Фарадеем в 1821 г.

разногласиях религиозно-философского характера. Дэви, как это видно из его сочинения „Последние дни философа“, относящегося к 1814—1815 гг., т. е. ко времени совместного пребывания с Фарадеем в Риме и окончательно отредактированного перед самой смертью (1829 г.), от первоначального стихийного материализма пришел к ярко выраженному спиритуализму, фидеизму и даже клерикализму. В заключительных словах книги Дэви выражает уверенность, что исследование природы сделается фундаментом религии: „религия через науку“ (стр. 366 французского издания). Фарадей же, как сектант-зандемановец, был не только антиклерикалом, но, как это было подчеркнуто выше, не смешивал между собой науку и религию. „Помощник натуралиста“ и отчасти камердинер Фарадей без сомнения неодобрительно смотрел на спиритуалистические и клерикальные восторги баронета Дэви, с мистическим трепетом созерцавшего вечный город — центр вселенской христианской церкви. Если к этому присоединить также последующую характерную дружбу Фарадея с Тиндалем — представителем наиболее прогрессивного крыла английского ученого мира, — то напрашивается мысль, что конфликт между Дэви и Фарадеем имел совершенно определенную идеологическую подоплеку.

Отношения между Дэви и Фарадеем в конце концов улучшились, и Дэви впоследствии любил повторять своим друзьям „Я в своей жизни сделал несколько немаловажных для науки открытий, но самое из них большое — это то, что я открыл Фарадея“. Настаивая на своей кандидатуре в члены Королевского общества, Фарадей защищал свою честь ученого, а не руководился тщеславием. Тщеславие было ему совершенно чуждо. Когда много лет спустя ему предложено было занять место президента в Королевском обществе, он решительно отказался от этой высокой чести, объяснив своему ученику и другу Тиндалю, что, приняв предложение, он „не мог бы более года ручаться за непорочность своей души“.

Не менее пренебрежительно относился он к материальным благам. Имея полную возможность применить свои огромные знания в области промышленности и, таким образом, составить себе значительное состояние, Фарадей без колебаний предпочел целиком отдаться научным занятиям широкого и общего масштаба вместо того, чтобы тратить силы

на решение мелких, узко практического характера, задач, хотя и весьма выгодных в денежном отношении. Отдельные задания правительства, имевшие практически гуманитарный характер, например, исследование причин взрывов в каменноугольных копях, разработка проекта введения электрического освещения на маяках, он выполнял без всякого вознаграждения. Главным источником его существования являлся скромный оклад, который он получал в качестве директора физической и химической лаборатории Королевского института.

Друзья Фарадея беспокоились о его материальной необеспеченности. Они-то и возбудили ходатайство перед правительством о предоставлении Фарадею государственной пенсии. Научные заслуги Фарадея были так велики, что ходатайство без спора подлежало удовлетворению.

26 октября 1835 г. Фарадей был вызван в приемную к министру лорду Мельбурну. Министр принял Фарадея стоя, не предложив ему сесть, и высказал ему свою точку зрения, что он, Мельбурн, считает нелепостью всю систему выдачи государственных пенсий литературным и научным деятелям.

Возвратившись домой, Фарадей написал министру вежливое, но решительное письмо, в котором он отказался от пенсии в 300 фунтов стерлингов. Друзья были расстроены этим обстоятельством, но Фарадей категорически настаивал на своем. В результате он согласился на получение пенсии только в том случае, если лорд Мельбурн возьмет свои слова обратно в письменной форме. Это было почти невозможное требование, но в защиту Фарадея вступились очень влиятельные люди, и поведение Мельбурна задело общественное мнение. Об этом случае начали много говорить, и Мельбурн, занявший недавно пост премьер-министра не без борьбы, забеспокоился и побоялся, что инцидент будет использован его врагами. Мельбурн написал поэтому Фарадею письмо, извинился в нем перед ученым. Фарадей был удовлетворен. Он говорил своим друзьям: „Я вступился не за свою личную честь, а за достоинство ученого. Надо научить людей, имеющих власть, уважать деятелей науки по их действительным заслугам, а не по их титулам и происхождению“.

Щепетильность Фарадея была так велика, что он не счел даже возможным воспользоваться опуском, предоставленным ему

Королевским институтом в конце 30-х годов. Между тем, в результате чрезмерного напряжения сил его здоровье было сильно расстроено. Но лишь после того, как состояние его настолько ухудшилось, что он совершенно лишился способности работать, жене и друзьям удалось настоять на его поездке в Швейцарию. Здесь Фарадей прожил около года.

В Швейцарии на отдыхе Фарадей снова сблизился с природой. Он любовался и восторгался ею так же, как в дни юности. Наблюдая цвета и окраски неба, Фарадей удивлялся художникам, которые не изучают неба, а дают фальшивые эффекты. Очевидно, поэтому Фарадей так любил английского художника Тернера, известного искусством передавать цветные эффекты неба. В часы досуга Фарадей увлекался искусством, живописью, музыкой. Слушал известного певца Гарсиа — отца знаменитой певицы Гарсиа-Виардо. Посещал театр и особенно любил цирк. Фарадей помогал Тернеру по вопросам химического состава красок. Сам Фарадей писал стихи и прекрасно декламировал. Читал часто своей жене вслух Шекспира и Байрона с большим чувством и пониманием стиха. В молодости играл на флейте и знал множество песен на память. Будучи внутренне очень горяч и вспыльчив, в обращении был ровен, мягок и очень внимательно прислушивался к замечаниям окружающих. Не терпел сомнительных знаний и не гонялся за титулами и славой.

Глубокая любовь к науке и прекрасные качества человека еще более украшали гений Фарадея.

В личных отношениях Фарадей также был человеком кристальной чистоты и необычайной чуткости. „Я не знаю сердца, более верного в дружбе, чем сердце Фарадея“, — говорил о нем его друг Аббот. У Фарадея было много друзей, любивших его. Фарадей был нежным сыном, заботившимся о матери до конца ее жизни. В браке Фарадей был очень счастлив. Хотя у него не было детей, но эта неполнота жизни возмещалась радостью научных исследований.

Прожив год в Швейцарии, Фарадей возвратился в Лондон значительно окрепшим и тотчас же приступил к своим обычным занятиям, не щадя своих сил и здоровья. Неизбежным последствием этого явилось полное изнурение организма. С конца 50-х годов Фарадей отказался от целого ряда

своих обязанностей, а в начале 60-х годов он вынужден был прекратить всякую работу.

Хотя в этот период времени Фарадей очень ограничивал себя в занятиях, тем не менее он провел большую работу по составлению и упорядочению электрохимической терминологии. Ему принадлежат употребляемые ныне термины: электролит, электрод, анод, катод. Эти вопросы научной терминологии, как известно, и до сих пор занимают внимание ученых всего мира.

После смерти жены, в 1866 г., племянница Фарадея взяла на себя заботы о великом ученом. Окруженный ее вниманием, Фарадей спокойно провел последний год своей жизни. Почти единственным посетителем его в это время был Тиндаль, сообщавший любимому учителю о важнейших событиях в области науки.

25 августа 1867 г. Михаила Фарадея не стало.

Гениальность Фарадея как ученого в том, что он открыл новый революционный метод исследования электромагнитных процессов.

Дофарадеевский период развития теории и практики электромагнетизма характеризуется значительным накоплением экспериментального материала и господством теорий дальнего действия в духе школы Ньютона. В первом отношении необходимо прежде всего отметить изобретение различного рода электрических машин, приборов и измерительных инструментов.

Из главнейших экспериментальных исследований получили развитие: исследование электростатической индукции, взаимодействия электрических зарядов, взаимодействия магнитных полюсов, электрохимические исследования Гальвани, Вольта, Дэви и Берцелиуса; открытие Эрстедом (1820 г.) взаимодействия электричества и магнетизма; Ампером — электрических токов (1820 г.); формулировка Омом (1827 г.) закона электрического тока; открытие Араго (1824 г.) электромагнитной индукции („магнетизм вращения“).

Теоретические исследования в области электричества и магнетизма отмечены именами Кавендиша, Пуассона, Эпинуса, Кулона, Лапласа, Ампера, Био, Савара, Вебера, Гаусса и Грина.

В противоположность эфирной теории Декарта-Эйлера теории перечисленных ученых базировались на концепции

специфических электрической и магнитной жидкостей, частицы которых взаимодействуют по законам, сформулированным Кулоном и Ампером и аналогичным закону тяготения Ньютона. У Ампера в известном сочинении „Математическая теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта“, эта точка зрения переходит в принципиальный математический формализм и эмпиризм.

Одним из долго дебатировавшихся в то время вопросов был вопрос о весомости или невесомости электрических, магнитных, световых, тепловых и химических (флогистон) жидкостей. Подробно разбирает этот вопрос, например, П. Мушенбрек во „Введении в естественную философию“ и К. Грин в „Основах естествознания“ (1788 г.). Опыты, произведенные рядом физиков и химиков, в частности Бойлем, Бюффоном, Ж. П. Маратом („Decouvertes sur le feu, l'électricité et la lumière, 1799 г.), Ребекком, Фордайсом, Гютон-де-Морво, Дэви, Румфордом и др., привели в конце концов к концепции „невесомых жидкостей“ и даже жидкостей отрицательного веса (флогистон).

В связи с открытиями Гальвани, Вольта, Эрстеда и Ампера возникла концепция тождества электричества, магнетизма и химизма. Философски эту концепцию развивали Шеллинг (1775—1854 гг.), особенно в сочинении „Дух в природе“, и Гегель (1770—1831 гг.) в „Философии природы“. Точку зрения тождества электричества и химизма защищали Г. Дэви (1806г.) и Берцелиус (1803—1804 гг.). Известная теория тождества электричества и магнетизма была развита Ампером (1820—1827 гг.), объяснявшим магнетизм веществ существованием молекулярных амперовых токов, — взгляд, к которому по существу примыкал Эрстед, знакомый с идеями Шеллинга о единстве физических сил. Значительное число физиков той эпохи были, однако, противниками такого рода воззрений. Например, Био в своем известном „Трактате по физике“ решительно выступает против амперовой теории магнетизма.

Другой вопрос касался единства различных видов электричества. Тогда различали не менее пяти видов: обыкновенное электричество (трения, атмосферное, пироэлектричество, пьезоэлектричество), гальваническое, магнитное (индукционные токи, открытые Фарадеем в 1831 г.), термоэлектричество (Зеебек, 1821 г.) и животное электричество (электрические скаты, угри и пр.). Вопрос о единстве раз-

личных видов электричества был окончательно разрешен Фарадеем путем искусно задуманных опытов, описание которых дано в „Экспериментальных исследованиях“. Большое значение имел знаменитый спор по вопросу об источнике электричества в элементе Вольты. Вольтов столб был построен Вольтой в 1799 г. (см. „Gilbert's Annalen“, IV, 1800 г.) и продемонстрирован в 1800 г. перед Французским национальным институтом; почти одновременно с Вольтой гальванический элемент был изобретен В. Петровым („Известия о гальвани-вольтовых опытах“, 1803 г.). Вольта считал, что электрическое действие его столба обусловлено контактом металлов и жидкостей (контактная теория) — взгляд, который защищался в своеобразной видоизмененной, однако, форме Берцелиусом, Пфаффом (1773—1852 гг.), Поггендорфом, Фехнером и др., рассматривавшими электрические силы атомов в качестве первичных. Обратной концепции придерживались Фаброни, Риттер, Волластон, де ля Рив, Беккерель и др., считавшие, что электрическое действие вольтова столба есть результат химических реакций (химическая теория). В защиту последнего взгляда выступил в 1840 г. Фарадей, аргументировавший законом сохранения энергии (силы).

Шейнбейн (1836—1849 гг.) и Гельмгольц (1847 г.) стали на компромиссную точку зрения, к которой и присоединились с тех пор физики. Согласно Шейнбейну и Гельмгольцу контакт обуславливает распределение электрического напряжения, возбуждающего химическое действие; источником же энергии непрерывного электрического тока является химическая энергия.

Другая отрасль знания, в которой прославился Фарадей, именно, химия, получила в ту эпоху богатейшее развитие на базе развития химической промышленности, особенно в связи с нуждами обороны революционной Франции, правительство которой не колебалось ставить во главе крупнейших оборонных предприятий таких химиков, как Лавуазье, Бертолле, Фуркруа, Леблан. К эпохе Фарадея также относится достижение всемирно исторического научного значения, именно синтез органических веществ.

В отношении развития химической теории эпоха Фарадея отмечена именами Лавуазье (1743—1794 гг.) — разрушителя теории флогистона и основоположника количественного метода в химии, Бертолле (1788—1822 гг.) — создателя физической химии, Праута (W. Prout, 1786—1850 гг.) — ав-

тора знаменитой гипотезы о происхождении всех химических элементов из водорода, Дальтона (1766—1844 гг.) — основоположника научной химической атомистики, Гей-Люссака (1788—1850 гг.) и Авогадро (1776—1858 гг.), развивавших атомистику Дальтона, Берцелиуса (1779—1848 гг.), исследования которого дали строгое экспериментальное обоснование атомистике как в области неорганических, так и органических соединений, Дэви (1778—1829 гг.) — отца электрохимии и, наконец, Либиха (1824 г.) — основоположника агрохимии, создавшего метод элементарного органического анализа, благодаря которому Велером был произведен синтез мочевины. Энгельс оценивает развитие химии в эпоху Фарадея как новую эпоху в истории науки: „в химии новая эпоха начинается с атомистики (поэтому не Лавуазье, а Дальтон — отец современной химии)“ (см. „Диалектика природы“, Партиздат, стр. 145).

Если в химии и некоторых отраслях физики (теория теплоты) атомизм имел большое значение, то в области учения об электричестве и магнетизме атомизм привел к господству гипотезы мгновенного дальнего действия и к известному застою. Фарадей вынужден был выступить с критикой традиционной формы атомизма, именно, механического атомизма, и предложить новую синтетическую концепцию атомизма.

Фарадей выступил на научную арену накануне строгого обоснования кинетической теории тепла, определения механического эквивалента теплоты и количественной и качественной формулировки закона сохранения энергии Ф. Мором (1837 г.), Р. Майером (1842 г.), Джаулем (1844 г.), Граве (1847 г.), Кольдингом (1851—1854 гг.) и Гельмгольцом (1847 г.). Фарадей своими работами, исходившими из его твердого убеждения в единстве сил природы, много сделал для подготовки окончательной формулировки этого закона.

Две основные концепции лежат в основе исследований Фарадея: концепция среды и концепция взаимопревращаемости и связи всех сил природы.

Как было уже указано, до Фарадея электромагнитные явления изучались на основе представления о том, что в телах находятся невесомые специфические электрические и магнитные жидкости, обладающие свойством притяжения и отталкивания через разделяющее их пространство, рассматриваемое как абсолютно пустое. Это так называемое

мгновенное действие на расстоянии было отвергнуто Фарадеем. Фарадей предположил, что в электромагнитных процессах основную роль играет промежуточная среда. Эту среду для случая взаимодействия электрически заряженных тел Фарадей назвал *диэлектриком*. Для случая взаимодействия магнитных тел Фарадей не дал особого названия, но ныне среду, участвующую в такого рода взаимодействиях, называют *магнетиком*. Простейшим диэлектриком и магнетиком является так называемое пустое пространство, которое рассматривалось Фарадеем как материальная среда особого рода.

Отрицание Фарадеем абсолютной пустоты является характерной чертой его физики. Критикуя распространенный в его время *механический* атомизм, согласно которому материя состоит из твердых упругих атомов и разделяющего их абсолютно пустого пространства, Фарадей подчеркивает, что с его точки зрения материя присутствует везде, атомы же являются центрами движений в сплошной материальной среде.

К идее о взаимопревращаемости и связи всех сил природы Фарадей пришел задолго до опубликования работ Майера, Джауля, Гельмгольца и других ученых, которые впоследствии дали этой идее точную количественную и качественную формулировку в виде принципа сохранения и превращения энергии.

В знаменитой работе 1831 г. „Об индукции электрического тока“ Фарадей по существу рассуждает следующим образом: 1. Эрстед и другие открыли, что текущий по проводу ток приводит в движение магнитную стрелку. Согласно принципу сохранения силы (энергии) движение от провода должно передаваться через промежуточную среду. 2. Следовательно, текущий по проводу ток должен также возбуждать некоторое особое состояние движения в расположенном рядом другом проводе. Фарадей сначала предположил, что указанное состояние, которое он назвал *электротоническим*, возбуждаемое *постоянным током*, обнаруживается в виде наведенного тока. Опыт, однако, показал, что лишь меняющийся ток вызывает в соседнем проводе соответствующий наведенный ток.

Этим путем была открыта Фарадеем одна из форм электромагнитной индукции. Дальнейшие опыты Фарадея показали, что при всяком изменении магнитного поля, вызывается ли это изменение меняющимся током или же относительным

движением магнитов и проводников, всегда порождаются наведенные электрические токи.

Фарадей объяснял процесс электромагнитной индукции следующим образом: от всякого заряженного электричеством тела исходят *электрические силовые линии*, которые указывают на особое состояние движения в диэлектрике. Точно так же от магнита или же электромагнита, т. е. провода, по которому течет ток, исходят *магнитные силовые линии*, пронизывающие окружающую среду и указывающие на особое в ней состояние движения.

Фарадей постоянно подчеркивал, что силовые линии следует рассматривать не как математические линии, а как линии физические. По представлению Фарадея материя, наполняющая пространство, находится в состоянии непрерывного движения. Центрами этого движения являются атомы. Физические силовые линии, соединяющие атомы и тела, указывают на наличие в среде между атомами и телами различного рода движений. Опыт Эрстеда обнаруживает, что при равномерном движении электричества и электрических силовых линий, например, в случае постоянного тока, возникают магнитные силовые линии, иначе говоря, возникает то особое состояние движения окружающей среды, которое мы называем постоянным магнитным полем. Если же электрические силовые линии движутся неравномерно, как в случае меняющихся токов, возбужденное магнитное поле также является переменным. И Фарадей установил, что подобно тому, как движение электрических силовых линий и связанных с ними зарядов, т. е. ток, порождает магнитные силовые линии или магнитное поле, точно так же всякое изменение магнитного поля или же движение магнитных силовых линий порождает электрическое поле в диэлектрике. Если в таком поле находится замкнутый проводник, то в нем образуется электрический ток.

Два открытых Фарадеем закона, имеющих основоположное значение для учения об электромагнетизме и всей электротехники, можно, коротко говоря, сформулировать так:

1. Всякое изменение электрического состояния среды порождает магнитное состояние.
2. Всякое изменение магнитного состояния среды порождает электрическое состояние.

Математическое выражение этих законов дали Максвелл и Герц.

Исходя из них, Фарадей открыл явление *самоиндукции*. В самом деле, при всяком замыкании или размыкании электрического тока меняется окружающее магнитное поле. Но по второму закону Фарадея изменение магнитного поля порождает электрическое поле. Последнее, именно, и вызывает ток самоиндукции, или экстраток. Более глубокого анализа форм движения, которые образуют то, что мы называем электрическим и магнитным полем, Фарадей не дал. Это пытались сделать последователь Фарадея Максвелл и ряд других ученых. Но Фарадей на основе своих представлений смог прийти к открытию двух явлений большой тонкости и величайшего теоретического значения, а именно: действия магнетизма на свет и так называемого *диамагнетизма*.

Открытие действия магнетизма на свет было непосредственным следствием основного фарадеевского представления о силах природы, как различных формах движения материи, взаимно превращающихся друг в друга, согласно закону сохранения энергии. В отношении света у Фарадея было еще то дополнительное соображение, что световое движение, как и электромагнитное, существует не только в чувственно-ощутимых телах, но и в так называемой пустоте. Фарадей высказал поэтому гениальную мысль, в дальнейшем полностью подтвержденную Максвеллом и Г. Герцом, что электромагнетизм и свет — родственные явления движения.

В 1845 г. Фарадей поставил знаменитый опыт с намагничиванием света. Поместив между полюсами сильного электромагнита кусок стекла особого состава и пропустив через стекло в известном направлении поляризованный луч света, Фарадей показал, что возбуждение электромагнита определенным образом влияет на проходящий через стекло свет, именно, магнитное поле вызывает вращение плоскости поляризации света. Опыт Фарадея был тем опытом, который в конечном счете привел к открытию радиоволн и развитию современной радиотехники.

Открытие действия магнетизма на свет укрепило Фарадея в убеждении, что магнетизм должен оказывать влияние не только на так называемые магнитные вещества (железо, никель и др.), но и на всякое вещество. Опыт не только подтвердил это предположение Фарадея, но обнаружил также существование веществ, которые не притягиваются

стальными магнитами или электромагнитами, а наоборот, отталкиваются от них. Такие вещества: ряд сортов стекла, кварц, висмут, серебро и др., названы были Фарадеем *диамагнитными* в отличие от ранее известных *парамагнитных*.

Основная точка зрения Фарадея о единстве сил природы их взаимопревращаемости заставляла его вести упорную борьбу с теми физиками, которые рассматривали известные в эпоху Фарадея пять видов электричества — от трения, гальваническое, магнитное, термоэлектричество и животное электричество — как различные по существу роды электричества.

Эта борьба привела Фарадея к открытию основных электрохимических законов. Фарадей прежде всего решительно выступил против так называемой контактной теории Вольты, согласно которой простое соприкосновение разнородных веществ, например, различных металлов, или металлов и жидкостей, само по себе может явиться источником электрической силы. Исходя из принципа сохранения силы, Фарадей доказывал, что в элементе Вольты имеет место превращение химической силы или, как мы ныне говорим, энергии в электрическую силу, или энергию. Отсюда, естественно, возникла мысль об обратном превращении электрической силы в химическую. До Фарадея Дэви и др. экспериментально осуществляли такое превращение, но лишь Фарадей впервые подошел к вопросу с количественной точки зрения. Пропуская электрический ток через раствор какого-нибудь вещества, например, через воду, подкисленную серной кислотой, Фарадей установил, что „разлагающее действие тока постоянно для постоянного количества электричества, несмотря на величайшие различия в происхождении его, в интенсивности, в величии электродов, в природе проводников и т. д.“.

Это положение Фарадея формулируется обычно в виде двух основных электрохимических законов:

1. Количество веществ, образующихся в результате разлагающего действия электрического тока, пропорциональны силе этого тока.

2. При прохождении через различные растворы (электролиты) тока одной и той же силы количества выделяющихся веществ пропорциональны атомным весам, или, точнее, так называемым эквивалентным весам, представляющим обычно

простые дробные части от атомных весов. Например, пропуская ток через неразветвленную цепь из раствора соляной кислоты, раствора обыкновенной соли и раствора хлористого цинка, получаем на 1 грамм водорода в первом случае, 23 грамма натрия во втором и $65:2 = 32,5$ грамма цинка в третьем, ибо атомный вес натрия равен 23, цинка 65 при атомном весе водорода, равном единице.

Законы Фарадея имели основоположное значение для развития теории строения материи, так как они указывают на существование *атомов электрического заряда*, связанных с атомами материи. То обстоятельство, что вещества выделяются в количествах, пропорциональных атомным весам, объясняется действием электрического напряжения на заряженные электричеством атомы или группы атомов. Законы Фарадея дали впоследствии возможность вычислить минимальный электрический заряд, называемый электроном.

В настоящее время известно, что все атомы представляют собою комбинации отрицательно и положительно электрически заряженных частиц: электронов (негатронов) и соответствующих им протонов¹. Простейший атом — атом водорода — состоит из одного протона и одного электрона.

Фарадей является, таким образом, основоположником не только современного учения об электромагнитных процессах, но в известном смысле и современного учения о строении атома. Велики заслуги Фарадея в области открытия новых физических закономерностей, но величайшее значение имеет его метод. Этот метод был материалистическим и послужил Фарадею орудием для борьбы с метафизическими воззрениями естествоиспытателей предшествующего периода.

Энгельс заслуженно поэтому называет Фарадея гениальным ученым. С точки зрения метода работы Фарадея сохраняют свое полное значение до сих пор и являются для каждого физика и инженера несравненной школой правильного физического мышления.

¹ В последнее время обнаружены электроны с положительными зарядами, так называемые позитроны, а также нейтроны — частицы, лишенные внешне зарядов и представляющие, возможно, очень тесные комбинации протонов и электронов. По другой гипотезе нейтроны — это нейтральные частицы, которые могут стать электроположительными или электроотрицательными, присоединяя позитрон или негатрон. (Ред.)

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
6	9 сн.	вых	О НОВЫХ	Тип.
88	21 св.	их	ИМ	Корр.
213	4 сн.	гидростатической	гиростатической	Редакт.

Заз. 1097. — М. Фарадей. Избранные работы по электричеству.