



М. Фарадей

1791—1867

Об электромагнетизме

Открытие Г. Х. Эрстедом взаимодействия проводника с током и постоянного магнита вызвало всплеск исследований в области электромагнетизма в 20-е годы XIX в. Ими занимались крупнейшие физики: А. М. Ампер, Х. Дэви, Ф. Араго и др. В ходе этих исследований было сделано множество интересных наблюдений, установлены некоторые закономерности. Однако до формирования целостной картины электромагнитных явлений было еще далеко. Накопленный материал требовал дополнения и обобщения. Удивительно, но эта нелегкая задача была решена практически одним ученым, который не только обогатил физику рядом важнейших экспериментальных открытий, но и сформировал общий, хотя и сугубо качественный, подход к описанию основных явлений электромагнетизма. Этим ученым был М. Фарадей.

Майкл Фарадей родился 22 сентября 1791 г. в Лидоне в семье кузнеца. Мальчик смог получить лишь начальное образование. С двенадцати лет он сначала работал разносчиком газет, а затем был подмастерьем в переплетной мастерской. Недостаток знаний Фарадей компенсирует самообразованием. Благодаря счастливой случайности любознательный юноша попадает в поле зрения известного химика Х. Дэви, который делает Фарадея своим ассистентом в Королевском институте (1813).

Первая научная работа Фарадея была посвящена химическому анализу едкой тосканской извести (1816). Кроме нее Фарадей опубликовал еще ряд заметок по химии. Его наивысшее достижение в этой области — оживление газов (аммиака, закиси азота, углекислого газа и др.). Опыты, проведенные Фарадеем в 1823 г., положили начало целому научному направлению — физике низких температур, немыслимой без жидких газов.

В 1821 г. Фарадей сделал свое первое открытие в области электромагнетизма, осуществив вращение магнита вокруг проводника с током и проводника с током вокруг магнита. Однако прошли долгие десять лет, пока Фарадей сделал следующий, еще более важный шаг в изучении электромагнетизма — открыл явление электромагнитной индукции. За эти десять лет положе-

ние Фарадея в научном мире упрочилось: в 1824 г. он был избран членом Лондонского Королевского общества, а через год стал директором лаборатории Королевского института, сменив на этом посту Дэви.

Внешне жизнь Фарадея не богата событиями. В 1833 г. он стал профессором химии Королевского института и оставил этот пост в 1862 г. в связи с ухудшением здоровья. Известность получили публичные лекции, которые читал Фарадей. Он был истинным мастером научной популяризации. Фарадею не раз предлагали почетные должности, которые гораздо лучше могли бы обеспечить его материально, но он был верен своей страсти — научным исследованиям.

Фарадей избирался почетным членом многих научных обществ и академий, в том числе Петербургской Академии наук. Фарадей умер 25 августа 1867 г.

Все основные работы по электричеству и магнетизму Фарадей представлял в Лондонское Королевское общество в виде докладов-серий на протяжении двадцати четырех лет. Впоследствии эти доклады были опубликованы отдельным изданием, в котором наблюдения и выводы имеют единую нумерацию. О фундаментальности труда Фарадея дает представление простое перечисление полученных им результатов: открытие явления электромагнитной индукции (1831); открытие законов электролиза (1834); обнаружение поляризации диэлектриков и введение понятия диэлектрической проницаемости (1837); предсказание существования электретов как электростатических аналогов постоянных магнитов (1839, получены в 1919); экспериментальное доказательство закона сохранения электрического заряда (1843); открытие диамагнетизма и обнаружение явления вращения плоскости поляризации света в веществе, помещенном в магнитное поле (1845); выдвижение идеи об электромагнитной природе света (1846); открытие парамагнетизма (1847).

На основе огромного собранного экспериментального материала Фарадей доказал тождественность различных видов электричества. Обнаруженные Фарадеем законы электролиза были свидетельством дискретности электрического заряда.

Начиная с 30-х годов у Фарадея начинает формироваться идея о передаче электромагнитных взаимодействий посредством поля, которая находит окончательное оформление в начале 50-х годов. По мнению А. Эйнштейна, идея поля была самым важным открытием со времен Ньютона. Он писал, что «надо иметь могучий дар научного предвидения, чтобы распознать, что в описании электрических явлений не заряды и не частицы описывают суть явлений, а скорее пространство между зарядами и частицами».

Особенностью творчества Фарадея являлось практически полное отсутствие математических выкладок в его работах. Это объяснялось слабостью его математического образования и во многом препятствовало широкому восприятию его новаторских идей.

Однако нашелся ученый, который осознал глубинную и оригинальность представлений Фарадея о поле. Это был Дж. К. Максвелл. Уже после завершения работы над теорией поля Максвелл писал: «Приступив к изучению труда Фарадея, я установил, что его метод понимания явлений был также математическим, хотя и не представленным в форме обычных математических символов. Я также нашел, что этот метод можно выразить в обычной математической форме и, таким образом, сравнить с методом профессиональных математиков... Я также нашел, что многие из открытых математиками плодотворных методов исследования могут быть значительно лучше выражены с помощью идей, вытекающих из работ Фарадея, чем в их оригинальной форме».

Ниже приводятся отрывки из работ Фарадея, которые дают представление о стиле его экспериментов, удивительно простых по форме, но позволяющих проникнуть в суть изучаемых явлений, о его методе теоретического анализа результатов опыта, а также демонстрируют талант Фарадея вводить в физику новые термины и понятия, большинство из которых сохранилось в физике до наших дней.

Экспериментальные исследования по электричеству

ПЕРВАЯ СЕРИЯ

1. Присущее электричеству напряжения¹ свойство создавать вблизи себя противоположное электрическое состояние получило общее название индукции. Поскольку оно вошло в научный язык, названием этим можно с полным основанием пользоваться в таком же общем смысле и в том случае, если бы электрические токи оказались способными переводить находящуюся в непосредственной близости от них материю в некоторое особое состояние, которое до этого было безразличным. В этом именно смысле я и предполагаю употреблять этот термин в настоящем докладе.

2. Целый ряд действий, вызываемых индукцией электрических токов, был найден и описан ранее, как-то: намагничивание, опыт Ампера с поднесением медного диска к плоской спирали, повторение им при помощи электромагнитов замечательных опытов Араго² и, может быть, кое-какие другие. Однако казалось невероятным, чтобы этим исчерпывались все действия, которые может производить индукция токов, тем более что в отсутствие железа почти все эти явления отпадают, тогда как имеется бесчисленное множество тел, обнаруживающих определенные явления индукции от электричества напряжения, и тела эти до сих пор еще не были подвергнуты действию индукции от электричества в движении.

3. Далее: примем ли мы прекрасную теорию Ампера или какую-либо другую или мысленно откажемся от теорий, все же представ-

ляется весьма необычайным, чтобы, с одной стороны, всякий электрический ток сопровождался магнитным действием соответствующей интенсивности, направленным под прямым углом к току, и чтобы в то же время в хороших проводниках электричества, помещенных в сферу этого действия, совсем не индуцировался ток, не возникало ощутимое действие, равное по силе такому току.

4. Эти рассуждения и вытекающая из них, как следствие, надежда получить электричество при помощи обыкновенного магнетизма в разные времена побуждали меня экспериментально изучить индуктивное действие электрических токов. Недавно я добился положительных результатов, и при этом не только оправдались мои надежды, но я получил в руки ключ, который, как мне кажется, открывает дверь к полному объяснению магнитных явлений Араго, а также к открытию некоторого нового состояния, которое, может быть, играет большую роль в некоторых наиболее важных действиях электрических токов.〈...〉

Раздел I

Об индукции электрических токов

10. Двести три фута медной проволоки в одном куске были намотаны на большой деревянный барабан; другие двести три фута такой же проволоки были проложены в виде спирали между витками первой обмотки, причем металлический контакт был везде устранен посредством шнура. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, а другая — с хорошо заряженной батареей из ста пар пластин в четыре квадратных дюйма с двойными медными пластинами. При замыкании контакта наблюдалось внезапное, но очень слабое действие на гальванометр, и подобное же слабое действие имело место при размыкании контакта с батареей. Но в дальнейшем, при прохождении гальванического тока по одной из спиралей, не удавалось обнаружить отклонения гальванометра или иного действия на вторую спираль, похожего на индукцию, хотя мощность батареи и была явно велика, о чем можно было судить по нагреванию всей присоединенной к ней спирали и по яркости разряда, если он пропускаться через древесный уголь.

11. Повторение опытов с батареей из ста двадцати пар пластин не произвело других действий; но в этом, как и в предыдущем, случае было установлено, что незначительное отклонение стрелки, получающееся в момент замыкания контакта, всегда имело одно и то же направление и что подобное ему слабое отклонение, вызываемое размыканием контакта, было направлено в обратную сторону, и далее, что эти действия наблюдались и с прежними катушками.

12. Результаты, которые к этому времени были мною получены с магнитами, привели меня к мысли, что ток от батареи при пропускании его через один проводник действительно индуцирует по-

добный же ток в другом проводнике, но что этот ток длится всего один момент и по природе своей походит скорее на электрическую волну, возникающую при разрядке обыкновенной лейденской банки, чем на ток от гальванической батареи, и что поэтому он, быть может, окажется в состоянии намагнитить стальную иглу, хотя на гальванометр действует едва-едва.

13. Это предположение подтвердилось: действительно, когда я, заменив гальванометр небольшой полый спиралью, намотанной на стеклянную трубку, ввел внутрь ее стальную иглу, соединил батарею, как и ранее, с индуцирующим проводником, и затем вынул иглу еще до момента размыкания контакта с батареей, то она оказалась намагниченой. <...>

26. Таким образом, очевидно, что токи гальванического электричества обнаруживают явления индукции, до некоторой степени аналогичные явлениям, создаваемым электричеством напряжения, хотя, как будет видно далее, между ними существует много различий. Следствием этого является создание других токов (которые, однако, только мгновенны), параллельных или же обнаруживающих стремление быть параллельными индуцирующему току. По расположению полюсов иглы, возникающему в испытательной спирали, и из отклонений стрелки гальванометра во всех случаях было ясно, что индуцируемый ток, производимый первым действием индуцирующего тока, был по направлению противоположен последнему, а ток, производимый прекращением индуцирующего тока, имел одинаковое с ним направление. Для краткости я предлагаю назвать действие тока от гальванической батареи volta-электрической индукцией. Свойства вторичного провода, когда индукция уже произвела первый ток и когда в соседнем индуцирующем проводе еще продолжает течь электричество от батареи, доказывают существование особого электрического состояния, к рассмотрению которого мы вернемся далее. Все эти результаты были получены с вольтовым прибором, состоявшим из одной пары пластин.

Раздел 2

Об образовании электричества из магнетизма

27. Из круглого брускового мягкого железа было сварено кольцо; толщина металла была равна $\frac{7}{8}$ дюйма, а наружный диаметр кольца — 6 дюймам. На одну часть кольца было намотано три спирали, содержавшие каждая около 24 футов медной проволоки толщиной в $\frac{1}{20}$ дюйма. Спирали были изолированы от железа и друг от друга и наложены одна на другую описанным выше способом, занимая приблизительно 9 дюймов по длине кольца. Ими можно было пользоваться по отдельности и в соединении; эта группа обозначена *A* [рис. 82]. На другую часть кольца было намотано таким же способом около 60 футов такой же медной проволоки в двух кусках, образовавших спираль *B*, которая имела одинаковое на-

правление со спиральями *A*, но была отделена от них на каждом конце на протяжении приблизительно $1/2$ дюйма голым железом.

28. Спираль *B* соединялась медными проводами с гальванометром, помещенным на расстоянии 3 футов от кольца. Отдельные спирали *A* соединялись концом с концом так, что образовывали общую спираль, концы которой были соединены с батареей из десяти пар пластин в 4 дюйма². Гальванометр реагировал немедленно, и притом значительно сильнее, чем это наблюдалось, как описано выше, при пользовании в десять раз более мощной спиралью без железа; однако, несмотря на сохранение контакта, действие прекращалось и стрелка возвращалась в свое нормальное положение, обнаруживая как бы полное безразличие по отношению к связанной с ней электромагнитной схеме. При размыкании контакта с батареей стрелка снова сильно отклонялась, но в направлении, противоположном тому, которое индуцировалось в первом случае.

29. При таком видоизменении прибора, когда спираль *B* была включена, а гальванометр был присоединен к одному из трех проводов *A*, а два остальных были соединены в одну спираль, через которую проходил ток от батареи, действия получались подобные же, но значительно более сильные.

30. Когда соединение с батареей производилось в одном определенном направлении, стрелка гальванометра отклонялась в одну сторону; при обратном направлении соединений отклонение происходило в противоположную сторону. Отклонение при размыкании контакта батареи было всегда противоположно отклонению, получаемому при замыкании. Отклонение при замыкании контакта батареи всегда указывало на существование индуцированного тока по направлению, противоположному току батареи; при размыкании же контакта отклонение указывало на ток, индуцированный в направлении, совпадающем с направлением тока батареи. Ни замыкание, ни размыкание контакта на стороне *B* или в каком-либо месте цепи гальванометра не оказывало никакого действия на последний. Дальнейшее существование тока от батареи не вызывало никакого отклонения стрелки гальванометра. Поскольку приведенные выше результаты одинаковы для всех этих и подобных им опытов с обыкновенными магнитами, подробно рассматриваемых далее, нет необходимости снова их особо описывать. (...)

34. Затем было испытано другое устройство, связывающее опыты по вольт-электрической индукции с настоящими. Система спиралей, подобная вышеописанной, была навита на полый картонный цилиндр. Спирали состояли из восьми отрезков медной проволоки общей длиной 220 футов. Четыре из этих спиралей были соединены конец с концом, а затем с гальванометром; остальные четыре были также соединены конец с концом, и через них разряжалась

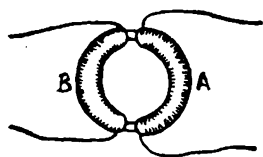


Рис. 82

батарея из ста пар. При таких условиях действие на гальванометр было едва ощутимым, хотя индуцированный ток обладал намагничивающей способностью. Однако, когда внутрь картонной трубки, окруженной спиралью, вводился цилиндр из мягкого железа толщиной $7/8$ дюйма и длиной 12 дюймов, индуцированный ток оказывал на гальванометр очень сильное действие, сопровождающееся всеми описанными выше явлениями. Намагничивающая способность, которой он обладал, была, по-видимому, также выше, чем в отсутствие железного цилиндра.

35. Когда железный цилиндр заменялся таким же точно медным цилиндром, то не получалось никакого действия помимо того, какое имело место при наличии одних только спиралей. Устройство с железным цилиндром оказалось менее сильным, чем устройство с кольцом.

36. Подобные действия были затем получены при помощи обыкновенных магнитов: так, все элементарные спирали только что описанной полой спирали были соединены с гальванометром посредством двух медных проводов длиной по 5 футов каждый. Внутри спирали по ее оси был введен цилиндр из мягкого железа. Два полосовых магнита длиной по 24 дюйма каждый были приложены друг к другу разноименными полюсами, так что давали подобие подковообразного магнита. Другие два полюса прикладывались к концам железного цилиндра так, что он временно превращался в магнит [рис. 83]. При размыкании магнитных контактов или при изменении их на обратные намагничение железного цилиндра можно было по желанию прекращать или изменять на противоположное. <...>

ВТОРАЯ СЕРИЯ

Раздел 6

Общие замечания и пояснения относительно силы и направления магнитоэлектрической индукции

256. Прежде чем в точности будет установлен способ действия между движущимися друг относительно друга магнитом и металлом, потребуются дальнейшие исследования и, вероятно, подробное изучение, как экспериментальное, так и математическое; тем не менее многие из полученных результатов представляются достаточно ясными и простыми, чтобы им можно было дать в некоторой степени общее выражение. Если конечный провод перемещается так, что пересекает магнитную кривую, то возникает сила, которая стремится направить сквозь него электрический ток, но этот ток

может возникнуть только в том случае, если на концах провода устроено приспособление для разряда тока и его возобновления.

257. Если второй провод перемещается в таком же направлении, как и первый, то в нем обнаруживается такая же сила, и потому он оказывается неспособным изменить состояние первого. По-видимому, между последовательно соединенными телами не существует таких естественных различий, вследствие которых при перемещении этих тел относительно магнита в одних и тех же условиях одно из них стремилось бы произвести более сильный ток во всей цепи, чем другое.

258. Но если второй провод перемещается с отличной скоростью или в несколько ином направлении, то имеют место различия в производимой силе, и если провода соединены концами, то через них проходит электрический ток.

259. Возьмем теперь сплошной кусок металла или бесконечный провод и будем рассматривать полюс магнита как центр действия (выражение, если и не совсем строго правильное, но пока что допустимо для удобства). Если все части перемещаются в одном и том же направлении с одинаковой угловой скоростью и сквозь магнитные кривые неизменной интенсивности, то электрический ток не возникает. Это легко наблюдать на телах, способных испытывать действие земного магнетизма, и может быть доказано в отношении небольших магнитов; если вращать их, а все металлическое устройство оставить неподвижным, ток не образуется.

260. Если одна часть провода или металла пересекает магнитные кривые, тогда как другая неподвижна, то токи возникают. Сюда более или менее относятся все получаемые с гальванометром результаты, причем клеммы этого последнего представляют собой неподвижную часть. Сюда же можно безошибочно отнести результаты, полученные с проводом, гальванометром и землей.

261. Если весь металл движется в одном и том же направлении, но угловые скорости отдельных его частей по отношению к полюсу магнита различны, то токи возникают. Так обстоит дело в опыте Араго, а также в проводе, подвергаемом действию земной индукции, когда он перемещается с запада на восток.

262. Если магнит движется не прямо к приборам или от них, а вбок, то случай подобен только что рассмотренному.

263. Если различные части движутся поперек магнитных кривых в противоположных направлениях, то при равных скоростях наблюдается максимум действия.

264. Все это, в сущности, является вариациями одного простого условия, а именно: отдельные части массы не должны двигаться наперерез кривым в одном и том же направлении и с одной и той же угловой скоростью. Но это такие выражения, которые, мне кажется, полезно помнить при установлении связи между частными явлениями и общими результатами.⟨...⟩

Об электрохимическом разложении
(продолжение)

Предварительные соображения

661. Теория, которую я считаю правильно освещающей факты электрохимического разложения и которая поэтому подробно изложена мной в одной из предшествующих серий настоящих исследований, настолько противоречит выдвигавшимся ранее теориям, что я встречаю большие затруднения при правильном, с моей точки зрения, изложении результатов, поскольку я должен ограничиваться общепринятыми терминами, которые употребляются во вполне определенном значении. Таков термин *полюс*, с его прилагательными обозначениями положительный и отрицательный, и связанные с ним представления о притяжении и отталкивании. Согласно общепринятой терминологии, положительный полюс притягивает кислород, кислоты и т. д. или, выражаясь более осторожно, заставляет их выделяться на своей поверхности, а отрицательный полюс точно таким же образом действует на водород, воспламеняющиеся вещества, металлы и основания. С моей же точки зрения, производящая эти явления сила заключена не в полюсах, а *внутри* разлагаемого вещества; кислород и кислоты выделяются у *отрицательного* конца этого вещества, а водород, металлы и т. д. — у его *положительного* конца.

662. Поэтому во избежание неясности и неопределенности, а также ради большей точности выражений, чем та, которой я мог бы достигнуть другим путем, я тщательно обсудил этот вопрос с двумя друзьями и в дальнейшем предполагаю применять другие составленные при их помощи и содействии термины, определение которых я сейчас дам.

Полюсы, как их обычно называют, представляют собой лишь ворота, или пути, через которые электрический ток входит и выходит из разлагаемого вещества. Соприкасаясь с этим веществом, они, естественно, являются границами его протяжения в направлении тока. Этот термин обычно применялся к металлическим поверхностям, соприкасающимся с разлагаемым веществом. Сомнительно, однако, стали ли бы ученые применять его также к поверхностям воздуха и воды, у которых мне удалось производить электрохимическое разложение. Вместо термина «полюс» я предлагаю применять термин «электрод»*, под которым я разумею то вещество или, скорее, ту поверхность — все равно: воздуха, воды, металла, или какого-либо другого тела, — которая ограничивает протяжение разлагаемого вещества в направлении электрического тока.

663. Поверхности, у которых, согласно обычной терминологии, электрический ток входит в разлагаемое вещество и из него выходит, являются весьма важными местами действия, и их необходи-

* ηλεκτρον — яитарь и ὁδός — путь.

мо отличать от полюсов, с которыми они чаще всего соприкасаются, и от электродов, с которыми они соприкасаются всегда. В поисках естественного указателя электрического направления, которым я мог бы воспользоваться для обозначения поверхностей, — такого, который выражал бы различия между ними и в то же время не зависел бы ни от каких теоретических предпосылок, я пришел к выводу, что таким указателем может служить Земля. Если магнетизм Земли обусловлен обтекающими ее электрическими токами, то последние должны быть, по теперешней терминологии, постоянно направлены с востока на запад, или, что легче запомнить, в направлении кажущегося движения Солнца. Если мы примем, что при некотором электроразложении разлагаемое вещество расположено так, что проходящий через него ток параллелен и одинаково направлен с тем током, который мы предполагаем существующим в Земле, то поверхности, у которых электричество входит в это вещество и из него выходит, будут иметь неизменную ориентировку и проявлять постоянное соотношение свойств. На основании этого представления мы предлагаем называть ту поверхность, которая направлена на восток, *анодом**; а ту, которая направлена на запад, — катодом. Какие бы изменения ни претерпевали наши взгляды на природу электричества и электрического действия, они должны отразиться на упомянутом *естественном указателе* в одинаковом направлении и в одинаковой степени, как и на любом разлагаемом веществе, к которому эти термины могут быть применены. По-видимому, нет оснований ожидать, что они приведут к недоразумениям или будут каким-нибудь образом способствовать ложным представлениям. *Анод***, следовательно, есть та поверхность, через которую электрический ток, согласно нашей нынешней терминологии, входит; он представляет собой *отрицательный* конец разлагаемого тела; именно около него выделяются кислород, хлор, кислоты и т. д., и он находится около положительного электрода, или, иначе, обращен к нему лицом. *Катод* есть та поверхность, около которой ток покидает разлагаемое тело; он является его *положительным* концом; горючие вещества, металлы, щелочи и основания выделяются около катода, и он находится в соприкосновении с отрицательным электродом.

664. В настоящих исследованиях мне представится случай классифицировать тела также по некоторым соотношениям, выводимым из их электрических действий. Чтобы дать выражение этим соотношениям, не вводя в то же время самим выражением каких-либо гипотетических представлений, я намерен употреблять следующие названия и термины. Многие вещества непосредственно разлагаются электрическим током, причем их элементы освобождаются; эти вещества я предлагаю называть *электролитами****. Вода, значит, является электролитом. Вещества, которые,

* $\acute{\alpha}\nu\omega$ — вверх и $\acute{\omicron}\delta\acute{\omicron}\varsigma$ — путь; место, где Солнце восходит.

** $\kappa\alpha\tau\acute{\alpha}$ — вниз, $\acute{\omicron}\delta\acute{\omicron}\varsigma$ — путь; место, где Солнце заходит.

*** $\eta\lambda\epsilon\chi\tau\omicron\upsilon\sigma$ и $\lambda\acute{\upsilon}\omega$ — растворяю. Отсюда существительное — электролит и глагол — электролизовать.

подобно азотной и серной кислотам, разлагаются во вторичной реакции, не включаются в это понятие. Затем вместо слова «электрохимически» разложенный, я часто буду употреблять образованный таким же способом термин «электролизованный», который предполагает, что данное вещество разделяется на свои составляющие под влиянием электричества. Этот термин по смыслу и созвучию сходен с термином «анализированный», который образован подобным же путем. Термин «электролитический» понятен без дальнейших пояснений: соляная кислота обладает электролитическими свойствами, борная — не обладает ими.

665. Наконец, мне требуется термин для обозначения тех веществ, которые могут переноситься к *электродам*, или, как их обычно называют, полюсам. Вещества часто называют *электроотрицательными* или *электроположительными* в зависимости от того, переносятся ли они в результате предполагаемого влияния непосредственного притяжения к положительному или отрицательному полюсу. Однако в эти термины вкладывают слишком много, чтобы пользоваться ими так, как я предполагаю; хотя, может быть, лежащие в их основе представления и правильны, но они являются лишь гипотетическими и могут оказаться ложными, и в этом случае они из-за весьма незаметного, но все же очень опасного влияния — опасного потому, что оно действует непрерывно, — наносят большой ущерб науке, суживая и ограничивая привычные взгляды посвятивших себя науке людей. Я предлагаю различать эти вещества, называя *анионами** те, которые переносятся к *аноду* разлагаемого тела, и *катионами*** те, которые переносятся к *катоду*; когда же мне придется говорить вместе о тех и о других, я буду называть их *ионами*. Так, например, хлористый свинец является *электролитом* и выделяет при *электролизе* два иона: хлор и свинец, причем первый является *анионом*, а второй — *катионом*. (...)

Глава V

О новом приборе для измерения гальванического электричества

704. Когда я пытался установить общую меру для обыкновенного и гальванического электричества и, еще раз, когда я предлагал свою теорию электрохимического разложения, я уже указывал, что химически разлагающее действие тока является *постоянным при постоянном количестве* электричества, несмотря на самые большие изменения источников электричества, напряжения последнего, размеров, служащих для опыта *электродов*, характера проводников (или непроводников), через которые электричество проходит, и других условий. Решающие доказательства справедливости этого утверждения будут даны далее.

* *ἀνιῶν* — то, что поднимается (причастие среднего залога).

** *κατιῶν* — то, что опускается.

705. На основе этого закона я решил построить прибор для измерения проходящего через него электричества, чтобы он, будучи включен в цепь тока при любом частном опыте, служил по желанию либо для *сравнительной* оценки действия, либо для *положительного измерения* этого тончайшего агента.

706. Нет вещества, которое при обычных условиях было бы более пригодно в качестве индикатора в таком приборе, чем вода. В самом деле, если увеличить ее проводимость добавлением кислот или солей, то вода легко разлагается. Ее элементы во многих случаях могут быть получены и собраны без помех со стороны вторичного действия; будучи газообразными, они представляют наилучшие условия для своего разделения и измерения. Поэтому подкисленная серной кислотой вода является тем веществом, к которому я буду обычно прибегать, хотя в особых случаях или при особых видах опытов может оказаться целесообразным пользоваться другими веществами.

707. Первая предосторожность, необходимая при постройке этого прибора, заключалась в том, чтобы избежать обратного воссоединения выделившихся газов, которое, как было установлено, легко происходит у положительного электрода. С этой целью для разложения применялись приборы различного устройства. <...>

711. Прибор пятого типа изображен на рис. 84. Этот прибор я нашел исключительно пригодным для опытов, продолжающихся непрерывно в течение нескольких дней, когда надо было собрать большие количества служащего для измерения газа. Прибор укреплен на тяжелом основании и имеет вид небольшой реторты, содержащей оба электрода. Горлышко ее узко и достаточно длинно для того, чтобы выходящий из нее газ переходил в сосуд, помещенный над небольшой пневматической ванной. Электродная камера, герметически запаивная в той части, которая укреплена на стойке, имеет 5 дюймов в длину и 0,6 дюйма в диаметре. длина горлышка равна приблизительно 9 дюймам, а внутренний диаметр его — 0,4 дюйма. Рисунок дает полное представление о его конструкции. <...>

714. Прежде всего был исследован вопрос о том, оказывает ли влияние или безразлично изменение в широких пределах размеров электродов. Для этого служили приборы, подобные описанным выше. Пластинки одного из них имели ширину 0,7 дюйма, а длину почти 4 дюйма; другой имел пластинки шириной всего 0,5 дюйма и длиной 0,8 дюйма, проволочки третьего были 3 дюйма длиной и 0,02 дюйма диаметром, а в четвертом такие же проволочки были длиной только в полдюйма. Тем не менее когда эти приборы были наполнены разбавленной серной кислотой и соединены последовательно, так что через них проходил один и тот же ток электричества, то во всех них вы-

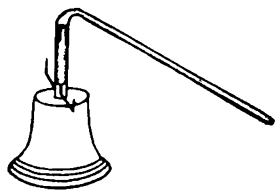


Рис. 84

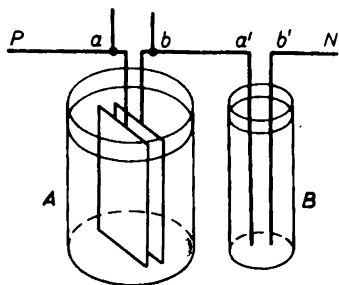


Рис. 85

723. Следующим фактором, в отношении которого был проведен принцип постоянства электрохимического действия, было *изменение напряжения*. Прежде всего были повторены предыдущие опыты, но при этом брались батареи хотя с *одним и тем же* числом пластин, но заряженные *сильно или слабо*; однако результаты получались одинаковые. Затем опыты были повторены с батареями, содержащими иногда сорок, а иногда только пять пар пластин, но результаты и теперь получались одинаковые. Следовательно, *изменения напряжения*, обусловленные различием в силе заряда или в числе взятых для опыта пар, *не вызывали изменений, т. е. действие больших и малых электродов оставалось одинаковым*. {...}

725. Различие в напряжении при описанных условиях можно легко показать на опыте, если взять оба прибора для разложения, расположить их, как показано на рис. 85, и подвергать в них одну и ту же жидкость разложению под действием одного и того же тока электричества. Этот ток проходит тогда в сосуде A между большими платиновыми пластинками, а в сосуде B — между маленькими проволочками. Если к проводам a и b присоединить третий прибор для разложения, вроде изображенного на рис. 84, то степень возникающего в нем разложения будет давать достаточно хорошие указания о том, каково относительное состояние двух пластинок в смысле их напряжения. Если затем таким же образом присоединить этот прибор к проводам a' и b', чтобы ознакомиться с их состоянием, то по усилению разложения в приборе мы увидим, насколько напряжение в этом случае больше, чем между точками a и b. Соединение точек P и N гальванической батареей должно, конечно, сохраняться все время.

726. Третье видоизменение опыта, в котором для проверки принципа равенства химического действия я также добивался различия напряжения, заключалось в том, что три вольт-электрометра располагались так, что электрический ток, пройдя через один из них, разветвлялся на две части, каждая из которых проходила через один из оставшихся приборов, а затем разветвлен-

делилось почти одинаковое количество газа. Иногда получалась разница в пользу одного или другого прибора, но в основном результаты сводились к тому, что наибольшее количество газов выделялось на самых маленьких электродах, именно на тех, которые состояли из одних только платиновых проволочек. {...}

722. Из предшествующих и многих других опытов следует, что *изменение в размерах электродов не влечет за собой изменений в химическом действии на воду данного количества электричества*.

ные токи вновь соединялись. Сумма продуктов разложения в обоих последних сосудах всегда была равна количеству вещества разложенного в первом сосуде. Напряжение же разветвленного тока не могло быть таким же, как в первоначальном состоянии, а следовательно, *изменение напряжения не оказывает влияния на результаты, если количество электричества остается одинаковым.* Этот опыт сводится просто к увеличению размеров электродов.

727. Третьим фактором, в отношении которого был проведен принцип равенства электрохимического действия, скажем, воды, было *изменение крепости раствора*, которым я пользовался. Для сообщения воде проводимости к ней добавлялась серная кислота. Казалось вполне правдоподобным, что она, наравне со многими другими веществами, сможет повысить разложимость воды, если количество электричества останется постоянным. Это, однако, не подтвердилось. Разбавленная серная кислота различной крепости вводилась в различные приборы для разложения и подвергалась одновременно действию одного и того же электрического тока. Как и ранее, наблюдались небольшие отклонения то в ту, то в другую сторону, но в окончательном результате *одно и то же количество электричества во всех растворах разлагало в точности одно и то же количество воды*, хотя в некоторых растворах количество серной кислоты было в семьдесят раз больше, чем в других. Крепость, которой я пользовался, соответствовала удельному весу 1,495 и ниже. <...>

732. Я считаю, что предыдущее исследование в достаточной степени доказывает чрезвычайно важный принцип в отношении воды, а именно: *количество воды, разложенной под влиянием электрического тока, в точности пропорционально количеству прошедшего электричества*, несмотря на изменение на тысячи ладов тех обстоятельств и условий, в которые вода в данный момент поставлена. Если приняты меры против вредного влияния известных вторичных действий, против растворения или же обратного соединения газов и выделения воздуха, то *продукты разложения могут быть собраны с такой точностью, что дают превосходное и ценное средство для измерения электричества, участвующего в их выделении.* <...>

822. Только что изложенное и, я считаю, установленное учение об *определенном электрохимическом действии* приводит к некоторым новым взглядам на отношения и подразделение веществ, подверженных этому действию и связанных с ним. К рассмотрению некоторых из этих взглядов я и перейду.

823. Прежде всего сложные тела можно подразделить на два обширных класса, а именно: на тела, которые разлагаются электрическим током, и на такие, которые им не разлагаются; среди последних одни являются проводниками гальванического электричества*, другие — непроводниками. У первых способность к

* Под гальваническим электричеством я подразумеваю электричество от очень мощного источника, обладающего, однако, весьма малым напряжением.

разложению определяется не только природой входящих в их состав элементов, но, вероятно, также и их весовыми соотношениями, так как из одних и тех же двух элементов можно составить вещества, из которых одно будет принадлежать к первому, а другое — ко второму классу. Замечательно и то, что, за немногими исключениями, эти поддающиеся разложению вещества оказываются как раз теми, которые подчиняются замечательному закону проводимости, данному мною ранее, ибо этот закон не распространяется на те многочисленные сложные плавкие вещества, которые к этому классу не принадлежат. Я предлагаю называть входящие в этот класс разложимые вещества *электролитами*.

824. Далее, те вещества, на которые под влиянием электрического тока разлагаются электролиты, составляют крайне важный общий класс. Они суть способные к соединению тела; они непосредственно связываются с основной частью учения о химическом сродстве, и каждому из них присуще определенное количественное отношение, в котором они выделяются при электролитическом действии. Я предложил назвать эти вещества вообще ионами, или, в частности, *анионами* и *катионами*, смотря по тому, где они выделяются — у *анода* или *катода*. Числа, соответствующие весовым количествам, в которых они выделяются, я называю *электрохимическими эквивалентами*. Так, водород, кислород, хлор, иод, свинец, олово являются ионами; три первых представляют собой *анионы*, оба металла — *катионы*, а числа 1, 8, 36, 125, 104, 58 суть приблизительно их *электрохимические эквиваленты*³. <...>

850. Я думаю, что не ошибаюсь, когда придаю учению об определенном электрохимическом действии огромное значение. Относящиеся к нему факты более непосредственно и близко, чем какой-либо предшествующий факт или совокупности фактов, подкрепляют прекрасное представление о том, что обычное химическое сродство является лишь простым следствием электрических притяжений различных по природе частиц материи. Весьма вероятно, что оно приведет нас к средствам, с помощью которых мы сможем осветить то, что в настоящий момент представляется столь темным, и поможет либо полностью подтвердить справедливость этого предположения, либо разобрать другое, которому суждено его заменить. <...>

ДЕВЯТНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

Раздел 26

О намагничивании света и об освещении магнитных силовых линий

Заголовок настоящей статьи ввел, как я вижу, многих в заблуждение относительно ее содержания; поэтому я беру на себя смелость приложить настоящее пояснительное примечание. Я не принимаю и не отвергаю гипотезы об эфире.

или корпускулярной гипотезы, или какого-либо иного воззрения, которое может быть предложено относительно природы света. Насколько я усматриваю, о луче света в действительности нам известно не более, чем о линии магнитной или электрической силы или даже о линии силы тяготения, за исключением того, что как первый, так и последние проявляются в веществах и при посредстве последних. Я полагаю, однако, что в опытах, описываемых мною в настоящей статье, свет испытал на себе магнитное действие, т. е. магнитному действию подвергалось то, что является магнитным в силах материи, а последнее, в свою очередь, воздействовало на то, что является подлинно магнитным в силе света. В термин «магнитный» я включаю здесь любое из особых проявлений силы магнита независимо от того, как оно обнаруживается: в магнитной или диамагнитной группе тел. Выражение «освещение магнитных силовых линий» было понято в том смысле, будто я сделал их светящимися. Я не имел этого в виду. Я хотел только сказать, что магнитная силовая линия была освещена подобно тому, как Земля освещается Солнцем или как паутинная нить освещается лампой астронома. С помощью луча света мы можем *простым глазом* указать направление магнитных линий в теле, а по изменению луча и его оптического действия на глаз мы можем видеть ход этих линий совершенно так же, как мы можем видеть ход стеклянной нити или нити какого-либо другого прозрачного вещества, которая стала видимой благодаря свету. Это именно я и понимал под «освещением», как это в полной мере явствует из самой статьи. 15 декабря 1845 г. — М. Ф.

Глава I

Действие магнитов на свет

2146. Я давно уже придерживался мнения — и оно почти достигло степени убеждения, — и того же мнения, как мне думается, придерживаются многие другие любители естествознания, а именно, что различные формы, в которых проявляются силы материи, имеют общее происхождение или, другими словами, настолько близко родственны друг другу и взаимно зависимы, что они могут как бы превращаться друг в друга и обладают в своем действии эквивалентами силы. В новейшее время доказательства их взаимной превращаемости в весьма заметной степени умножились и положено начало определению их эквивалентных сил.

2147. Это твердое убеждение распространялось и на силы света и побудило [меня] раньше произвести много изысканий, имевших целью открыть прямую связь между светом и электричеством и их взаимодействие в телах, подвергаемых их совместным силам. Однако результаты этих изысканий оказались отрицательными и были впоследствии в этом смысле подтверждены Вартманом⁴.

2148. Эти безуспешные изыскания, а также многие другие, которые остались неопубликованными, не могли поколебать моего твердого убеждения, основанного на научных соображениях. Поэтому я недавно возобновил экспериментальное исследование на очень точных и строгих началах, и в конце концов мне удалось *намагнитить и наэлектризовать луч света и осветить магнитную силовую линию*. Эти результаты, не входя в детали многих неудавшихся опытов, я изложу здесь возможно кратко и ясно.

2149. Раньше, однако, чем перейти к этому, я укажу, какой смысл я придаю известным терминам, которыми мне придется пользоваться. Под *линией магнитной силы*, или *магнитной силовой линией*, или *магнитной кривой* я подразумеваю те проявления магнитной силы, которые обнаруживаются в линиях, обычно называемых магнитными кривыми. Последние либо существуют в виде линий, идущих от магнитных полюсов или к последним, либо образуют концентрические круги вокруг электрического тока. Под *линией электрической силы* я подразумеваю ту силу, проявляющуюся в линиях, которые соединяют два тела, действующих друг на друга согласно началам статической электрической индукции; эти линии точно так же могут быть либо кривыми, либо прямыми. Под *диамагнитным*⁵ я подразумеваю тело, через которое проходят линии магнитной силы и которое под их действием не принимает обычного магнитного состояния железа или магнитного железняка.

2150. Луч света, исходящий от лампы Аргана⁶, был поляризован в горизонтальной плоскости путем отражения от стеклянной поверхности, и поляризованный луч проходил через окуляр Николя, который для удобства исследования света мог вращаться вокруг горизонтальной оси. Между поляризующим зеркалом и окуляром были установлены два сильных электромагнитных полюса; это были либо полюсы подковообразного магнита, либо противоположные полюсы двух цилиндрических магнитов. Они находились друг от друга на расстоянии около 2 дюймов по направлению луча и были расположены таким образом, что когда они находились на одной и той же стороне поляризованного луча, то последний мог проходить вблизи них, а когда находились на противоположных сторонах, то он мог проходить между ними. Направление его было всегда параллельно или почти параллельно магнитным силовым линиям. Если теперь поместить между полюсами какое-либо прозрачное вещество, то через него должны проходить одновременно и в одном и том же направлении как поляризованный луч, так и магнитные силовые линии.

2151. Шестнадцать лет тому назад я опубликовал некоторые опыты, произведенные с оптическим стеклом, и описал изготовление и общие свойства некоего вида тяжелого стекла, которое по его составу было названо боросиликатным свинцовым стеклом (silicated borate of lead). Это именно стекло дало мне впервые возможность открыть связь между светом и магнетизмом, и оно обладает большей способностью ее показать, чем любое иное тело. Для ясности я опишу сначала эти явления в том виде, как они представляются при этом веществе.

2152. Кусок этого стекла около 2 дюймов в квадрате и толщиной 0,5 дюйма с плоскими и отшлифованными гранями был помещен в качестве *диамагнитного тела* между полюсами (которые не были еще намагничены электрическим током) так, что поляризованный луч должен был проходить по его длине. Стек-

ло действовало подобно тому, как действовал бы воздух, вода или любое индифферентное вещество, и когда окуляр предварительно ставился в такое положение, что поляризованный луч гасился или, лучше сказать, что положение изображение становилось невидимым, то введение этого стекла не вызывало в этом отношении никакого изменения.

При этом возбуждалась сила электромагнита, для чего пропускался через его катушки электрический ток, и тотчас же изображение племени лампы становилось видимым и оставалось таким, пока установка была магнитной. Когда электрический ток прерывался и прекращалась магнитная сила, свет мгновенно исчезал. Это явление можно было по желанию повторить в любой момент времени и при любом случае. Так доказывалось наличие совершенной связи между причиной и действием.

2153. Гальванический ток, которым я пользовался, в данном случае получался от пяти пар элементов Грова⁷, а электромагниты обладали такой мощностью (power), что полюсы могли в отдельности держать на весу от 26 до 56 фунтов и даже более. Лицо, которое наблюдало бы это явление впервые, не было бы в состоянии его заметить с помощью более слабого магнита.

2154. Характерная особенность силы, которая таким путем сообщается диамагнитному веществу, заключается в том, что она является вращательной, так как изображение лампы становится указанным образом видимым. То некоторое, большее или меньшее, вращение окуляра вправо или влево его гасит, а дальнейшее вращение окуляра в ту или другую сторону от этого положения вновь приводит к появлению света, и притом в дополнительных цветах, в зависимости от того, в какую сторону происходит это вращение: вправо или влево.

2155. Когда ближайшим к наблюдателю был полюс с меткой, т. е. тот же, что и северный конец магнитной иглы, а более отдаленным был полюс без метки, то вращение луча происходило вправо, так как окуляр приходилось поворачивать вправо, т. е. по направлению часовой стрелки, чтобы уловить луч и восстановить изображение в первоначальном его состоянии. Если перевернуть полюсы, что осуществлялось мгновенно путем изменения направления электрического тока, то вращение точно так же изменялось и становилось левым, причем оно достигало той же величины, что и раньше. Для одной и той же магнитной силовой линии направление всегда остается одинаковым. (...)

2160. Таким образом, магнитные линии, проходя через боросиликатное свинцовое стекло и через большое количество других веществ, вызывают в них способность действовать на поляризованный луч света, когда эти линии параллельны лучу, или в той мере, в какой они ему параллельны. Когда они перпендикулярны лучу, то они на него совершенно не действуют. Они сообщают диамагнитным телам способность вращать этот луч. Закон этого действия на луч заключается в том, что когда магнитная силовая линия *уходит* (от нас) из северного полюса или *идет* (к нам)

от южного полюса вдоль пути поляризованного луча, идущего к наблюдателю, то она вращает этот луч вправо, а когда подобная силовая линия идет (к нам) от северного полюса или уходит (от нас) из южного полюса, то она вращает такой луч влево (...)

Комментарий

Перевод с английского работ М. Фарадея «Экспериментальные исследования по электричеству» выполнен Е. А. Чернышевой и Я. Р. Шмидт-Чернышевой (1—14-я серии), А. В. Яковлевой (15—18-я серии), В. С. Гохманом и Т. Н. Кладом (19—29-я серии). Отрывки воспроизводятся по изданию: Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. М. Т. 1—1947, т. 3—1959.

¹ Т. е. статическому электричеству.

² Речь идет об эффекте, названном «магнетизмом вращения», открытом в 1824 г. Ф. Араго, который заметил, что при вращении металлической пластины магнитная стрелка, находящаяся под или над ней, начинала вращаться. Фарадей первым правильно объяснил это явление появлением индукционных токов в пластине.

³ Принятые ныне значения электрохимических эквивалентов для указанных веществ: H — 1,008, O — 8,000, Cl — 35,46, I — 126,92, Sn — 59,4, Pb — 103,60.

⁴ Э. Вартман в 1841—1848 гг. опубликовал ряд статей, посвященных электромагнитной индукции.

⁵ Здесь Фарадей называет «диамагнитными» все тела, не имеющие ферромагнитных свойств.

⁶ Лампа Аргана — специальный осветитель с поддувалом и стеклянным цилиндром для создания тяги.

⁷ В элементе Грова платиновый (положительный) электрод находится в азотной кислоте, а цинковый (отрицательный) — в серной; кислоты отделены друг от друга пористой оболочкой, которую цинк охватывает с двух сторон.

Литература

- [1] Собрание сочинений М. Фарадея. Faraday's diary. Vols. 1—7. London, 1932—1936.
- [2] Williams L. P. Michael Faraday. London, 1965.
- [3] Кудрявцев П. С. Фарадей. М., 1969.

Голин Г. М., Филонович С. Р.

Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.): Справ. пособие. — М.: Высш. шк., 1989. — 576 с.: ил. ISBN 5-06-000058-3