

СТАТЬИ

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

ИЗ ROYAL INSTITUTION PROCEEDINGS,

PHILOSOPHICAL MAGAZINE И ДР.



О ЛИНИЯХ МАГНИТНОЙ СИЛЫ¹

Замечательная система сил, которая обнаруживается в магните и которая видимым образом развивается преимущественно у двух его концов, называемых поэтому магнитными полюсами, в случае каждого отдельного магнита проявляется для нас посредством притягательных или отталкивательных действий этих участков на соответствующие участки другого магнита. Эти действия могут служить для определения направления магнитной силы, а также ее величины на различных расстояниях. Так, если дело идет о притяжении, то его (действие) можно наблюдать или на другом магните, или на куске мягкого железа; закон, которому подчиняется это действие, для расстояний, превышающих некоторое определенное расстояние, гласит, что действие обратно пропорционально квадрату расстояния. Если же расстояние взаимодействующих тел друг от друга мало, то этот закон уже не имеет места ни для поверхности магнитов, ни для какой-либо данной точки внутри них.

Мы предлагаем применять для определения направления, интенсивности и общего количества магнитных сил другой метод, основанный не на том свойстве сил, которым вызывается притяжение или отталкивание, а на некотором другом. Этот метод предлагается не для упразднения прежнего метода, а для использования наряду с ним; он может иметь очень боль-

¹ Royal Institution Proceedings, 23 января 1852 г.

шое значение для дальнейшего выяснения природы этой силы, поскольку принцип действия, хотя и отличающийся от прежнего, не менее связан с магнитными свойствами, чем притяжение или отталкивание, не менее строг и ведет к не менее определенным результатам.

Термин *«линия магнитной силы»* имеет одну цель: выразить направление силы в каждом данном месте; он не предопределяет какую-либо физическую идею или представление о том, как именно сила может там действовать; т. е. действует ли она на расстоянии, или посредством колебаний, или воли, или тока, или еще как-нибудь. Линию магнитной силы можно определить как линию, которую описывает весьма малая магнитная стрелка, если она движется в которую-нибудь сторону в направлении своей длины так, что все время остается касательной к линии движения. Или иначе, это такая линия, что если бы стоящая поперек ее проволока двигалась вдоль нее в любом направлении, в ней не было бы стремления к возникновению электрического тока, тогда как при движении во всяком другом направлении такое стремление имело бы место. Направление этих линий около обыкновенных магнитов и (в пространстве) между ними легко может быть определено общеизвестным способом с помощью железных опилок.

Предлагаемый метод выявления и изучения этих силовых линий заключается в том, чтобы собирать и измерять количество электричества, приводимого в движение в движущейся поперек линий проволоке; этот метод по своей сущности и своему действию резко отличается от метода, основанного на применении магнитной стрелки. Чтобы применять новый метод с успехом, необходимы превосходные проводники; и потому провода, идущие от движущейся проволоки к гальванометру, представляли собою медные проволоки в 0.2 дюйма толщиной и настолько короткие, насколько это было возможно. Гальванометр также состоял не из 48 или 50 дюймов проволоки, описанной выше и расположенной в виде двух двойных витков около астатической стрелки. Гальванометр, с которым я ра-

ботал при более тонких исследованиях, состоял всего из 20 дюймов медного стержня, имевшего квадратное сечение, со стороны в 0.2 дюйма. Эти гальванометры показывали действие в 30, 40 и 50 раз сильнее, чем гальванометры, сделанные из тонкой проволоки; так велико количество электричества, получаемое при пересечении линий магнитной силы, хотя интенсивность его весьма низка.

Если наблюдать описанные ранее линии силы при помощи железных опилок, или магнитной стрелки, или еще каким-нибудь образом, то оказывается, что они выходят из одного конца стержневого магнита и, описав кривые различных размеров в окружающем пространстве, возвращаются и заканчиваются в другом конце магнита. Поскольку эти силы имеют правильный характер, очевидно, что если взять кольцо, несколько шире магнита и перемещать его с некоторого расстояния к магниту и затем вдоль него от одного его конца до экватора, то оно пересечет *одна* раз все внешние силовые линии этого магнита. Такие кольца прицеливались к проводникам соответствующей формы, соединенным с гальванометром, и наблюдались отклонения стрелки при одном, двух или нескольких таких перемещениях или пересечениях силовых линий. Оказалось, что если соблюдать все предосторожности и тщательно наблюдать отсчеты на гальванометре, то действие для малых или не слишком больших дуг было пропорционально числу прохождений петли или кольца мимо полюса. Таким образом, можно было не только наблюдать и установить определенное действие в движущейся проволоке, но и сравнить друг с другом два магнита; сравнить друг с другом проволоки различной толщины и из различного материала; можно было изменять величину различных участков, описываемых проволокой при ее перемещении. Если проволоки были одинаковы по длине, диаметру и материалу, то независимо от того, в каком направлении они пересекали силовые линии: прямо или наклонно, вблизи или вдали от полюсов магнита, результат был всегда одинаков.

Сложный стержневой магнит был приспособлен так, что мог вращаться вокруг своей оси; у его середины, или экватора, было приделано широкое круговое кольцо, так что здесь получался вид цилиндра. К этому кольцу на внутренней стороне была прикреплена медная проволока; затем она проходила к середине магнита и далее шла вдоль его оси и выходила на одном конце. Другая проволока прикасалась посредством пружинного контакта к внешней части медного кольца и продолжалась наружу на шесть дюймов; затем она поднималась вверх и, наконец, подходила над верхним полюсом к первой проволоке; здесь она соединялась с цилиндром, изолированным от первой проволоки, но вращающимся вокруг нее. Цилиндр и проходящая сквозь него проволока были соединены с гальванометром, так что контур замыкался; этот контур шел по магниту вниз к его середине, затем наружу у экватора, затем опять обратно снаружи, и хотя он и был все время замкнут, но магнит мог вращаться без внешней части контура: или последняя могла вращаться без магнита, или они оба вращались вместе. Если магнит и внешняя проволока вращались оба вместе, как одно целое, скрепленное своими частями, гальванометр не обнаруживал никакого действия, как бы долго ни продолжалось вращение. Если магнит с внутренней проволокой делал четыре оборота по часовой стрелке, причем внешний проводник оставался в покое, то стрелка гальванометра отклонялась на 35° или 40° в одном направлении; когда магнит оставался в покое, а внешняя проволока делала четыре оборота по часовой стрелке, стрелка гальванометра отклонялась на тот же угол, что и раньше, но *в противоположном направлении*. При более тщательных опытах величина отклонения для четырех оборотов была в точности одинакова, какова бы ни был путь внешней проволоки, проходил ли он вплотную к магнитному полюсу или вдали от него. Таким образом было доказано, что если магнит и проволока вращались в одном и том же направлении, то стремились бы возбуждаться два противоположных электрических тока, в точности равных друг другу;

что внешние токи были обусловлены тем, что наружная проволока пересекала линии магнитной силы, проходящие вне магнита; что где бы ни имело место это пересечение, результат был один и тот же; что внутри магнита имеются соответствующие силовые линии, в точности равные по силе или количеству силовым линиям вне магнита, но идущие в обратном направлении; что фактически каждая линия магнитной силы представляет собой замкнутую кривую, в некоторой части своего пути проходящую через магнит, которому она принадлежит. Соседство с данным магнитом других магнитов не влияет на результат, если только во время опытов они не движутся; и таким образом было полностью установлено невмешательство таких магнитов в действие магнитов, подвергаемых исследованию.

В рассмотренных случаях силовые линии, как принадлежащие малым системам, быстро изменялись в своей интенсивности сообразно их расстоянию до магнита вследствие их, если так можно выразиться, расходимости. Земля, наоборот, представляет для нас, в пределах одного опыта в некоторое определенное время, поле равной силы. Стрелка наклона указывает направление или полярность этой силы; и если мы работаем в плоскости, перпендикулярной наклону, то число или количество силовых линий, с которыми мы имеем дело, будет пропорционально площади, которую может охватить наш прибор. И вот, я сделал из проволок параллелограммы, охватывающие площади различных размеров — в один квадратный фут, в девять квадратных футов, или еще какой-либо величины; они были закреплены на осях, равноотстоящих от двух сторон; оси можно было установить перпендикулярно линии наклона и вращать вокруг них параллелограммы. Мы пользовались коммутатором, соединенным с гальванометром, и с параллелограммами, так что ток, индуцированный в верхней части вращающейся проволоки, проходил всегда в одном направлении. При этом оказалось, что вращение в одном направлении давало определенный электрический

ток; вращение в обратном направлении — противоположный ток; что действие на гальванометре пропорционально числу оборотов для одного и того же прямоугольника; что для прямоугольников различных размеров из одной и той же проволоки действие пропорционально площади прямоугольника, т. е. числу кривых, которые он пересекал, и т. д.

Все эти, а также другие результаты с большей полнотой установлены и доказаны в статьях, представленных мною Королевскому обществу.¹ Общие заключения состоят в том, что линии магнитной силы можно легко выявить и проследить как по *направлению*, так и по *интенсивности*, при помощи движущейся проволоки, и в металлах — железе и магнитах, и в окружающем пространстве, и что проволока суммирует действие многих линий в один общий результат; что силовые линии хорошо изображают *природу, свойства, направление и величину* магнитной силы; что действие прямо пропорционально числу пересекаемых силовых линий — все равно, как происходит это пересечение: под прямым углом или наклонно; что в поле равной силы действие прямо пропорционально *скорости*, или *длине* движущейся проволоки, или *массе* проволоки; что внешнее действие неизменного магнита *определенно*, но неограничено по величине; что каждое сечение всех силовых линий равно любому другому сечению; что силовые линии внутри магнита равны линиям вне его; что они составляют продолжение внешних линий, ибо силовые линии представляют замкнутые кривые.

О ФИЗИЧЕСКОМ ХАРАКТЕРЕ ЛИНИИ МАГНИТНОЙ СИЛЫ²

З а м е ч а н и е. Нижеследующая статья содержит так много умозрительного и гипотетического, что она показалась мне более подходящей для *Philosophical Magazine*, чем для

¹ См. стр. 457 и далее.

² *Philosophical Magazine* за июль 1852.

Philosophical Transactions. Однако она так тесно связана с предыдущими исследованиями и так зависит от них, что я сохранил ту же систему и продолжил здесь нумерацию параграфов, принятую там. Я прошу поэтому осведомить читателя о том, что нумерация внутри текста относится к статьям, уже опубликованным или же подготовленным к напечатанию в Philosophical Transactions, и что она не существенна для него при чтении настоящей статьи, если только ему не придется рассматривать ее содержание более глубоко. Эта статья, как это очевидно, представляет собой продолжение серий XXVIII и XXIX, которые печатаются в Philosophical Transactions, и ее экспериментальное обоснование в значительной мере зависит от более строгих итогов и заключений, в них содержащихся.

3243. Я в последнее время занимался описанием и определением линий магнитной силы (3070), т. е. тех линий, которые, вообще говоря, проявляются в расположении железных опилок или маленьких магнитных стрелок вокруг магнитов или между ними; и я показал, надеюсь убедительно, что эти линии можно считать действительным изображением магнитной силы как по расположению, так и по количеству; я показал также, каким образом их можно распознавать при помощи движущейся проволоки. Последний способ в принципе совершенно отличен от тех указаний, которые дает магнитная стрелка, и во многих случаях имеет большие и своеобразные преимущества. Данное там определение не было связано с физической природой силы в месте ее действия и может применяться, какова бы эта природа ни была. Оговорив это вполне определенно, я теперь хочу покинуть на время путь строгого рассуждения и пуститься в некоторые умозрения относительно физической природы силовых линий и относительно того, как, можно думать, они тянутся через пространство. Нам приходится пускаться и такие умозрения по отношению к многим силам природы; и в самом деле, одна только сила тяготения

представляет собой такой случай, когда они, по-видимому, исключаются.

3244. Не нужно никоим образом предполагать, что умозрения такого рода бесполезны и тем самым вредны для естествознания. Их можно считать сомнительными, подверженными ошибкам и изменениям; но они являются чудесным вспомогательным средством в руках экспериментатора или математика. Действительно, они полезны не только тем, что делают смутное представление на время более ясным, как бы облакая его в определенную форму, которая помогает подвергнуть его эксперименту и вычислению; главное, они благодаря дедукции и вносимым исправлениям ведут к открытию новых явлений и содействуют таким образом установлению реальной физической истины и приближению к ней. Эта истина в отличие от умозрения, которое к ней привело, становится основным знанием, уж не подлежащим изменению. Кому неизвестны замечательные успехи последнего времени в познании природы излучения и света и кто не знает, в какой мере этому способствовали обе гипотезы — истечения и волнообразного движения? Эти соображения служат оправданием тому, что я от времени до времени прибегаю к умозрениям; но хотя я высоко ценю их, когда они применяются с осторожностью, я считаю существенной чертой здравого смысла держать их под сомнением. Им не следует придавать значения убеждений, и нужно расценивать их только как вероятности и возможности; следует делать весьма большое различие между ними и фактами и законами природы.

3245. В многочисленных случаях след, действующих на расстоянии, ученый постепенно убедился в том, что совершенно недостаточно удовлетвориться простым установлением факта; он поэтому обратил внимание на то, каким именно образом сила передается через промежуточное пространство. Если даже он не может сказать об этом ничего определенного, он все же может указать в различных случаях явные различия, пользуясь тем, что можно назвать свойствами силовых линий.

Таким образом, теми или иными способами он может установить различия для многообразных родов сил в природе силовых линий, сравнивая одни с другими, а тем самым и в природе сил, к которым они относятся. Например, при действии тяготения силовая линия является прямой линией, поскольку мы можем судить об этом на основании вызываемых им явлений. Ход этой линии нельзя отклонить от его пути, нельзя даже и оказать на него какое-либо влияние. Это прямолинейное действие нельзя изменить ни по направлению, ни по величине, даже подобным же действием по другой линии; иными словами, частица, тяготеющая к другой частице, обладает в точности одним и тем же количеством силы в одном и том же направлении независимо от того, тяготеет ли она к одной этой частице или к мириадам других подобных частиц. В последнем случае она действует на каждую из них с силой, равной той, с какой она может действовать на одну частицу, рассматриваемую в отдельности: результаты, конечно, могут складываться, но направление и величина силы между каждыми двумя данными частицами остаются неизменными. Таким образом тяготение представляет для нас простейший случай притяжения. Оно видимым образом не связано ни с каким физическим процессом, посредством которого сила частиц передавалась бы от одной к другой, и представляется примером чистого притяжения или действия на расстоянии; поэтому оно является простейшим типом всех случаев подобного рода. Моя цель заключается в том, чтобы выяснить, в какой мере магнетизм представляет собою такое действие на расстоянии или в какой мере он имеет природу, общую с природой других сил, линии которых, в отношении передачи силы, требуют посредствующих физических агентов (3075).

3246. Есть один вопрос, который касается тяготения и который, если бы мы его разрешили или подошли к его разрешению, мог бы многое нам уяснить. Это — вопрос о том, требует ли тяготение *времени*. Если да, то это доказывало бы с несомненностью, что в ходе силовых линий существует фи-

зическое посредство. Но этот пункт нельзя ни подтвердить, ни опровергнуть: ибо нет возможности устранить, изменить или уничтожить эту силу (тяготения), или уничтожить материю, являющуюся ее носителем.

3247. Если мы обратимся к явлениям излучения, то мы получаем убедительнейшее доказательство того, что хотя ничто весомое здесь не проходит, однако силовые линии обладают физическим существованием, в известном смысле независимым от излучающего или принимающего лучи тела. Их можно отклонить от их пути, и тогда они превращаются из прямой линии в ломанную или кривую. Их природа может быть изменена в том отношении, что они будут как бы повернуты вокруг своей оси или приобретут различные свойства с различных своих сторон. Сумма их мощности ограничена; и если сила, исходящая из некоторого источника, направлена на известный ряд частиц или устремлена к ним или вообще в каком-нибудь направлении, то она уже ни в какой степени не может быть направлена на другие частицы или в другом направлении, если только не отнять соответствующую ее часть от первых (частиц и направлений). Эти линии не зависят от второго или противодействующего тела, как в случае тяготения; и для их распространения требуется время. Во всех этих отношениях они составляют выраженную противоположность силовым линиям тяготения.

3248. Если мы обратимся к электрической силе, то мы увидим весьма примечательные обстоятельства, средние между обстоятельствами двух предыдущих случаев. Сила (и ее линии) требует здесь *присутствия* двух или более частиц или масс, как в случае тяготения, и не может существовать при наличии только одной, как в случае света. Но хотя и требуются две частицы, однако они должны находиться в состоянии, *противоположном* друг другу, а не одинаковом по отношению к силе, как в случае тяготения. Сила имеет теперь характер двойной; там она была простой. Требуя, как и тяготение, двух частиц, она отличается от тяготения тем, что является ограни-

ченной. Одна электрическая частица не может действовать на вторую, третью и четвертую так, как действовала на первую; чтобы она могла действовать на последние, ее сила должна быть в пропорциональном отношении отнята от первой, и, по-видимому, это ограничение необходимо обусловлено двойственным характером силы; ибо два состояния, или местонахождения, или направления силы должны быть одинаковы.

3249. Для электрической силы мы имеем как статическое, так и динамическое состояние. Я употребляю эти слова только в виде названий, не претендуя на то, что имею ясное представление о физических свойствах, с которыми могут быть связаны эти обозначения. Имеем ли мы здесь две жидкости или одну, имеем ли вообще какую-либо электрическую жидкость или нечто такое, что можно назвать в настоящем смысле током, этого я не знаю; однако существуют вполне установленные электрические состояния и действия, для выражения которых обычно принято употреблять слова «статический», «динамический» и «ток»; и с этой оговоркой они выражают эти понятия столь же хорошо, как и любое другое название. Силовые линии *статического* состояния электричества имеются во всех случаях, когда мы имеем дело с индукцией. Они заканчиваются на поверхностях проводников, подвергаемых индукции, или на частицах непроводников, которые, будучи наэлектризованы, находятся в этом состоянии. Они могут отклоняться от своего пути (1215, 1230) и могут быть сжаты или разрежены посредством тел различной индуктивной способности (1252, 1277); но в этих случаях на них действует посредствующая материя. При этом неизвестно, какова была бы форма электрических силовых линий в абсолютной пустоте, т. е. была ли бы такая линия прямой линией, какой по предположению является силовая линия тиготения, или же она была бы искривлена и этим обнаруживала бы что-то в роде отдельного физического существования, независимого от обычных отдаленных воздействий поверхностей или частиц, ограничивающих или заканчивающих индукцию. В линии статической электрической

силы до сих пор не было обнаружено никаких свойств *качественности* или *полярности*; по отношению к ней не было установлено также никакой связи с *временем*.

3250. Силовые линии динамического электричества или ограничены в своем протяжении, например при понижении индуктивного состояния статического электричества вследствие разряда или другим способом, или они бесконечны и непрерывны, как замкнутые кривые в случае гальванического тока. Для данного источника их количество является определенным, но они могут расширяться, сгущаться и отклоняться почти-что беспредельно, в зависимости от природы и протяженности среды, через которую они проходят и к которой они имеют непосредственное отношение. Можно считать вероятным, что здесь всегда существенно присутствует материя; но, может быть, позволительно предполагать здесь, как и в других областях, и гипотетический эфир. В этих силах также не было обнаружено свойств *качественности* или *полярности*. Что касается *времени*, то в случае разряда Лейденской банки время оказалось необходимым даже для самых лучших проводников; однако есть основания предполагать, что оно необходимо здесь в той же мере, как и в случае плохо проводящей среды, как например при светящемся разряде.

3251. Между этими действиями силы на расстоянии можно различить по крайней мере три основных: тяготение, для которого распространение силы через промежуточное пространство посредством физических линий предполагается отсутствующим; излучение, для которого такое распространение имеет место и для которого линия распространения, однажды возникнув, существует независимо от своего начала или своего окончания; и электричество, для которого процесс распространения существует в промежуточном пространстве, подобно лучу, но в то же время зависит от обоих окончаний силовой линии или условий (в случае замкнутого гальванического проводника), эквивалентных таким окончаниям. Нужно сравнить с этими действиями магнитное действие на расстоянии.

Оно может быть отлично от каждого из них; ибо кто может утверждать, что нам известны все физические способы или их разновидности, при посредстве которых передается эта сила? Некоторые, правда, предполагали, что это действие представляет частный случай силы, действующей на расстоянии, и что оно тем самым подобно силе тяготения; другие же считали, что ему лучше соответствует представление о потоках силы. Вопрос, по-видимому, заключается сейчас в том, обладают или не обладают линии магнитных сил физическим существованием, и если да, то проявляется ли это физическое существование в статической или динамической форме (3075, 3156, 3172, 3173).

3252. Линии магнитных сил еще никогда не изменялись по своим *свойствам*, т. е. никогда не удавалось сообщить им что-либо похожее на поляризацию светового или теплового луча. Правда, некоторое родство между ними и лучами света в поляризованном состоянии было обнаружено,¹ но это родство не таково, чтобы ответить на вопрос, имеют ли линии магнитной силы самостоятельное существование, или не имеют; апрочем, мне кажется, факты говорят в пользу первого предположения. Вопрос подлежит дальнейшему исследованию и является весьма важным.

3253. До сих пор не открыто какого-либо отношения *времени* к линиям магнитной силы. Что железо требует *времени* для своего намагничивания, это хорошо известно. Плуккер утверждает, что то же имеет место для висмута, но мне не удалось обнаружить явления, доказывающие это утверждение. Если бы это было так, то это было бы справедливо и для пустого пространства с его эфиром, ибо оно занимает место между железом и висмутом (2787); и такой результат имел бы огромное значение, ибо служил бы убедительным доказательством того, что линии магнитных сил обладают самостоятельным физическим существованием. Нельзя считать, что результаты, ко-

¹ Philosophical Transactions, 1846, стр. 1.

торыми мы располагаем сейчас, в какой бы то ни было степени доказывают утверждение о *времени*; но, если бы этот вопрос был выяснен, они бы, вероятно, подошли под его выводы. Можно сказать с таким же правом, что и в случае движущейся проволоки или проводника (125, 3076) требуется время.¹ По-видимому, нет никакой надежды подойти к разрешению вопроса теми способами, какие мы можем применить к световому лучу или к току от Лейденского разряда; но уже и постановка задачи может помочь ее решению.

3254. Если бы можно было доказать, что в случае линий магнитной силы имеет место действие по *кривым* линиям или направлениям, то тем самым было бы доказано их физическое существование вне магнита, которым они возбуждаются; это — то же доказательство, которое применяется в случае статической электрической индукции.² Но одно только расположение линий, обнаруживаемое железными частичками, не может служить доказательством такого искривления, ибо линии могут зависеть и от присутствия этих частиц, и от их взаимодействия друг с другом и с магнитами; и возможно, что притяжения и отталкивания по прямым линиям дали бы такое же расположение. Поэтому результаты, получаемые посредством движущейся проволоки (3076, 3176)³, скорее могут дать сведения, пригодные для выяснения этого пункта, если они будут умножены и если будет вполне установлено истинное магнитное отношение движущейся проволоки к пространству, ею занимаемому.

3255. *Количество* линий магнитной силы, или сила, которую они представляют, ясно ограничено, и поэтому они в данном отношении явственно отличны от силы тяжести (3245); это справедливо, несмотря на то, что сила магнита, как это приходится думать, в пустом пространстве должна продол-

¹ Experimental Researches, 8 изд., т. II, стр. 191, 195.

² Philosophical Transactions, 1838, стр. 16.

³ Там же, 1852.

жаться на невообразимые расстояния. Эта ограниченность количества силы, по-видимому, тесно связана с двойственным характером силы и сопровождается перемещаемостью или переносом силы с одного объекта на другой, что совершенно не имеет места в случае тяготения. Силовые линии, которые заканчиваются на одном конце или полюсе магнита, можно почти что произвольно изменять по направлению (3238), хотя первоначальное положение их остальных участков может в другом отношении оставаться неизменным. Ибо, когда мы вводим новые окончания сетовых линий, этим может быть вызвано иное распределение силы около них; но хотя их можно заставить, полностью или частью, воспринимать внешнюю силу и таким образом изменять ее направление, однако этим не вызывается изменения в количестве силы. Это как раз имеет место в точных опытах, независимо от того, что представляют собой вновь вводимые тела; мягкое железо или магниты (3218, 3223).¹ Таким образом в этом отношении линии магнитной и электрической силы оказываются сходными. Результаты того рода явственно обнаруживаются в некоторых недавних опытах над действием железа, передвигаемого мимо медной проволоки в магнитном поле подковообразного магнита (2129, 3130), а также при взаимодействии железа и магнитов (3218, 3223).

3256. Не нужно, я полагаю, доказывать, что для исчерпывающего сравнения различных силовых линий совершенно недостаточно имеющихся покуда экспериментальных данных. Они не дают нам возможности заключить с уверенностью, чему аналогичны магнитные силовые линии: линиям силы тяготения, т. е. прямому действию на расстояние, или они, обладая физическим существованием, более сходны по своей природе с линиями электрической индукции или электрического тока. В настоящее время я склонюсь скорее к последнему предположению, а не к первому; и приступлю к дальнейшему выяснению этого вопроса.

¹ Philosophical Transactions, 1852.

3257. Как мне кажется, не удалось доказать, что математическое выражение законов магнитного действия на расстоянии — то же, что и для законов статических электрических действий. Иногда допускалось, что предположение о северном и южном магнетизме, сосредоточенных на полюсах или соответствующих концах магнита, может объяснить все его внешние действия на другие магниты и прочие тела. Со статической или динамической точки зрения да и со всякой другой, близкой к ним, существенным условием должно быть, чтобы магнитные силы действовали в направлении наружу, на полюсах или концах магнита. Далее, если взять стержневой магнит, могут ли эти силы существовать без взаимной связи двух полюсов или какой-либо связи с противоположными магнитными силами одинаковой величины, происходящими из других источников? Я не думаю, чтобы это было возможно; ибо, как я показал в своих последних опытах, сумма силовых линий одинакова для всякого проходящего через них сечения, взятого где угодно во внешнем пространстве между полюсами магнита (3109). Кроме того, есть много других экспериментальных фактов, указывающих на взаимную зависимость и связь сил на одном полюсе с силами на другом,¹ имеется и аналогия со статической электрической индукцией, когда одно электричество не может существовать независимо от другого, без равенства и связи с ним. Каждая двойственная сила, по-видимому, подчинена этому закону необходимым образом. Если бы противоположные магнитные силы могли быть независимы друг от друга, тогда, очевидно, был бы возможен заряд с одним только родом магнетизма; но такая возможность опровергается всеми известными до сих пор опытами и фактами.

3258. Однако предположим, что это необходимое соотношение, которое и составляет полярность, существует; тогда

¹ Когда большой сильный магнит смещает, пересиливает и даже изменяет на противоположный магнетизм меньшего магнита, поднесенного близко к первому, во не принасящегося к нему, мы как раз имеем дело с такими случаями.

возникает вопрос, каким образом оно может поддерживаться и вообще осуществляться в случае отдельного стержневого магнита, находящегося в пустом пространстве. Мне кажется, что внешние силы на полюсах могут связываться друг с другом только посредством *кривых* силовых линий в окружающем пространстве; и я не могу представить себе кривых силовых линий, не предполагая их физического существования в этом промежуточном пространстве. Если они существуют, то не как последовательный ряд частиц, как при статической электрической индукции (1215, 1231), а по свойству пространства, свободного от таких материальных частиц. Если поместить магнит в самом совершенном вакууме, какого мы только можем достигнуть, он действует на стрелку точно так же, как если бы он был окружен воздухом, водой или стеклом, притом независимо от того, чем было первоначально заполнено пространство, в котором был получен вакуум: парамагнитными или диамагнитными телами. Итак, силовые линии существуют в таком вакууме, как если бы там была материя.

3259. Можно возразить, что в случае магнита нельзя доказать существования каких-либо внешних силовых линий, без присутствия предметов, которые специально применяются для экспериментальной демонстрации этих линий, как например магнитная стрелка, мягкое железо, движущаяся проволока или кристалл висмута; что на самом деле именно эти тела порождают и развивают силовые линии. Ведь точно так же и в случае тяготения нельзя составить себе представления о силовой линии тяготения, если говорить о какой-либо частице материи, взятой отдельно: это представление может существовать только, если участвует еще какая-либо другая частица. Но в случае магнита мы имеем дело с двойственной силой; и мы знаем, что не можем возбудить один магнетизм без другого, будь то при помощи действия магнитной индукции на мягкое железо, или при помощи электрического тока, или как-нибудь иначе. Предположим поэтому, что брусок из мягкого железа или второй стержневой магнит подносится своим концом к пер-

вому магниту и, благодаря этому приближению, развивает внешнюю силу. Тогда или сила, только теперь ставшая внешней, возбудит соответствующую внешнюю силу обратного знака на противоположном конце, или она ее не возбудит. В первом случае это должно сопровождаться появлением линий силы, равнозначащей с ней, *внутри* магнита. Но мне кажется, мы теперь знаем, что в очень твердом и совершенном магните изменений такого рода не бывает (3223). Внешние и внутренние силовые линии остаются теми же по количеству, независимо от присутствия или удаления вторичного магнита или мягкого железа. Изменяется лишь *расположение* внешних линий; их сумма, а следовательно, их бытие, остается неизменным. Если имеет место второй случай, то магнит, если разделить его пополам в то время, как на него действует индукция, должен обнаруживать в обоих отрезках абсолютный магнитный заряд, т. е. заряд одним только магнетизмом (3257, 3261).

3260. Представим себе на минуту, что две полярности стержневого магнита находятся в известной связи друг с другом, но, поскольку не существует внешнего объекта, на который он мог бы оказывать действие, эти полярности связаны друг с другом только через самый магнит (предположение, которое трудно обосновать после того, как экспериментально показан ход линий в виде замкнутых кривых (3117, 3230). Все же отсюда вытекало бы, что для сил, определенных во вне, должно последовать изменение суммы сил как внутри, так и вне магнита. Теперь мы можем ознакомиться и с теми, и с другими силами: и, по-видимому, в случае хорошего магнита и тогда, когда он один, или тогда, когда он находится под влиянием мягкого железа или других магнитов, хотя бы вчетверо более сильных, сумма сил вне (3223), а тем самым и внутри (3117, 3121) магнита остается одинаковой.

3261. Если северный и южный магнетизм рассматривать как независимые друг от друга в том смысле, что их можно сравнить с двумя жидкостями, разлитыми по двум концам

магнита (как два электричества в поляризованном проводнике), то при разламывании магнита пополам одна из половин должна бы получиться абсолютно или относительно более северной по своим свойствам, а другая — южной. Ни одна из них не могла бы быть и северной, и южной в одинаковой мере, если иметь в виду только внешнюю силу. Но этого никогда не бывает на деле. Если сказать, что новое разламывание выявляет во вне два новых полюса противоположного рода, но одинаковых по силе (что и наблюдается) вследствие некоторой необходимости, то эта же необходимость имеет место также и для зависимости и взаимоотношения двух первоначальных полюсов первоначального магнита, каков бы ни был первоисточник силы и где бы он ни находился. Но в этом случае *искривленные* силовые линии между полюсами первоначального магнита получаются как необходимое следствие; и мне кажется, что искривление этих линий указывает на их физическое существование.

3262. Можно было бы предположить, что магнитные полюсы стержневого магнита оказывают некоторое действие внутрь, обратно, как если бы они были центрами силы как внутри, так и вне магнита; и что при помощи этих сил они способны, при разламывании магнита, образовать противоположные полюсы с присущей им силой; но тогда это действие не может быть тождественно с той частью, которая в то же время проявляется снаружи. А если это так, то две половины разломанного магнита должны обладать в какой-то мере северным или южным зарядом. Они тогда не должны превращаться в определенные магниты с эквипотенциальными полюсами. Но они превращаются как раз в такие магниты; и мы можем разломать *пополам твердый магнит* поблизости от другого сильного магнита, который, казалось бы, должен нарушить эти силы, и однако обе половины являются совершенными магнитами, эквивалентными в своих поляриностях, точно так же, как если бы при их образовании путем разламывания этот сильный магнит отсутствовал. Сила на прежних полюсах не возрастает и не

убывает, а остается неизменной в отношении как количества, так и направления их полярности.

3263. Вернемся теперь к случаю твердого, правильно изготовленного и правильно намагниченного прямого стержневого магнита; пусть он находится под действием только своих собственных сил; я полагаю, что мы должны выбрать одно из двух: или отвергнуть внешнюю связь полюсов и считать, что они не имеют стремления друг к другу и не оказывают действия друг на друга; или же допустить, что существует такое действие, оказываемое ими и передающееся по *кривым* линиям. Отрицать такое действие — это значило бы предполагать различие между действием северного конца стержня на его собственный южный конец и его действием на южный конец других магнитов; но на основании всех прежних опытов, а также новых опытов с движущейся проволокой (3076), мне кажется, что такое предположение невозможно. Если же допустить действие по кривым линиям, то, по моему, это значит признать тем самым, что линии имеют физическое существование. Может быть, это — колебания воображаемого эфира или состояние натяжения этого эфира, отвечающее динамическим или статическим условиям; или это еще какое-нибудь другое *состояние*, которое трудно себе представить, но которое может быть в равной мере отлично и от предполагаемого несуществования силовой линии тяготения, и от самостоятельного и отдельного существования силовой линии излучения (3251). Во всяком случае существование этого состояния не есть, по моему, только предположение или гипотеза, а является до некоторой степени следствием известных свойств рассматриваемой силы и обусловливаемых ею явлений.¹

3264. В предыдущих рассуждениях я не касался того взгляда, недавно подтвержденного мною на опыте, что силовые линии, если их рассматривать просто как выражение магнитной силы

¹ См. воззрения Эйлера на распределение магнитных сил; также на магнитную жидкость или эфир и его тони. Letters, т. II, письма 62, 63.

(3117), представляют собою замкнутые кривые, проходящие в части своего пути через магнит, а в другой части — через пространство вокруг него. Эти линии как внутри, так и вне магнита, одинаковы по своей природе, свойствам и количеству. Если к определению этих линий, данному раньше (3071), мы присоединим представление об их физическом существовании и затем пересмотрим упомянутые выше случаи под углом зрения этого нового представления, то мы увидим сразу, что вероятность искривления внешних силовых линий, а тем самым физического существования линий, останется прежней и даже значительно увеличится. Ибо теперь в магните нельзя предположить действия, направленного назад; и внешняя связь и взаимная зависимость двух полярностей (3257, 3263) оказываются, если только это возможно, еще более необходимыми, чем прежде. Такая точка зрения придала бы, хотя и не обязательно, динамическую форму представлению о магнитной силе; впрочем, ее тесная связь с динамическим электричеством хорошо известна (3265). К рассмотрению этого я в дальнейшем и перейду; но прежде я ненадолго вернусь к статической индукции, как случаю парных сил в их взаимной связи посредством криволинейных силовых линий; но в этом случае линии имеют окончания, а не представляют собой замкнутых кругов. Электрический проводник, поляризованный индукцией, или изолированная, незамкнутая, прямолинейная гальваническая батарея представляют именно такой случай и подобны магниту в расположении внешних силовых линий. Но поддерживающее действие (поскольку это касается индукции) зависит от необходимого взаимодействия противолежащих парных распределений силы; оно будет внешним для проводника или батареи. В этом случае, если проводник или батарею разъединить посередине, не получится никакого заряда, ни источника новых силовых линий индукции. Это, без сомнения, является следствием того, что линии статической индуктивной силы не продолжают внутрь; и в то же время причиной того, что две отделенные друг от друга части остаются в противоположных

состояниях или сохраняют абсолютный заряд. В магните такое разделение *развивает* новые внешние силовые линии; их количество одинаково с количеством линий, происходящих от первоначальных полюсов, и это показывает, что силовые линии продолжаются в конце магнита. Ясно, что вследствие этой непрерывности две половины не обнаруживают абсолютного заряда — северного или южного.

3265. Общеизвестное соотношение магнитных и электрических сил можно формулировать следующим образом. Пусть, как на табл. VI, I они изображаются двумя кольцами, лежащими в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Если через кольцо E в указанном на рисунке направлении будет пропущен электрический ток, то возникают магнитные силовые линии, соответствующие той полярности, какую указывает воображаемая магнитная стрелка, помещенная в NS или в каком-либо другом месте кольца M , куда такая стрелка может быть перемещена. Эти кольца представляют соответственно линии электродинамической и магнитной силы, а потому могут служить нам образцом для сравнения. Ранее я назвал электрический ток, или линию электродинамической силы, «осью сил, в которой силы, в точности равные по величине, направлены в противоположные стороны» (517). Линии магнитных сил можно определить *в точности теми же словами*; и эти две оси действия, рассматриваемые как прямые, перпендикулярны друг к другу; с тем добавочным условием, определяющим их относительное направление, что они разделены прямой линией, перпендикулярной к ним обеим. Значение приведенных выше слов в приложении к электрическому току вполне точно; в них не содержится утверждения, что силы противоположны *потому*, что они имеют противоположное направление: они *противоположны по природе*; если перевернуть одну из них концами, она от этого не станет подобна второй. Это обстоятельство следует принять в соображение тем, кто допускает электрические жидкости и пытается выяснить, сколько существует электричеств; одно или два.

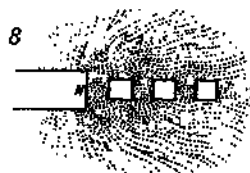
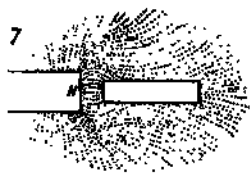
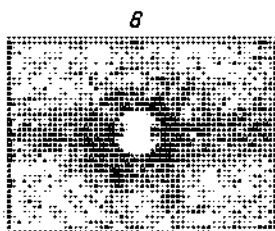
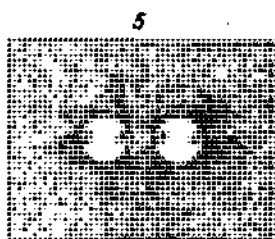
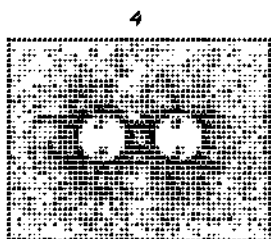
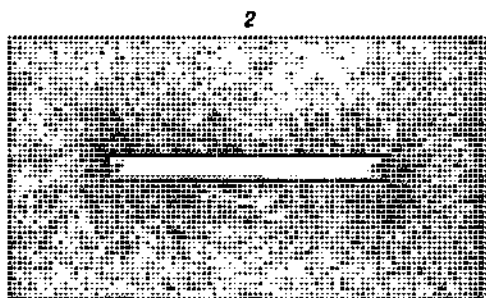
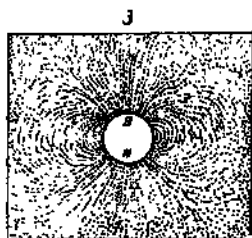
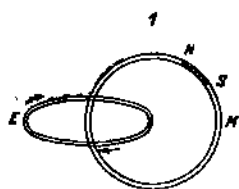


Таблица VI (рис. 1—8)

3266. Если сравнить друг с другом эти две оси сил, то мы найдем некоторые замечательные соответствия, особенно в отношении их взаимно-перпендикулярного положения. Ампер¹ и Дэви² доказали, как физический факт, что электрический ток стремится растянуться в длину; и это может считаться характерным для *электрической* силовой оси. Если же свободная магнитная стрелка, приближенная к концу стержневого магнита, сначала повертывается к нему, а затем стремится к нему приблизиться, то я усматриваю в этом проявление противоположного характера, присущего *магнитной* силовой оси. В самом деле, линии магнитной силы, которые, согласно моим недавним исследованиям, являются общими для магнита и для стрелки (3230), напротив, укорачиваются сначала вследствие того движения, при котором она устанавливается в определенном направлении, а потом — вследствие того действия, которое заставляет стрелку приблизиться к магниту. Мне кажется, я вправе утверждать, что все другие действия магнитов на магниты, или на мягкое железо, или на другие парамагнитные и диамагнитные тела, находятся в согласии с этим результатом и выводами.

3267. Далее, одинаково направленные электрические токи, или силовые линии, или силовые оси, будучи помещены бок о бок, притягивают друг друга. Это хорошо известно, и это можно легко наблюдать, если проводники, по которым проходят такие токи, поместить параллельно друг другу. Но одинаковые магнитные силовые оси или силовые линии взаимно отталкиваются; мы будем иметь случай, аналогичный случаю электрических токов, если поместим рядом две магнитные стрелки, у которых полюсы направлены в одну сторону. Пользуясь железными опилками, можно получить многочисленные наглядные иллюстрации (3234) того же самого общего результата.

¹ Ann. de Chim., 1822, XXI, стр. 47.

² Phil. Trans., 1823, стр. 153.

3268. Подчеркнем, что эти явления не представляют собой такого контраста, который имеет силу для двух или более различных соотношений; это — контраст, который дает совпадение, когда мы рассматриваем взаимно-перпендикулярное положение двух силовых осей (1659, 3265). Стремление к *растяжению в длину*, присущее электрическому току, и стремление к *расхождению в стороны* магнитных силовых линий, окружающих этот ток — оба эти стремления направлены в одном и том же смысле и только представляются нам чем-то в роде контраста, если мы рассматриваем обе оси независимо от их взаимного положения. Это, наряду с другими соображениями, к которым мы сейчас перейдем, указывает, вероятнее всего, на тесную физическую связь, а может быть, и на тождество того, что представляется нам в виде двух сил или двух форм силы — электрической и магнитной. В этом случае многие другие взаимодействия, примеры которых приведены ниже, сведутся к одному и тому же началу. Так, разноименные магнитные линии, расположенные одна за другой, взаимно отталкиваются, совсем как одноименные полюсы, обращенные друг к другу; электрические токи разного направления в том же самом положении останавливают друг друга; если они возрастают в отношении напряжения, делаясь таким образом статическими, то отталкивают друг друга. Электрические токи или силовые линии одного направления, будучи приставлены одни концом к другим, сливаются воедино; то же наблюдается для одинаковых магнитных силовых линий при том же расположении (3266, 3295). Сумма электрических токов одного направления, поставленных друг за другом, складывается; правда, изменения количества здесь не происходит, но напряжение возрастает. Расположенные таким же образом одинаковые магнитные силовые линии не усиливают друг друга, ибо действие остается здесь прежним (3218): может быть, здесь и получается некоторое действие, подобное возрастанию напряжения в предыдущем случае, но до сих пор оно в явственном виде не обнаружено. Количество одинаково направленных электри-

ческих токов, расположенных рядом, суммируются; примером этого может служить ряд батарей, соединенных одноименными полюсами, или большая батарея из пластинок по сравнению с малой. То же имеет место для одинаковых магнитных силовых линий (3232).

3269. Взаимоотношение магнитных силовых линий и электрической силовой оси известно со времен Эрстеда и Ампера. Это, вместе с теми соображениями, которые я попытаюсь выдвинуть, позволяет нам с известной степенью вероятности высказать догадку или предположение о природе линий магнитной силы. Я склонен считать, что они обладают физической реальностью, соответствующей реальности их аналога, электрических силовых линий; и, приняв это, я дальше стараюсь выяснить, не имеют ли они динамических свойств, аналогичных свойствам электрической оси, с которой они так тесно и, может быть, неизбежно связаны. В этом случае возник бы вопрос о магнитных токах. Или, может быть, они представляют собою состояние натяжения (эфира?) вокруг электрической оси, и тогда можно считать их статическими по природе. Вновь и вновь возникает во мне мысль об *электротоническом* состоянии (60, 1114, 1661, 1729, 1733); такое состояние совпадало бы и могло бы быть отождествлено с тем, чем представились бы тогда физические линии магнитной силы. И другое соображение приводит к тому же представлению. Я уже заметил выше, что магнитный эквивалент *статическому* электричеству не известен; ибо если электрическая сила в ее еще не развитом состоянии соответствует подобному же состоянию магнитной силы и если электрический ток, или ось электрической силы, соответствует магнитным силовым линиям или оси магнитной силы, то не известно такого магнитного состояния, которое бы соответствовало статическому состоянию электрической силы (1734). Предположим, однако, что физические линии магнитной силы представляют собою токи; тогда весьма неправдоподобно, чтобы такое связующее звено отсутствовало; это еще более неправдоподобно, по-моему, чем то, чтобы магнитное состоя-

ние зависело от состояния натяжения. В особенности же неправдоподобно это потому, что при последнем предположении магнитные силовые линии столь же определенно обладали бы физической реальностью, как и в первом случае, и оказалось бы возможным искривленное состояние линий, которое, в соответствии с наблюдаемыми фактами, представляется мне столь необходимым допущением.

3270. Те соображения, которые возникают при рассмотрении явлений и законов, проявляющихся во взаимодействии магнитов, электрических токов и *движущихся проводников* (3084 и д.), по-моему, целиком говорят в пользу физического существования магнитных силовых линий. Если в таких случаях мы производим опыты с одним только магнитом без участия мягкого железа или парамагнитных тел, то не производится никаких действий вроде отталкивания или притяжения и никаких других обычных магнитных действий. Все эти явления вполне можно рассматривать, как чисто электрические, ибо они именно таковы по своему характеру; и если они совпадают с магнитными действиями (что, без сомнения, имеет место), то это, вероятно, потому, что оба эти действия — одно и то же. Но если их рассматривать как электрические действия, то они влекут за собой иное представление о свойствах поля, в котором они проявляются, чем представление о магнитном действии на расстоянии. Если поместить медную проволоку близ стержневого магнита, то она, поскольку мы можем это обнаружить (при посредстве магнитной стрелки или иными способами), ни в малейшей степени не нарушает расположения магнитных сил как в магните, так и в окружающем пространстве. Если ее перемещать поперек силовых линий, в ней развивается или стремится развиваться электрический ток; и я имею все основания предполагать, что если бы мы могли иметь в распоряжении совершенный проводник и получить совершенный результат, то в том месте, которое занимает проводник, обнаружился бы полный эквивалент силы, электрической или магнитной. Но, как я уже указал в другом месте (3172), трудно

предполагать, чтобы этот ток, находящийся в точном эквивалентном соотношении с магнитной силой, был обязан своим происхождением только самому факту движения. Движение внешнего тела, во всех прочих отношениях физически безразличного и не имеющего отношения к магниту, не может дать начало такому физическому состоянию, какое обнаруживает движущаяся проволока. Здесь, я полагаю, должно иметь место какое-то предварительное состояние, состояние натяжения или статическое по отношению к проволоке, которое, если к тому присоединяется и движение, вызывает уже динамическое состояние или ток электричества. Этого состояния достаточно, чтобы установить (наличие) линий магнитной силы и дать им физическое существование, а равно вызвать их искривление или эквивалентное ему внешнее соотношение полюсов, а также и различные другие условия, которые, я полагаю, несовместимы с простым действием на расстоянии и которые, однако, имеют место среди магнитных явлений.

3271. Все явления, связанные с движущейся проволокой, по-видимому, указывают на физическое существование вокруг магнита силовой атмосферы; силы ее имеют характер (двух) противоположностей и определяются по направлению магнитными силовыми линиями; поэтому мы рассматриваем эту атмосферу, как состоящую из сфендилоидов, ограниченных силовыми линиями или, вернее, оболочками.¹ Так как проволока

¹ Линии магнитной силы уже были определены (3071). Мы, я полагаю, их проследили и показали, что они представляют замкнутые кривые, проходящие на своем пути отчасти через магнит, которому они принадлежат, отчасти через (ограждающее его) пространство (3117). Если, в случае прямого магнитного бруска, рассматривать какую-либо из этих линий, скажем F , как вращающуюся вокруг оси магнита, она опишет поверхность; и поскольку самая линия есть замкнутая кривая, поверхность образует как бы трубку вокруг оси и будет заключать в себе некоторое тело. Другая силовая линия E даст такой же результат. Сфендилоидное тело может быть или образовано поверхностью вращения E , или заключено между двумя поверхностями E и F , и для краткости я (по совету одного моего друга) называю его просто *сфендилоидом*. Части описанного тела,

пересекает линии внутри некоторого определенного сфондилоида, рассмотренного вне магнита, то возбуждается электрический ток, и этот ток является определенным и постоянным, при любом и каждом пересечении данного сфондилоида. В то же время независимо от того, покоится или движется проволока, она не вызывает смещения, или расширения, или сжатия силовых линий; состояние силы в соседних или других частях сфондилоида остается без чувствительных изменений (3176).

3272. Старый опыт, при котором проволока, через которую проходит электрический ток,¹ вращается вокруг магнитного полюса, или же при котором возбуждается ток в той же проволоке, когда ее заставляют вращаться вокруг того же полюса (114), показывает электрическую связь магнита и проводника; эта связь имеет место и тогда, когда ток пропускается через проволоку заранее, и тогда, когда он возбуждается движением. В принципе это та же связь, которая уже была обнаружена в упомянутых выше рассуждениях и которая охватывает в экспериментальном отношении все случаи электрических токов, какова бы ни была среда, в которой они возникают, вплоть до токов, происходящих от разряда Лейденской банки или разряда между электродами гальванической батареи. Я полагаю, что она указывает также на состояние магнитного или электрического напряжения в окружающем пространстве не только тогда, когда оно занято металлом или проводом, но и тогда, когда оно занято воздухом и другими веществами; ибо каково бы ни было это состояние в каком-нибудь одном случае, оно, вероятно, является общим и потому присущим всем случаям (3173).

3273. Теперь я осмелюсь на некоторое время стать на точку зрения физического существования внешних линий магнитной

находящиеся внутри и вне магнита, в отношении силы эквивалентны друг другу. Если нужно говорить о каждой из них в отдельности, их легко различать, как внутренний и внешний сфондилоиды; поверхность магнита представляется здесь частью поверхности радела.

¹ Экспериментальные исследования, т. II, стр. 183

силы, чтобы выяснить, как это предположение будет согласоваться с общими явлениями магнетизма. Магнит, очевидно, является силой, поддерживающей (магнетизм); из всех теорий, которые были созданы в отношении его внутренних свойств или свойств его частиц, нет ни одной, которая по правдоподобию и по красоте приближалась бы к теории Ампера (1659). Проводимая в ней аналогия магнита с катушкой великолепна; однако все же в экспериментальном отношении между ними имеется резкое различие. Ибо неизменяемый магнит никогда не может возбудить в куске мягкого железа магнетизм более сильный, чем его собственный, как мы его измеряем динкующейся проволокой (3219). Катушка же, по которой проходят ток, может возбудить в железяном сердечнике магнитные силовые линии, обладающие в сто или более раз большей силой, чем она сама, если эти силы измерять тем же способом. Таким образом с любой точки зрения магнит заслуживает самых тщательных исследований ученого, направленных к постижению его природы, и как магнит сам по себе, и как источник электричества. Мы должны познать великий закон, в свете которого эта кажущаяся аномалия исчезнет, и все эти разнообразные наблюдаемые нами явления предстанут как *нечто единое*.

3274. Физические силовые линии при выходе из магнита в (окружающее) пространство обнаруживают весьма большое разнообразие формы (3238). Иногда они очень резко преломляются и выходят из магнита под прямым или тупым или острым углом, как в случае твердого, сильно заряженного стержневого магнита (см. таблица VI, 2); в других случаях изменение формы линии при переходе из магнита в (окружающее) пространство бывает более постепенным, как для круглой пластинки или шарового магнита (табл. VI, 3, 4, 5). Здесь результат в большой мере зависит от формы магнита, как источника линий; но я полагаю, что и свойства, и состояние окружающей среды также играют здесь существенную и очевидную роль, как я попытаюсь в дальнейшем показать.

Прежде всего это преломление линий должно обуславливаться различием в свойствах магнита и окружающей среды или пространства; чем это различие больше, чем, следовательно, переход резче, тем сильнее излом силовой линии. В случае Земли, как самое ее вещество, так и форма способствуют тому, чтобы преломление силовых линий у ее поверхности было очень постепенным; вследствие этого линия наклона при обычных обстоятельствах не изменяется заметным образом для одного и того же места, независимо от того, где мы его измеряем: на самой поверхности, над нею или под нею.

3275. Хотя мы можем и должны предполагать, что физические силовые линии магнита продолжаются на бесконечное расстояние вокруг него, пока магнит остается совершенно один (3110), однако под влиянием других систем магнитной силы эти линии могут сгущаться и сжиматься до весьма малого объема. Это показано рис. 6 на табл. VI. После тех экспериментальных результатов, которые изложены в серии XXVIII в отношении определенности магнитных действий (3109), я не сомневаюсь, что сфондилоид, представляющий полную силу, должен оказывать на движущуюся проволоку такое же действие, как и неограниченный сфондилоид, который получился бы в том случае, если бы небольшой магнетик находился в пустом пространстве; в опыте же, на основании которого получен рис. 6, сфондилоид имел площадь сечения менее двух квадратных дюймов.

3276. Магнит с окружающим его силовым сфондилоидом можно считать, в отношении его свойств, аналогичным гальванической батарее, погруженной в воду или другой электролит, или же электрическому угрю (1773, 1784), или скату в тот момент, когда это животное по собственному желанию наполняет окружающую жидкость электрическими силовыми линиями. Мне кажется, что аналогия с помещенной таким образом гальванической батареей ближе, чем с каким-либо случаем статической электрической индукции. В самом деле, в первом примере физические линии электрической силы проходят как че-

рев батарею, так и через окружающую среду, ибо они образуют замкнутые кривые, подобные тем, которые я вообразил внутри и вне магнита. Направление этих электрических силовых линий можно проследить экспериментально различными способами. В батарее и вблизи батареи их можно обнаружить посредством магнитной стрелки, свободно подвешенной в жидкости, ибо она установится под прямым углом к направлению линий. Их обнаружат также две проволоки гальванометра; ибо если линия, соединяющая оба (их) конца в жидкости, будет перпендикулярна к линиям электрической силы (или тока), то никакого действия гальванометра не получится; если же она будет направлена наклонно или параллельно им, гальванометр покажет отклонение. Направление линий может быть обнаружено и с помощью металлической пластинки или проволоки или шарика в жидкости, если только здесь может иметь место электролитическое действие, например, если в жидкость добавлено немного ацетата свинца. В этом случае электролиз будет максимальным в направлении тока или силовой линии, а в перпендикулярном направлении не будет вовсе никакого действия. Тот же шарик будет возмущать и изгибать линии электрической силы в окружающей жидкости, точно так же, как было мною показано для случая парамагнитных тел среди магнитных силовых линий (2806, 2821, 2874). Я полагаю, никто не усомнится в том, что, пока батарея погружена в жидкость и ее полюсы находятся в соприкосновении с жидкостью, линии электрической силы, обладающие физической реальностью, имеются повсюду и в ней, и в окружающей ее жидкости.

3277. Я представляю себе, что когда магнит находится в свободном пространстве, то вокруг него имеется такая среда (в магнитном отношении). Из результатов прежних опытов (2787) следует, что пустота обладает своими особыми свойствами притяжения и отталкивания; и вследствие этого пустота по отношению к материальным телам стоит не на одном из концов их ряда, а *посередине*, скажем, между золотом и пла-

тиной (2399), а другие тела располагаются по ту и другую сторону. Что представляет собою эта окружающая магнитная среда, лишенная всякого материального вещества, этого я не могу сказать; может быть, это -- эфир. Я склонен считать, что эта внешняя среда имеет *существенное* значение для магнита, что именно она соединяет друг с другом внешние полярности криволинейными силовыми линиями и что таким образом их связь следует рассматривать, как необходимость. Точно так же обстоит дело и в рассмотренном выше случае батареи, ибо ни внутри, ни вне ее не может получиться никаких силовых линий, если эта связь будет прервана путем удаления или устранения проводящей среды или в случае статической электрической индукции, которая невозможна, если не допустить этого состояния связи (1169).¹ А потому я считаю, что без этой внешней взаимно-обусловленной связи полюсов или их связи с другими полюсами, поддерживаемой или осуществляемой подобным же образом, магнит существовать не мог бы. Абсолютный северный или южный магнетизм, или северный или южный магнетизм без взаимной связи так же невозможны, как и абсолютное или не обусловленное связью состояние положительного или отрицательного электричества (1178).

3278. При этой точке зрения на магнит среда или пространство, его окружающее, играют столь же существенную роль, как и самый магнит, будучи частью настоящей и полной магнитной системы. Многочисленные опыты показывают нам, что отношение линий к окружающему пространству можно изменить, если заполнить его различными веществами; точно так же, как и отношение светового луча к пространству, через которое он проходит, может быть изменено, если поместить в этом пространстве различные вещества; так же влияет среда на линии электрической силы, среда, в которой развивается индукция или проводимость. Это изменение по отношению

¹ Philosophical Magazine, март, 1843; или Экспериментальные исследования, т. II, стр. 385.

к магнитной силе следует считать зависящим от способности окружающей среды осуществлять взаимную связь двух внешних полярностей или служить носителем физических силовых линий. Выше я по другому поводу до некоторой степени исследовал это изменение и его последствия, пользуясь для обозначения физического действия, производимого присутствием парамагнитных или диамагнитных тел, словами «*магнитная проводимость*» (2797).

3279. Если, например, кусок холодного железа (3129) или никеля (3240) ввести в магнитное поле, первоначально занятое воздухом или просто пустое, то происходит сгущение в нем силовых линий, и через такое заполненное пространство передается больше силы, чем если бы парамагнитного тела в нем не было. Вследствие этого силовые линии сходятся к нему или расходятся от него, давая то, что я называю полярностью проводимости (2818); и это — все произведенное действие, в смысле количества силы; ибо ничего здесь ни в малейшей степени не прибавляется к этому количеству, внешнему по отношению к магниту и не отнимается от него (3218, 3223). Возникает новое распределение силы; ибо некоторая часть ее проходит теперь там, где прежде не проходила, будучи удалена с тех мест, куда она первоначально передавалась. Предположим, что магнит заключен в окружающей сплошной железной массе: тогда действие высокой проводимости последней состояло бы в том, что сфера внешнего действия и различные сфендилоиды, которые, как мы предполагаем, образуются в различных ее частях, сильно сжались бы по направлению внутрь. Если бы мы могли ввести в толщу железа магнитную стрелку, она показала бы весьма значительное уменьшение, а может быть, по видимости, и полное уничтожение внешнего действия этого магнита. Однако движущаяся проволока обнаружила бы, что оно присутствует здесь в полной мере (3152, 3162) в весьма концентрированном состоянии, как она обнаруживает его и в самой толще магнита (3116); и сила внутри магнита, если он твердый и хорошего качества, осталась бы та же.

3280. Причина, почему магнитная стрелка не дает правильных указаний относительно количества силы, имеющегося в данном пространстве, заключается в следующем: если она хорошего качества, то, в силу необходимого условия твердости, она не может пропустить через свою массу больше силовых линий, чем она в состоянии возбудить (3223). Но вследствие слияния одинаковых силовых линий, продолжающих одна другую (3226), такая стрелка, будучи окружена плохим магнитным проводником, привлекает на себя многие из тех линий, которые в ее отсутствие прошли бы в другом месте, получает большую магнитную полярность, и в соответствии с этим находится и оказываемое на нее действие. Насколько я могу судить, все опыты указывают на то, что притяжения и отталкивания являются лишь следствиями стремления укорачиваться, присущего магнитным линиям (3266). Поэтому, если магнитная стрелка окружена средой, проводимость которой постепенно возрастает, то кажущимся образом она обнаруживает поблизости от себя все меньше и меньше силы, хотя в действительности сила возрастает там все более и более. Мы легко можем представить себе очень твердую и слабо заряженную магнитную стрелку, окруженную такой средой, например мягким железом, которая обладает лучшей, чем она, проводимостью, т. е. которая передает путем проводимости больше силовых линий, чем стрелка может принять на себя или передать по состоянию своего заряда (3298). Мне кажется, что в этом случае стрелка, если бы она могла свободно двигаться, должна была бы внутри железа весьма слабо стремиться к определенному направлению, вследствие слияния силовых линий, но отталкивалась бы как целое от основного магнита, аналогично действию на диамагнитное тело. Как я указал выше, принцип движущейся проволоки может быть с успехом применен в тех случаях, когда принцип магнитной стрелки не дает результата (3155).

3281. Если рассматривать, в их отношении к окружающему пространству, другие парамагнитные тела, кроме железа, то

их действия можно предполагать пропорциональными их проводимости. Если бы окружающей средой была твердая сталь, то сжатие силовых сфондилоидов было бы значительно меньше, чем в случае железа; и действия на магнитную стрелку имели бы место в ограниченной мере. Если бы мы взяли раствор протосульфата железа, действие получилось бы еще более слабое. Если бы мы изготовили раствор, подобрав его так, чтоб он не имел ни парамагнитных, ни диамагнитных свойств (2422), то по отношению к силовым линиям он был бы равносильен пустоте. Если бы мы взяли диамагнитное тело, как вода, стекло, висмут или фосфор, то величина действия сфондилоидов возросла бы (3279); и действие на магнитную стрелку видимым образом усилилось бы, хотя она и оказалась бы помещенной в области, через которую проходило бы меньшее количество силы, чем ранее (3155). Придет ли какое-либо тело, играющее роль проводника, хотя бы железо, под действием индукции на его частицы временно в состояние, подобное соответствующему состоянию магнита, этот вопрос-я уже ставил по другому поводу (2833); но я оставляю его подробное исследование и разрешение на будущее время.

3282. Явления, зависящие от формы и размеров магнитов, по-видимому, удивительно хорошо согласуются с высказанной мною точкой зрения на действия окружающей среды. Если эта среда обладает свойством, равносильным проводимости, так что в различных случаях получается различие в проводимости, то это по необходимости вызывает также противодействие или сопротивление. Без этого не могло бы существовать различия. Подобный пример постоянно представляет нам электрическая сила. Если поэтому придать магниту не форму бруска, а подковообразную форму, то мы убеждаемся сразу, что силовые линии и сфондилоиды в большой степени искажены и потеряли свою прежнюю правильность; что линия максимальной силы, идущая от полюса к полюсу, возрастает по мере того, как форма магнита становится ближе к подковообразной; что сила

собирается на этой линии или скопляется около нее именно потому, что путь в плохо проводящей среде, т. е. в воздушном пространстве между полюсами, становится короче. Согнутая концами гальваническая батарея в окружающей ее среде (3276) или электрический уголь, изогнувшийся в момент своего специфического действия, обнаруживают в точности те же явления.

3283. Каким именно образом якорь или вторичный магнит, помещенный в должном месте, уменьшает силу магнита в окружающем пространстве, понятно само собою. Это — замена плохого проводника хорошим; через него передается гораздо большее количество силы магнита, чем через то же самое пространство перед тем, а потому ее передается меньше в других местах. Если подковообразный магнит намагнитить до насыщения при наложенном якоре и определить его силу, то удаление якоря вызовет уменьшение силы. Это происходит (согласно гипотезе) потому, что железный якорь, вследствие своей проводимости, мог поддержать более высокую степень внешней магнитной силы, а потому *магнит* мог принять и удержать более сильную степень намагничивания. Этот случай сходен со случаем стального кольцеобразного магнита, который, будучи намагничен, не обнаруживает внешних признаков силы, ибо силовые линии в одном участке продолжаются в каждом другом участке кольца; но если его разломать, он обнаруживает сильную полярность и внешнее действие, потому что линии, проходившие ранее в определенной точке через непрерывный магнит, должны теперь проходить и продолжаться в окружающем пространстве.

3284. Эти результаты в свою очередь согласуются с одним фактом, который частью легко проверить, а именно: если мягкое железо окружает магнит и находится в соприкосновении с его полюсами, то этот магнит может принять значительно больший заряд, чем в том случае, когда он окружен веществом менее парамагнитным, как например воздух. Приведем и другой факт; если на концах магнита находится массы мягкого

железа, то магнит может принять и удержать более высокий заряд, чем если их нет, потому что через эти массы проходят физические линии сил и переходят в часть окружающего пространства. Эта часть или расширяется и потому увеличивается в направлении, перпендикулярном силовым линиям, или сокращается в направлении, им параллельном, или и то, и другое. Оба эти обстоятельства облегчают проводимость от полюса к полюсу и связь внешних линий с силовыми линиями *внутри* магнита. В этом же смысле полезна и арматура у естественного магнита. Все эти действия и приемы согласуются с той точкой зрения, что пространство или среда, внешние по отношению к магниту, имеют столь же важное значение для существования магнита, как и вещество его самого.

3285. Магниты как большие, так и малые, могут быть пересыщены, и тогда, если предоставить их самим себе, их сила падает; это происходит сначала быстро, если пересыщение значительно, а затем более медленно. По нашей гипотезе, это объясняется тем, что окружающая среда, вследствие своей слабой магнитной проводимости, не способна поддерживать более высокую степень заряда. Если бы проводимость достаточно возросла, то магнит не был бы пересыщен и его сила не падала бы. Так, если бы магнит был окружен железом, его легко можно было бы заставить и принять, и удержать степень заряда, которая сразу уменьшилась бы, если бы железо было внезапно заменено воздухом. Вообще магниты могут быть пересыщены только, если подвергнуть их на время влиянию других источников магнитной силы или влиянию более благоприятной окружающей среды, чем та, в которой они обнаружили пересыщение.

3286. Общеизвестный факт, что небольшие стержневые магниты сравнительно с их размерами значительно сильнее больших таких же магнитов, вполне согласуется с данным выше объяснением действия внешней среды и *говорит в пользу* этого объяснения. Швейную иглу можно намагнитить гораздо сильнее, чем брусек в двенадцать дюймов длины и дюйм в диаметре.

Причина этого, согласно указанному ранее, состоит в том, что возбужденная система в магните (соответствующая гальванической батарее в упомянутой выше аналогии (3276)) лучше поддерживается необходимым совместным действием окружающей среды именно в случае малого магнита. Ибо несовершенная магнитная проводимость этой среды (или вытекающее отсюда состояние натяжения, в которое она приходит) оказывает на магнит обратное действие (3282), а потому, чем меньше сумма возбуждающих сил в центре магнитных сфендилоидов, тем более будет способна окружающая среда содействовать поддержанию результирующей силы. Вполне ясно, что если представить себе двенадцатидюймовый брусок разделенным на множество швейных иголок, причем все они отделены друг от друга, то действующая на них возбуждающая сила, которая проявляется снаружи замкнутыми магнитными кривыми, будет распространена на значительно больший объем окружающей среды, чем если бы все эти иголки были соединены в один стержень.

3287. Факты, наблюдаемые в отношении *длины* и *ширины* стержневого магнита, согласуются с высказываемой здесь точкой зрения на роль внешней среды. Если мы возьмем небольшой насыщенный магнит соответствующих размеров, как например швейную иглу, то, будучи одна, она будет находиться в таком отношении к окружающему пространству, что ее магнитная сила, как только что показано, будет поддерживаться на наивысшем уровне. Если рядом с нею мы поместим другую иглу, то пространство, окружающее эти две иглы, окажется только немногим больше, его проводящие свойства отнюдь не возрастут, а однако оно должно будет удерживать вдвое большую внутреннюю возбуждающую магнитную силу, чем та, которая действовала в случае одной только иглы (3232). Это должно обратное действовать на магниты и вызывать уменьшение их силы. При добавлении еще третьей иглы действие повторяется; и если мы представим себе, что иглы добавляются до тех пор, пока толщина их пучка достигнет одного дюйма,

то получим результат, иллюстрирующий влияние чрезмерно большой толщины, не пропорциональной длине.

3288. С другой стороны, если мы представим себе две такие иглы, помещенные одинаковым образом на одной прямой в некотором расстоянии друг от друга, то для каждой из них окружающая ее система кривых будет занимать некоторую часть пространства. Если мы придвинем их друг к другу равноименными полюсами, они образуют магнит двойной длины; внешние силовые линии сольются (3226), линии на плоскостях соприкосновения почти что исчезнут; линии, исходящие от крайних полюсов, сольются с внутренней стороны и образуют одну большую внешнюю систему, силовые линии которой будут иметь большую длину, чем соответствующие линии для каждой из двух первоначальных иголок. Однако в предположении, что магниты вполне тверды и неизменны, возбуждающая сила в них останется или будет стремиться остаться прежней (3227) по количеству, ибо нет ничего, что могло бы увеличить последнее. Поэтому увеличение длины внешних линий, которые играют для внутреннего действия роль сопротивляющейся среды, будет стремиться уменьшить силу всей системы. В аналогичном примере с гальванической батареей, окруженной дистиллированной водой (3276), произошло бы то же самое, если бы батарея могла быть растянута в воде и если бы ее полюсы таким образом были отодвинуты дальше друг от друга. И хотя в случае предварительно заряженных магнитов можно получить известный эффект, эквивалентный напряжению возбуждения, соединяя несколько из них конец к концу, однако, по-видимому, следствием увеличения расстояния крайних полюсов или внешних взаимно зависимых частей является уменьшение поддержки силы вовне. Статическая электрическая индукция представляет подобный же поясняющий дело пример.

3289. Однако чаще всего влияние длины и толщины проявляется с очевидностью не в том случае, когда мы прикладываем друг к другу магниты, уже заряженные до последней возможности, а в случае бруска, который еще только зарядить.

Будем намагничивать два бруска, одинаковых по качеству стали, твердости и т. п., но один длиною в один дюйм и диаметром в одну десятую дюйма, а другой — такой же длины, но диаметром в пять десятых дюйма; намагничивать их будем до пересыщения; тогда последний, хотя количество стали в нем в двадцать пять раз больше, чем в первом, не сможет удержать в двадцать пять раз большую силу по указанной выше причине (3287): окружающая среда не сможет удержать внешние силовые линии в таком количестве. Но если и то же самое время намагничивать третий брусок в два дюйма длиною и также пять десятых дюйма в диаметре, он может принять значительно большую силу, чем второй. Естественное объяснение этому дает высказанная гипотеза; ибо ограничение силы в обоих случаях зависит не от самих магнитов, а от внешней среды. Более короткий магнит имеет соприкосновение и связь с этой средой по некоторой части своей поверхности, и магнит удержит лишь ту силу, какую среда снаружи этой поверхности может поддержать. Если мы опять удлиним магнит, то у него получится гораздо большее соприкосновение и связь с окружающей средой, чем прежде; а потому сила, которую сможет удержать магнит, также будет больше. С точки зрения моей гипотезы о физических действиях, такой результат вряд ли мог бы иметь место, если бы в магните существовали такие ограниченные точки результирующего действия, какие обыкновенно понимают под словом *полюсы*. Но таких полюсов не существует. Каждый участок поверхности магнита как бы испускает наружу линии магнитной силы, как изображено на табл. VI, рис. 2, 3, 4, 5 (3274). Чем больше магнит до известной степени и чем больше пространство внешней проводящей среды, соприкасающейся с ним, тем свободнее происходит эта передача. Представим себе, что второй магнит, имеющий дюйм в длину, заряжен до предела и что затем в пустоте к его длине прибавляется по куску железа длиною в полдюйма на каждом конце. Мы видим и знаем, что многие из силовых линий, первоначально исходивших из той части поверхности,

которая еще оставалась в соприкосновении с воздухом в экваториальной части, теперь переместятся внутри магнита по направлению к концам и будут исходить из части поверхности мягкого железа. Тем самым обнаруживается, как напряжение ослабляется этой лучшей проводящей средой на концах и возросшей поверхностью соприкосновения с окружающим плоским проводником — воздухом или пустотой. Толстый, короткий магнит, очевидно, может возбудить и удержать гораздо большее количество физических линий магнитной силы, чем то, какое может воспринять и передать от полюса к полюсу окружающее пространство. Увеличение длины магнита оказывается выгодным до тех пор, пока возрастающая сумма силы, которая может быть удержана возрастающим объемом среды в контуре, не станет равна той, которую магнит может удержать или передать внутренним путем. В самом деле, все силовые линии должны пройти через экватор; таким образом длина экватора или толщина магнита оказывается связанной с его длиной. Итак, выгодное увеличение длины стержня ограничено возрастающим сопротивлением внутри стержня, и особенно на его экваторе; а увеличение толщины — возрастающим сопротивлением (для возрастающих сил) внешней окружающей среды (3287).

3290. Весьма интересные результаты получаются при попытке намагнитить правильным образом тонкую стальную проволоку около 15 или 20 дюймов в длину и 0.05 дюйма в диаметре. Этого трудно достигнуть с помощью стержней; и если затем исследовать проволоку посредством оцилок (3234), то оказывается, что на ней имеются неправильные и чередующиеся полюсы, которые изменяются при повторении намагничивания той же самой проволоки, как будто они внезапно ломаются вследствие нарушения чего-то вроде неустойчивого равновесия. Эти явления, по-видимому, надо приписать главным образом упомянутой здесь причине. С другой стороны, если магнит состоит из тонкой, твердой стальной пластинки, у которой длина равна в 10 или 12 меньше ее ширины, то хорошо известно, что силовые линии выходят в весьма большом числе

в его углах, а затем у краев; и что из любого участка на его плоскости выходит гораздо меньше линий, чем из такого же участка на краю, в том же расстоянии от магнитного экватора. Железные опилки наглядно выявляют этот факт, который можно обнаружить также и с помощью колебаний магнитной стрелки или вращения проволочного кольца (3212). Это свойство дискообразного магнита — как раз то самое, какого можно ожидать на основании гипотезы о необходимой зависимости свойств магнита от окружающей его среды.

3291. Взаимная зависимость магнита и внешней среды, которую мы предположили в излагаемой нами точке зрения, подтверждается многочисленными наблюдениями над видимым поверхностным характером магнетизма железа и магнита в различных случаях и, может быть, дает им объяснение. Если намагнитить твердый стальной стержень соприкосновением с другими магнитами, то вследствие близости поверхностных частей стержня к возбуждающему магниту — вначале, и к окружающей удерживающей среде — потом, магнетизм стержня окажется поверхностным. Если небольшой магнетик или подковообразный стержень будет окружен толстой оболочкой из железа как внешней средой, то внутренняя поверхность железа, т. е. ближайшая к магниту, и соседние участки магнита будут содержать больше силы, чем более удаленные участки. Если поместить толстый железный сердечник внутри катушки, по которой проходит слабый электрический ток, то сердечник будет заряжаться сильнее всего там, где он ближе к катушке. Возможно, что обнаружатся или будут позднее найдены другие подобные же факты, и это в значительной мере поможет разрешить вопрос о физических силовых линиях, который мы сейчас рассматриваем.

3292. Если мы будем считать внешнюю среду магнита неоднородной, т. е. одинаковой по магнитному действию, а разнородной в различных ее точках, то и тогда, как мне кажется, наблюдаемые в ней явления окажутся в полном согласии с представлением о физических линиях магнитной силы, которые,

проходя снаружи, являются определенными по направлению и количеству. В ряде находящихся в нашем распоряжении веществ, которые действуют таким образом на окружающее пространство, у нас нет особенно большого выбора, чтобы подобрать различные степени действия. Но мы имеем железо, никель и кобальт, которые, как парамагнитные тела, стоят очень высоко в этом ряду, а затем твердую сталь, стоящую уже гораздо ниже. Затем, может быть, окислы железа и далее, через растворы магнитных металлов, к кислороду, воде, стеклу, висмуту и фосфору в направлении к диамагнетизму. Если мы возьмем за источник силы земной магнетизм и поместим в воздухе железный или никелевый шар, то мы можем проследить, наблюдая, как устанавливается магнитная стрелка, или в другом виде с помощью железных опилок (3240) уклонение силовых линий от их первоначального пути при их вхождении в шар и выход из него, в зависимости от проводимости парамагнитного тела. Форма этих линий была описана в другом месте (3238). Возьмем большой магнитный стержень и приблизим к его концу кусок мягкого железа, ширина которого пусть составляет около половины ширины магнита, а длина — втрое или вчетверо превышает ширину, причем он должен отстоять от полюса магнита на расстояние, равное своей собственной ширине; покроем все бумагой и будем наблюдать силовые линии при помощи железных опилок. Мы увидим, как красиво они, выйдя из магнита, сходятся изящными изгибами к железу, причем входят на сравнительно небольшой площади, а выходят значительно более размытыми потоками на гораздо большей поверхности на отдаленном конце бруска (табл. VI, 7). Если мы возьмем различные куски железа, например кубики, то увидим, что линии силы, проходящие совершенно вне их, иногда обнаруживают волнообразные изгибы в различных направлениях (табл. VI, 8). Но во всех этих случаях — шарика, стержня или кубика — я, по крайней мере, с удовлетворением вижу, что сечение через одни и те же силовые линии в любом месте их пути, куда бы и как бы они ни отклонялись, дает одно и

то же количество действия (3109, 3218); в то же время этот эффект отклонения не только совместим с представлением о физической силовой линии, но и определенно его подсказывает.

3293. С этими явлениями вполне согласуется то, каким образом в этих случаях исчезает сила обыкновенной магнитной стрелки. Если небольшую стрелку поместить вблизи бруска из мягкого железа, описанного выше (3292), то она обнаруживает значительно меньше магнитной силы, чем в том случае, когда железо отсутствует. Если ее поместить в полости, сделанной в железе, она остается почти безразличной по отношению к магниту; но еще имеющаяся сила показывает, что общее направление линий, *проходящих через воздух в полости, то же, что и линий, проходящих через находящееся вблизи железо. Эти факты, без сомнения, хорошо известны; моя цель состоит только в том, чтобы показать, что они совместимы с представлением о магнитной проводимости внешней среды и даже подтверждают это представление. Но эти кажущиеся уничтожения силы и даже еще более аномальные случаи (2868, 3155), вполне объясняются нашей гипотезой; и движущаяся проволока экспериментально обнаруживает существование силы, совершенно неизменной по величине. Я имел ранее случай указать на изменение магнитной силы (в отношении к магнитной стрелке), когда, не изменяясь по абсолютной величине, она проходит через лучшие или худшие проводники, и при этом я, для того момента, употреблял слова *количество* и *напряжение* (2866, 2868, 2870). Но я не хотел бы теперь делать попытку к ограничению или определению этих терминов или других, им подобных, как бы это ни было необходимо. Я хочу подождать до тех пор, пока все то, что в настоящее время является, самое большее, предположением, будет проверено и, оказавшись верным, получит подтверждение в мнениях или свидетельствах других.

3294. Соединенные магнита с магнитом и все результаты, которые при этом получаются (3218), находятся, сколько я могу судить, в согласии с представлением о физической линии маг-

нитной силы. Если все магниты могут свободно двигаться, они повертываются друг к другу, а затем стремятся сблизиться; важнейшим следствием этого является то, что линии из всех источников стремятся слиться, пройти через лучшие проводники и сократиться в длину. Если имеется несколько магнитов и они ограничены в своем движении, силовые линии, которые выявляются с помощью опилок, оказываются особенно разнообразными и красивыми (3238); но их все легко исследовать и объяснить на основании изложенных мною принципов. Поскольку сила сохраняет определенную величину, ее перемещение с места на место, в зависимости от изменения расположения магнитов или от введения в окружающую среду лучших или худших проводников, может быть объяснено весьма просто.

3295. Так как магниты можно рассматривать как вместилище пучков силовых линий, то они, по всей вероятности, могут дать нам представление о свойствах силовых линий и тогда, когда они наблюдаются в окружающем пространстве, точно так же, как электрические токи одинаковы по своим основным свойствам, все равно, где они проходят: по твердым проволокам или же через воздух или пустоту, как при лейденской или гальванической искре. В этом случае отталкивание магнитов, помещенных рядом, указывает на стремление магнитных силовых линий разойтись в стороны (3267). Этот результат следует, однако, рассматривать в связи с одновременным схождением земных силовых линий в пространстве, окружающем каждый магнит, а также стремлением магнита образовать свою собственную независимую внешнюю среду. Это — то же явление, как отталкивание в разные стороны железных шаров в первоначально равномерном магнитном поле (2814); оно в свою очередь, если рассматривать действия в двух направлениях, т. е. параллельно и перпендикулярно магнитной оси, связывает явления расхождения с явлениями притяжения.

3296. Когда я говорю, для иллюстрации рассматриваемого вопроса, о магнитах, я разумею магниты, совершенные в своем роде, т. е. такие, которые очень тверды и держат свой заряд.

В них не должно происходить какой-либо реакции внутреннего разряда или приобретения заряда (3224), ни каких-либо внешних изменений, кроме таких, которые могут быть вызваны такой абсолютной и перманентной потерей возбуждающей силы, какая может иметь место при подавляющем изменении внешних условий. Неоднородные магниты, в которых могут происходить неправильные колебания силы, выпадают из настоящего рассмотрения.

3297. Основной вопрос, который мы рассматриваем, просто-напросто таков: обладают ли линии магнитной силы *физическим существованием* или нет? Мы можем разрешать такой вопрос и даже, может быть, удовлетворительно, хотя мы и не в состоянии входить в дальнейшие рассуждения о том, как они дают отчет о магнитном притяжении или отталкивании, или даже какому состоянию пространства, эфира или материи эти линии соответствуют. Если оконечности прямого магнитного бруска или полярности круглой стальной пластинки (3274) внешне связаны между собой в магнитном отношении (3257), то, я думаю, можно признать существование *кривых* магнитных силовых линий (3258, 2633);¹ а если это так, то приходится согласиться и с физической природой этих линий. Если же отрицать внешнюю связь полюсов, или полнрность, то, по-моему, надо отрицать и внутреннюю связь; а тогда очень большое число старых и новых фактов (3070 и т. д.) останется не объясненным теоретически или какой-нибудь гипотезой, и нельзя будет дать хотя бы смутного их толкования.

3298. Возможно, что как магнитное притяжение, так и отталкивание, во всех формах и во всех случаях, сводятся к дифференциальному действию (2757) магнитов и веществ, которые занимают пространство и изменяют его магнитную силу. Магнит прежде всего порождает линии магнитной силы; далее, если имеется другой магнит, то в одном положении он свободно проводит новые линии, подобно парамагнитному

¹ См. для случая кривых линий сгущенную и сжатую систему сил, принадлежащих центральному круговому магниту (табл. VI, 6) (3275).

телу; если же удержать его в обратном положении, он противится их прохождению и уподобляется сильно диамагнитному веществу. Итак, если мы имеем источник магнитных линий, а также магниты или иные тела, действующие на проводимость пространства и изменяющие ее, то возможно, что тела, которые могут проводить наибольшую силу, будут путем дифференциального взаимодействия с другими телами стремиться принять те положения, в которых это может осуществиться с наибольшей легкостью. Они или установятся в направлении на эти тела, или приблизятся к ним; более хороший проводник перейдет в место более сильного действия (2757), тогда как худший удалится от него, и таким образом может получиться и то и другое действие — и притяжения, и отталкивания. Стремление магнитных силовых линий укорачиваться (3266, 3280) вполне совместимо с таким представлением. Этот результат будет иметь место независимо от того, какое состояние приписывать физическим силовым линиям: динамическое или статическое (3269).

3299. Вначале я обозначил термином *линия магнитной силы* отвлеченное представление, которое, я полагаю, точно выражает природу, свойства, направление и относительное количество магнитных сил, безотносительно к каким-либо физическим свойствам силы. Теперь, говоря о *физической силовой линии*, я подразумеваю в этом термине дальнейшее развитие представления об их физической природе. Существование первого рода линий я *утверждаю* на основании точного опыта (3071 и далее). Относительно второго рода линий я высказываюсь в пользу их существования — главным образом с целью поставить вопрос об этом существовании. Я не высказал бы этих соображений, если бы, с одной стороны, не считал их важными, а с другой — не предполагал, что вопрос этот в будущем получит положительное решение. Однако я высказываю свое мнение с некоторой неуверенностью, с той неуверенностью, которая всегда сопутствует моим попыткам сделать те или иные заключения по вопросам, относящимся к самым глубоким областям

науки: например, сколько существует электрических жидкостей: одна, две или вовсе ни одной; или вопрос об истинной природе светового луча, или о природе притяжения, даже самого тяготения, или об общей природе материи.

*Королевский институт.
8 марта 1852 г.*

О ФИЗИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ МАГНИТНОЙ СИЛЫ
(Royal Institution Proceedings, 11 июня 1852)

Мы описали и определили ранее¹ некоторые линии вокруг стержневого магнита (те, которые становятся видимыми для глаза при посредстве железных опилок, рассыпанных вблизи магнита); мы указали на то, что они в точности изображают природу, свойства, направление и величину силы в любой данной области внутри или вне стержня. Тогда эти линии рассматривались лишь отвлеченно. Сейчас мы не уклонимся ни от чего, что было сказано тогда, и ни от чего не откажемся, но займемся исследованием того, насколько возможно и правдоподобно *физическое существование* таких линий. Те, кому желательно пересмотреть некоторые пункты, относящиеся к этим областям науки о магнетизме, могут обратиться к двум статьям в первой части *Phil. Trans.* за 1852 г.², где найдут данные, относящиеся к силовым линиям, как *изображающим* магнитную силу, и к статье *Phil. Mag.*, серия 4, 1852, т. III, стр. 401, где найдут доводы в отношении *физических* силовых линий.³

Многие силы очевидным образом обнаруживаются на расстоянии; их физическая природа для нас непостижима; все же мы можем узнать о них много реального и положительного, в том числе можем до известной степени уяснить себе состояние пространства между телом, которое оказывает действие, и телом, на которое оказывается действие, или же между двумя

¹ См. стр. 559.

² См. стр. 457.

³ См. стр. 565.

взаимодействующими телами. Такие силы представляются нам в явлениях тяготения, света, электричества, магнетизма и т. д. Когда мы их исследуем, мы обнаруживаем замечательные различия в соответствующих им силовых линиях. В некоторых случаях таким образом устанавливается существование реальных физических линий; этим облегчается рассмотрение вопроса специально в применении к магнетизму.

Если два тела a , b тяготеют друг к другу, то линия, по которой они действуют, есть прямая, ибо такова линия, по которой оба они перемещались бы, если бы могли двигаться свободно. Сила притяжения не изменяется ни по *направлению*, ни по *величине*, если мы заставляем третье тело действовать силой тяготения или какой-либо иной на одно из рассматриваемых тел или на оба. Уравновешенный латунный цилиндр тяготеет к земле совершенно одинаковым весом и тогда, когда он висит над нею свободно, подобно маятнику, и тогда, когда он отклонен в сторону каким-либо другим притяжением или напряжением, какова бы ни была его величина. На a может действовать новая сила тяготения, но это ни в какой мере не влияет на величину силы, с которой a действует на b . Нет никакого доказательства тому, чтобы в проявление этой силы каким-либо образом входило *время*, каково бы ни было расстояние между взаимодействующими телами, будь то от Земли до Солнца или от звезды до звезды. Мы не можем представить себе эту силу действующей в одной только частице, взятой отдельно от других; мы понимаем ее только, когда имеются две частицы или более. Но даже усваивая это представление, мы не замечаем никакого различия в действии силы на различные частицы; все силы одного и того же рода *равны*, *взаимны* и *одинаковы*. В случае тяготения мы не обнаруживаем никакого явления, которое говорило бы в пользу представления о независимой или физической линии силы; и насколько нам это известно в настоящее время, линия тяготения есть лишь некоторая мысленная линия, изображающая направление, в котором действует сила.

Рассмотрим Солнце с точки зрения другой силы, которую оно проявляет относительно Земли, именно силы освещающей и согревающей. В этом случае лучи (которые представляют собою силовые линии) проходят через промежуточное пространство; но здесь мы можем оказывать на эти линии действие при помощи различных сред, расположенных на их пути. Мы можем изменить их направление посредством отражения или преломления; мы можем заставить их идти по криволинейным или ломаным путям. Мы можем отрезать их от их источника и затем искать их и найти, прежде чем они достигнут своей конечной цели. Они связаны с *временем* и требуют 8 минут, чтобы пройти от Солнца до Земли; таким образом, они могут существовать независимо и от своего источника и от места, в которое в конце концов приходят. Таким образом, они имеют ясно различимое физическое существование. В этом смысле они представляют резкую противоположность силовым линиям тяготения, так же как и в смысле свойств, которыми они обладают на концах. Два тела на концах силовой линии тяготения одинаковы по своим действиям во всех отношениях, и поэтому прямая, их соединяющая, имеет одинаковые свойства в обоих направлениях. Два тела на концах луча совершенно различны по своему действию: одно является источником линии, другое ее уничтожает; и самая линия имеет свойство потока, идущего в одном направлении. Этими двумя примерами — тяготения или излучения — различие между воображаемой и физической линией силы выясняется сразу.

Обращаясь к случаю статического электричества, мы находим здесь притяжения (и другие действия) на расстоянии, как и в предыдущих случаях; но если займемся сравнением этого притяжения с притяжением, которое обусловлено тяготением, мы видим весьма резкие различия, имеющие непосредственную связь с вопросом о физической силовой линии. Во-первых, рассматривая тела, ограничивающие или заканчивающие линии притяжения, мы, как и прежде, находим, что, взаимодействуя, они участвуют в этом действии в равной мере;

но они не одинаковы: напротив, хотя каждое из них обладает силой, которая, вообще говоря, одна и та же по природе, но между ними имеется некоторая противоположность; а именно, их действия на третье тело, находящееся в этом же состоянии, что и которое-нибудь из этих тел, в точности противоположны друг другу: одно отталкивает то, что другое притягивает; и действие обнаруживается как одно из проявлений такой силы, которая одарена свойствами двойственности и противоположности. Но для всех таких сил с двойственными свойствами притяжение может иметь место лишь в том случае, когда имеются налицо оба вида силы и когда они противопоставлены друг другу через посредство силовых линий. Другое существенное ограничение состоит в том, что силы этих двух видов должны быть в точности равны по величине не только для того, чтобы вызвать притягательное действие, но и в любом другом случае; ибо невозможно сделать так, чтобы имелось или было возбуждено больше электрической силы одного рода, чем другого. Еще одно ограничение состоит в том, что они должны находиться в физической связи друг к другу; и если мы имеем две связанные таким образом поверхности, из которых одна заряжена положительно, а другая отрицательно, то, чтобы нарушить эту связь, мы необходимо должны уравновесить силы этих поверхностей равными величинами противоположных им сил, которые нужно взять откуда-нибудь, извне. Еще ограничение: действие определено по своей величине. Если шарик *a* заряжен 10-ю единицами положительного электричества, его можно заставить оказывать действие этой величины на шарик *b*, заряженный 10-ю единицами отрицательного электричества; но если 5 единиц его действия отнять третьим шариком *c*, заряженным отрицательным электричеством, то он может действовать на шарик лишь 5-ю единицами действия, и шарик *b* должен взять откуда-то или возбудить еще 5 единиц положительного действия. Это совершенно не похоже на то, что имеет место при тяготении, которое ничем не обнаруживает нам характера двойственности. Наконец, электрическая сила дейст-

вует по кривым линиям. Если шарик наэлектризован положительно и изолирован в воздухе, а против него на расстоянии около 12 или 15 дюймов помещена круглая неизолированная металлическая пластинка, то последняя, в силу сказанного выше, необходимо будет в отрицательно заряженном состоянии; притом она будет отрицательно заряжена не только со стороны, обращенной к шару, но и с другой или внешней стороны. Это можно доказать, если приложить к ней проводник-переносчик или же если подвесить вблизи этой внешней поверхности золотой или серебряный листочек. Но сила, действующая на эту поверхность, не проходит через неизолированную пластинку, ибо достаточно тончайшего золотого листочка, чтобы уничтожить индуктивное действие; следовательно, она проходит вокруг краев пластинки, т. е. действует по кривым линиям. Все эти обстоятельства указывают на существование физических линий электрической силы: абсолютно необходимая взаимная связь положительных и отрицательных поверхностей и их взаимная зависимость, несмотря на известную подвижность сил, не допускают иного заключения. Действие по кривой линии также обуславливается физической силовой линией. И третье существенное свойство силы, из которого вытекает то же следствие, это — влияние, которое оказывают на него среды, имеющие различные удельные индуктивные способности.

Если мы перейдем к динамическому электричеству, то очевидность существования физических силовых линий выступает еще более явственно. Гальваническая батарея, концы которой соединены проводящей средой, дает то, что было выразительно названо током силы, пробегающим в контуре; но этот ток есть ось действия, в которой имеются равные и противоположные силы в противоположных направлениях. Он состоит из силовых линий, которые сжимаются или расширяются в зависимости от поперечного действия проводника; они изменяют свое направление с изменением формы проводника; они имеются во всех частях проводника и могут быть изъяты из любого места, если

предоставить для этого соответственные пути; и никто не сомневается в том, что это — физические линии силы.

Наконец, обращаемся к магниту, который является предметом настоящего сообщения. Магнит представляет собою систему сил, совершенную и самостоятельную, т. е. способную существовать благодаря собственным взаимным связям. Он обладает свойствами двойственности и противоположности, присущими и статическому, и динамическому электричеству; и это проявляется в том, что мы называем его полярностями, т. е. в противоположных силах одинакового рода, которые имеются на его концах и около них. Оказывается, что эти силы абсолютно равны друг другу; ни одну из них нельзя изменить по величине ни в какой мере без того, чтобы не последовало такого же изменения в другой силе; и это справедливо также и тогда, когда противоположные полярности магнита связаны не друг с другом, а с полярностями других магнитов. Полярности, или *северный* и *южный* магнетизмы магнита, не только связаны друг с другом через самый магнит или внутри него, но они также связаны извне (магнита) с противоположными полярностями (наподобие статической электрической индукции); иначе они не могут существовать; и эта внешняя связь необходимо обуславливает наличие точно такой же величины новых противоположных полярностей, с которыми связаны полярности магнита. Таким образом, если сила магнита a связана с силой другого магнита b , она не может действовать на третий магнит c без того, чтобы от b не было отнято количество силы, пропорциональное ее действию на c . Движущаяся проволока показывает, что линии магнитной силы существуют как внутри, так и вне магнита; она показывает также, что эти линии представляют собою замкнутые кривые, которые в некоторой части своего пути проходят через магнит; а количество линий внутри магнита на его экваторе в точности равно, в отношении силы, их количеству снаружи в любом сечении, заключающем все эти линии. Направление силовых линий вне магнита можно изменять, если на их пути помещать различные

вещества. Никаким способом нельзя получить магнит, имеющий лишь один род магнетизма или хотя бы самый малый перевес северного магнетизма над южным, или наоборот. Если полярности магнита не связаны вне магнита с силами других магнитов, то они связаны друг с другом: т. е. северная и южная полярности изолированного магнита вне его связаны и взаимно друг друга поддерживают.

Все эти факты, и еще многие другие, указывают на существование физических силовых линий как вне, так и внутри магнитов. Они существуют в виде не только прямых, но и кривых линий; ибо если мы представим себе изолированный прямой стержневой магнит или еще лучше круглый стальной диск, правильно намагниченный, так что его магнитная ось совпадает с одним из диаметров, то очевидно, что полярности должны быть связаны друг с другом снаружи кривыми силовыми линиями; в самом деле, ни одна прямая линия не может одновременно пройти через две точки, обладающие северным и южным магнетизмом. Кривизна силовых линий, по моему мнению, совместима лишь с предположением о физических линиях силы.

Явления, обнаруживаемые движущейся проволокой, подтверждают тот же самый вывод. Когда движущаяся проволока пересекает силовые линии, через нее проходит или стремится пройти электрический ток. Пока проволока не двигалась, такого тока не было. В проволоке, если она находится в покое, такого тока нет, а когда она движется, ей не нужно проходить через те места, где магнитная сила больше или меньше. Она может двигаться по такому пути, что если бы этим путем перемещать магнитную стрелку, она не испытывала бы никакого магнитного действия, т. е. для стрелки было бы совершенно безразлично, движется она или покоится. Можно устроить так, чтобы проволока, находясь в покое, имела те же диамагнитные свойства, что и среда, окружающая магнит, и потому никак не могла бы вызвать изменения в силовых линиях, проходящих через проволоку и среду; и все же, если проволока дви-

жется, в ней возбуждается электрический ток. Один только факт движения не мог бы вызвать этого тока: вокруг магнита должно существовать и им поддерживаться некоторое состояние или условия, в сфере действия которых находится проволока; и это состояние доказывает физическую природу линий магнитной силы.

Каково это состояние и от чего оно зависит, мы сейчас еще не можем сказать. Может быть, оно обусловлено эфиром, подобно световому лучу; была уже указана связь между светом и магнетизмом. Может быть, это — состояние напряжения, или состояние колебания, или еще какое-либо иное состояние, аналогичное электрическому току, с которым так тесно связаны магнитные силы. Необходимо ли для поддержания этого состояния присутствие материи, зависит от того, что понимать под словом «материя». Если понятие о материи ограничить весомыми или тяготеющими веществами, тогда присутствие материи столь же мало существенно для физических линий магнитной силы как для лучей света и теплоты. Но если, допуская эфир, мы примем, что это — род материи, тогда силовые линии могут зависеть от каких-либо ее действий. С экспериментальной точки зрения пустое пространство магнитно; но ведь представление о пустом пространстве должно заключать в себе представление об эфире, если исходить из этой точки зрения. Если впоследствии возникнут какие-либо иные взгляды на состояние или свойства (пустого) пространства, то их нужно будет увязать со свойствами того, что мы называем пустым пространством сейчас в соответствии с данными опыта. С другой стороны, по-моему, можно считать установленным фактом, что присутствие весомай материи не является необходимым для существования физических линий магнитной силы.

О МАГНИТНЫХ СООТНОШЕНИЯХ И СВОЙСТВАХ МЕТАЛЛОВ¹

В двух более ранних сообщениях в *Philosophical Magazine*,² которые относились к магнитным свойствам металлов вообще, а также к температурам, при которых они приобретают или теряют способность магнитной индукции, я указывал на то, что никель и железо — единственные металлы, обладающие этой способностью, и что я не мог обнаружить ее в кобальте. В этом я ошибался; кобальт, подобно никелю и железу, обладает этим свойством, как указывали другие авторы. Я искал тот кусок кобальта, с которым я производил опыты, считая его при этом чистым, но не мог его найти и теперь не в состоянии установить причину моей ошибки, хотя еще не поздно ее исправить.

Благодаря любезности д-ра Перси (Percy) и м-ра Аскина (Askin) я недавно мог произвести опыты с двумя прекрасными кусками чистого кобальта, изготовленными последним; оба они представляли хорошо сплавленные и вполне чистые массы. Этот металл приобретает сильный магнетизм под влиянием индукции как от магнита, так и от электрического тока, и его легко можно заставить поднять груз, превышающий его собственный вес. Подобно мягкому железу или никелю, он не сохраняет магнетизма, когда индуцирующее влияние прекращается.

Для меня было весьма интересно выяснить, теряет ли кобальт эту способность и становится ли подобным не магнитным металлам, и если да, то при какой температуре. К моему удивлению, последняя оказалась очень высокой, не только много выше, чем для никеля, но и гораздо выше той, которая требуется для железа и стали: она приближается к температуре расплавленной меди. Температура для железа — умеренное красное каление, а для никеля — только температура кипящего

¹ *Philosophical Magazine*, июль 1845.

² 1836, VIII, стр. 177 и 1839, XIV, стр. 161; или Экспер. исслед., т. II, стр. 305, 312.

масла. При повышении температуры магнитные свойства кобальта сохраняются, по-видимости, не уменьшаясь, до некоторой определенной температуры, а затем внезапно исчезают; точно так же они внезапно появляются при переходе от еще более высоких температур к низким.

Окись кобальта, полученная путем сжигания металлического кобальта на древесном угле в струе кислорода, имела вид сплавленного шарика и была не магнитна.

* Окись никеля, будучи нагрета, а потом охлаждена, не магнитна, но нужно следить за тем, чтобы во время нагревания она не восстановилась. Если нагревать ее в пламени спиртовой лампы, особенно в нижней его части, она нередко представляется не магнитной, а затем при падении температуры становится магнитной. Но причиною этого оказывается восстановление некоторого малого количества окиси — на краях или в другой части массы — до металлического состояния, и тогда металл проявляет свои свойства при температурах выше и ниже магнитной точки.

М а р г а н е ц. Я имел в распоряжении кусок марганца, изготовленный м-ром Томпсоном и считавшийся чистым. Он содержал следы железа; он был весьма слабо магнитен, возможно, только вследствие присутствия малого количества железа. В струе кислорода на древесном угле он горел, давая искры, наподобие железа, и образовал окись, которая получалась или в виде пористой белой массы, или в виде плотной, компактной коричневой массы, просвечивающей в тонких слоях, но ни в одном из этих состояний окись не была магнитна.

Затем я охлаждал ¹ марганец, хром и многие другие металлы и вещества до самой низкой температуры, какую я мог получить посредством смеси эфира и твердой углекислоты, помещенных в пустоте; ² температура не превышала 156° Ф ниже 0°.

¹ Philosophical Magazine, 1839, т. XIV, стр. 162; или Эксперим. иссл., т II, стр. 312.

² Philosophical Transactions, 1845, стр. 157—158.

но ни одно из этих веществ не обнаружило магнитного состояния. Даю их перечень:

Платина.	Зеркальный металл.
Золото.	Графит.
Серебро.	Ретортный уголь.
Палладий.	Аурипигмент.
Медь.	Реальгар.
Олово.	Сернистая сурьма.
Свинец.	Сернистый висмут.
Кадмий.	Сернистая медь.
Цинк.	Сернистое железо.
Родий.	Сернистый свинец.
Марганец.	Сернистое серебро.
Хром.	Сернистое олово.
Титан.	Карбонат железа (природный).
Иридий и осмий.	Берлинская лазурь.
Сурьма.	Кристаллический сульфат железа.
Мышьяк.	Каломель.
Висмут.	Хлорид серебра.
Легкоплавкий металл.	Окись висмута.
Хлорид свинца.	Окись олова (природная).
Протоксид мышьяка.	Окись марганца (природная).
Протоксид сурьмы.	
Протоксид свинца.	

Отсюда, по-видимому, следует, что среди металлов только железо, никель и кобальт магнитны или могут быть сделаны магнитными, подобно железу; но тот факт, что для уничтожения в них этого свойства требуется примесь кобальта или, еще лучше, высокая температура, увеличивает вероятность¹ того, что все металлы в этом отношении составляют одну общую группу. Упомянутые три металла отличаются только темпе-

¹ Philosophical Magazine, 1836, VIII, стр. 177; или Экспер. исслед., т. II, стр. 305.

ратурой от других металлов, подобно тому, как разница температуры отличает их в этом отношении друг от друга.

В связи с этим действием тепла следует указать (а, может быть, это уже было указано) на следующее. Если предположить высокую температуру во внутренности Земного шара, то очевидно, что на весьма малых, в сравнении с диаметром Земли, расстояниях от ее поверхности, вещества, из которых состоит Земля, лишаются тех магнитных свойств, какими обладает магнит. На расстояниях же еще больших ни одно из них не может сохранить даже той способности становиться магнитным под влиянием индукции — способности, какую имеет мягкое железо. В таком случае, если даже считать, что Земля сама по себе магнитна, подобно естественному магниту, или намагничена под влиянием индукции со стороны внешних магнитных масс, как например Солнца, и в том и в другом случаях магнитная сила может развиваться лишь в земной коре. Если предположим вместе с Ампером, что магнетизм Земли обусловлен электрическими токами, окружающими ее параллельно экватору, то, конечно, приведенные выше соображения относительно воздействия тепла оказываются не идущими к делу.

Королевский институт.

7 июня 1846 г.

МЫСЛИ О ЛУЧЕВЫХ КОЛЕБАНИЯХ¹

Ричарду Филлипсу, эсквайру

Дорогой сэр, по Вашей просьбе я попытаюсь дать Вам изложение того, что я решился высказать на закрытии последнего собрания в пятницу вечером в связи с отзывом, данным мною об электромагнитном хромоскопе Уитстона. Но прошу помнить, что и с начала и до конца привожу здесь, как материал для размышления, только некоторые смутные представления, возникшие в моем мозгу. Здесь нет ничего, что я рассматривал бы

¹ Philosophical Magazine, 3. XXVIII, № 188, май 1846.

как результат зрелого рассуждения или сложившегося убеждения или даже правдоподобного заключения, к которому я мог прийти.

Вопрос, который я имел в виду предложить вниманию слушателей, заключается в следующем: не представляется ли возможным, чтобы те колебания, которыми, согласно одной из теорий, объясняются излучение и его явления, происходили в силовых линиях, связывающих друг с другом частицы, а, стало быть, и материальные массы? Если допустить такую возможность, то можно было бы обойтись без эфира, который, согласно другой точке зрения, является той средой, в которой совершаются эти колебания.

Вам известны рассуждения,¹ высказанные мною некоторое время назад, по вопросу о природе материи и о том взгляде на нее, согласно которому ее последние атомы суть центры силы, а не какие-то тельца, вокруг которых циркулируют силы, причем тела теоретически считаются независимыми от сил и способными существовать без них. С последней точки зрения, эти частички имеют определенную форму и некоторые ограниченные размеры; с первой точки зрения это не так, ибо то, что представляет собою размеры, можно считать распространенным на любое расстояние, на которое распространяются силовые линии частицы. В этом случае необходимо предполагается, что частица существует только через эти силы и находится там, где находятся они. Рассматривая материю с этой точки зрения, я и пришел постепенно к предположению, что, может быть, силовые линии являются местом, где происходят колебания при явлениях излучения.

Другое соображение, также говорящее в пользу предположения о связи между материей и излучением, возникает при сравнении скоростей, с которыми распространяются действие излучения и некоторые действия материи. Скорость света

¹ Philosophical Magazine, 1844, т. XXIV, стр. 136; или Эксперимент., т. II, стр. 392.

в пустоте — около 190 000 миль в секунду; опыты Уитстона доказывают, что скорость электричества — та же, если не больше; предполагается, что свет передается вибрациями в эфире, который, можно сказать, не подвержен тяготению, но обладает бесконечной упругостью; электричество передается через небольшую металлическую проволоку, а часто полагают, что оно также распространяется посредством колебаний. Вряд ли можно сомневаться в том, что передача электричества обусловлена силами или действиями материи проводника; это ясно, если мы примем во внимание различную проводимость различных металлических и иных тел, способ действия на нее тепла и холода, то, каким образом проводящие тела путем химического соединения входят в непроводящие тела, и обратно; и факт существования одного элементарного тела углерода как в проводящем, так и в непроводящем состоянии. Способность электрической проводимости (т. е. передачи силы, скорость которой равна скорости света), по-видимому, связана со свойствами материи и обусловлена ими и как бы в них заключена.

Я полагаю, что мы можем сравнивать друг с другом вещество эфира и обыкновенную материю (как например медь проволоки, по которой проводится электричество) и считать их одинаковыми по основному строению. А именно, и тот, и другая состоят или из малых ядер, рассматриваемых в отвлечении, как собственно материя, и из сил, связанных с этими ядрами; или же оба они состоят из одних только центров силы, согласно теории Босковича и той точке зрения, которую я развивал в упомянутом рассуждении. Нет основания предполагать, чтобы ядра были в одном случае более необходимы, чем в другом. Правда, что медь подвержена тяготению, а эфир — нет и что поэтому медь весома, а эфир — нет; но это не доказывает присутствия ядер в меди в большей мере, чем в эфире. В самом деле, на всех действий материи тяготение является таким, при котором сила распространяется на наибольшее возможное расстояние от предполагаемого ядра; оно бесконечно

в сравнении с размерами ядра и сводит это ядро к простому центру силы. Малейший атом вещества на Земле действует непосредственно на малейший атом вещества на Солнце, хотя они разделены расстоянием в 95 000 000 миль; далее, атомы, которые, как мы знаем, находятся на расстояниях по крайней мере в девятнадцать раз больших, а в кометных массах и еще гораздо дальше друг от друга, точно так же связаны между собою силовыми линиями, исходящими из них обоих и принадлежащих каждому из них. Что в свойствах частиц предполагаемого эфира есть такого, что могло бы сравниться с этим по тонкости и протяженности — если даже между нами и Солнцем имеется только *одна* такая частица?

Пусть нас не вводит в заблуждение *весомость* и *тяготение* тяжелой материи, как будто именно они служили доказательством существования надуманных ядер; они обусловлены не ядрами, а силами, которые связаны с ядрами, если ядра вообще существуют. И если частицы *эфира* лишены этих сил, как это имеет место согласно предположению, то они в некотором отвлеченном смысле более материальны, чем частицы, из которых состоит наш земной шар; ибо материя, согласно предположению, состоит из ядер и из силы, и в этом смысле в частицах эфира относительно больше ядра и меньше силы.

С другой стороны, бесконечно большая упругость, которая приписывается частицам эфира, является столь же характерной и реальной силой, свойственной эфиру, как тяготение, свойственное весомым частицам, и производит в своем роде столь же сильные действия; доказательством этому служат все разновидности лучистой энергии, которые обнаруживаются в форме световых, тепловых и актинических явлений.

Может быть, я заблуждаюсь, но думаю, что самое общее понятие об эфире сводится к тому, что входящие в его состав ядра почти бесконечно малы, а свойственная ему сила, т. е. упругость, почти бесконечно велика. Но если согласиться с этим представлением, то что же остается в эфире, кроме силы и центра силы? Поскольку тяготение и твердость ему не

присущи, многие могут допустить такое заключение; но что такое тяготение и твердость? Безусловно, не вес и не соприкосновение воображаемых ядер. Одно является следствием *притягательной* силы, которая может действовать на самых больших расстояниях, какие только может себе представить и определить человеческий ум; а другое является следствием *отталкивательной* силы, которая рав навсегда препятствует контакту или соприкосновению каких-либо двух ядер. Таким образом, если кто-либо рассматривает эфир, как нечто, состоящее из одной только силы, то эти действия или свойства ни в какой мере не должны служить для него причиной рассматривать весомую материю как-либо иначе, кроме того, что с нею связано больше сил, чем с эфиром, и они иные, чем для эфира.

В экспериментальной науке мы, на основании наблюдаемых явлений, можем ознакомиться с различного вида силовыми линиями; так, мы имеем линии силы тяготения, линии электростатической индукции, линии магнитного действия; может быть, сюда же следует отнести и другие линии, имеющие динамический характер. Многие считают, что линии магнитного и электрического действия проходят через пустоту, как силовые линии тяготения. Лично я склонен думать, что при наличии промежуточных частиц материи (которые сами являются только центрами силы) они принимают участие в передаче силы вдоль линии, но если таких частиц нет, линия проходит через пустоту.¹ Какой бы точки зрения на силовые линии ни держаться, мы во всяком случае можем действовать на них некоторым способом, который мы можем представить себе, как имеющий характер сотрясения или бокового колебания. В самом деле, вообразим себе, что два тела *A* и *B* находятся на некотором расстоянии друг от друга и взаимодействуют друг с другом, а следовательно, связаны силовыми линиями; обратим внимание на какую-нибудь одну результирующую силы,

¹ Экспериментальные исследования по электричеству, ч. 1161, 1613, 1663, 1710, 1729, 1735, 2443.

имеющую неизменное направление по отношению к пространству. Если одно из тел хоть в самой малой степени сдвинется вправо или влево или, если его сила переместится на мгновение внутри массы (а это легко себе представить, если A и B — электрические или магнитные тела), то в результирующей силе, на которой мы сосредоточили свое внимание, произойдет изменение, эквивалентное боковому возмущению. Действительно, ее интенсивность должна или возрасти, если интенсивность соседних результирующих уменьшится, или уменьшится, если последняя увеличится.

Могут спросить, какие силы в природе способны произвести такое действие и заменить эфир в теории колебания? Я не претендую на то, чтобы ответить на этот вопрос с уверенностью; все, что я могу сказать, это — что я не могу представить себе ни в каком месте пространства, будь оно (говоря общепринятым языком) пусто или заполнено материей, ничего иного, кроме сил и линий, по которым они действуют. Линии веса или силы тяготения, конечно, достаточно протяженны, чтобы удовлетворить всем требованиям, какие к ним предъявляют явления залучения; таковы же, вероятно, и линии магнитной силы; а затем, кто может забыть про Моссотти, который показал, что тяготение, сцепление, электрическая сила и электрохимическое действие могут иметь взаимную связь или одно и то же происхождение и, таким образом, в своих действиях на расстоянии могут иметь то общее, что могут распространяться на бесконечно-большие протяжения, свойство, которым, как известно, обладают некоторые из этих действий?

Точка зрения, которую я имею смелость предложить, рассматривает таким образом излучение, как колебания высокого порядка в силовых линиях, которые, как известно, соединяют друг с другом частицы и тем самым материальные массы. Эта точка зрения стремится устранить эфир, но не колебания. Тот род колебаний, который, как я полагаю, единственно может объяснить чудесные, разнообразные и прекрасные явления поляризации, не тот, что проявляется на поверхности возмущенной воды

или в звуковых волнах в газах или жидкостях, ибо в последних случаях колебания бывают прямыми, т. е. по направлению к центру действия или от него, тогда как первые имеют направление вбок. Мне представляется, что равнодействующая двух или более силовых линий находится в благоприятном состоянии для этого движения, которое можно рассматривать как эквивалентное колебанию вбок, тогда как однородная среда, как эфир, вряд ли находится в состоянии благоприятном или по крайней мере более благоприятном, чем воздух или вода.

Возникновение изменения на одном конце силовой линии легко влечет за собою изменение и на другом. Распространение света, и потому, вероятно, всякого лучистого действия, требует времени; и чтобы колебание силовой линии могло объяснить явления излучения, такое колебание также необходимо должно занимать известное время. Я не знаю, существуют ли такие данные, которыми было бы установлено или было бы возможно установить, что такая сила, как тяготение, действует, не требуя для этого времени. Я не знаю также, будет ли, если линии сил уже существуют, боковое возмущение на одном их конце, о котором я говорил выше, требовать известного времени, чтобы проявиться на другом конце, или это произойдет мгновенно.

Что касается того свойства силовых линий, которое соответствует предполагаемой высокой упругости эфира, то оно, по-видимому, найдется в нужной мере. Здесь вопрос возникнет скорее о том, будут ли линии в своем действии достаточно инертны, чтобы они могли быть эквивалентны эфиру в смысле того времени, которое, согласно опыту, требуется для передачи лучистой силы.

Предполагается, что эфир проникает все тела так же, как и пустоту; согласно излагаемой здесь точке зрения, наполняющими (и образующими) все тела, а также проникающими пустоту, являются силы атомных центров. В отношении пустоты различие заключается здесь в том, что эфир представляет последовательные участки или центры действия, а настоящее предполо-

жение требует только линий действия. В отношении материи различие состоит в том, что эфир находится между частицами и таким образом передает колебания; в настоящем же предположении колебания передаются силовыми линиями, соединяющими центры частиц. Что касается, наконец, различия в интенсивности действия внутри материи при этих двух точках зрения, то, мне кажется, здесь трудно сказать что-нибудь определенное. В самом деле, возьмем простейшее состояние обыкновенной материи, притом состояние, когда она оказывается наиболее близкой к состоянию эфира, а именно, состояние разреженного газа, как скоро оказывается, что мы обнаруживаем в ее упругости и взаимном отталкивании ее частиц отклонение от закона, что действие обратно пропорционально квадрату расстояния!

На этом, мой дорогой Филлипс, приходится кончать. Я думаю, я не позволил бы себе дать волю этим мыслям, если бы меня на это не толкнули, притом без всякой предварительной подготовки, обстоятельства того вечера, когда мне пришлось выступить неожиданно в замену другого. Теперь, когда я изложил их на бумаге, я чувствую, что мне следовало бы держать их еще подольше при себе, чтобы еще изучить их, обдумать и, может быть, в конце концов, их отвергнуть; и лишь потому, что, будучи высказаны в тот вечер, они неизбежно, тем или иным путем, получают огласку, я решаюсь облечь их в известную форму, если это можно назвать формой, в своем ответе на Ваш вопрос. Одно несомненно, это то, что всякая гипотетическая точка зрения на излучение, которая имеет шансы быть принятой и удержаться, как удовлетворительная, не должна заниматься только некоторыми световыми явлениями, а должна обнимать также явления тепла и актинических действий и даже производимые ими при этом явления осязаемого тепла и химического действия. В этом отношении точка зрения, которая до известной степени кладет в основу обычные силы, присущие материи, может быть, встретит некоторое внимание наравне с другими, которые могут возникнуть. Я считаю весьма вероятным, что

сделал на предыдущих страницах много ошибок, ибо даже мне самому мои представления по этому вопросу кажутся лишь как бы тенью настоящего умозрения или одним из тех мимолетных впечатлений духа, которые могут иметь свою временную ценность как руководящая нить для нашей мысли и исканий. Те, кто работает в области экспериментального исследования, знают, как многочисленны эти впечатления и как часто их кажущаяся пригодность и красота исчезают по мере того, как идет вперед и развивается познание настоящей естественнонаучной истины.

Остаюсь, мой дорогой Филлипс,
всегда преданный Вам
М. Фарадей

*Королевский институт.
15 апреля 1846 г.*

О ВЛИЯНИИ МАГНЕТИЗМА НА СВЕТ И О РАЗЛИЧИИ МЕЖДУ ФЕРРОМАГНИТНЫМ И ДИАМАГНИТНЫМ СОСТОЯНИЯМИ МАТЕРИИ ¹

Когда луч поляризованного света и линии магнитной силы проходят одновременно и параллельно друг другу через прозрачную твердую или жидкую среду, не обладающую способностью двойного преломления, то луч вращается, следуя простому закону действия, формулированному мною в последней части *Philosophical Transactions* ² (2160, 2161). Когда такой луч проходит через некоторые образцы горного хрусталя, терпентинного масла и т. п., он также вращается, согласно общеизвестному естественному закону, причем магнитная сила не играет здесь никакой роли. Между этими двумя случаями вращения существует весьма резкое различие, хотя на первый взгляд они кажутся одинаковыми; ибо первое вращение зави-

¹ *Phil. Mag.*, сент. и окт., 1846.

² 1846, ч. 1, стр. 4, 5 (*Phil. Mag.*, XXVIII, стр. 298, 299).

сит, в отношении своего направления, от линий магнитной силы и не зависит от положения наблюдателя или от направления пути, по которому идет световой луч, тогда как второе зависит от положения наблюдателя или от направления пути луча.

Обдумывая этот вопрос, я пришел к мысли, что можно воспользоваться особенностью магнитного вращения для того, чтобы повысить общее действие магнитной силы на луч, а также показать некоторые существенные пункты более осязательно и в более сильной степени, чем это было возможно до сих пор; и когда эта мысль была подвергнута опытной проверке, она оказалась правильной. Нижеследующие страницы содержат некоторые ее результаты.

Параллелепипед из тяжелого стекла, имеющий квадратное сечение со стороной в 0.7 дюйма и 2.5 дюйма в длину, был отполирован и посеребрен на обоих концах. Затем серебро было удалено с полоски около 0.1 дюйма шириною вдоль одного из краев на одном конце, а также с соответствующей полоски на другом конце, но так, что части, с которых было снято серебро, находились на противоположных сторонах параллелепипеда. Таким образом, на каждом конце имелось хорошее плоское зеркало, но они находились не в точности друг против друга (рис. 1). Вследствие такого устройства, световой луч мог проходить по диагонали вдоль стеклянного параллелепипеда; или же луч, войдя с одного конца, мог отразиться внутри стекла два и более раза и лишь после этого выйти наружу.

Подобное же тело из тяжелого стекла было посеребрено на двух концах и на одной стороне призмы; а затем серебро было удалено на концах с полоски в 0.1 дюйма у тех краев, которые отстояли дальше всего от посеребренной стороны (рис. 2). Луч света, который входил через непосеребренную часть на одном конце и падал под некоторым косым углом, мог отразиться на другом конце, затем на (верхней) стороне и опять на первом конце; таким образом он проходил три раза через стекло и окончательно выходил через второй конец. При других накло-

нах луч мог пройти в стекле пять, семь, девять, одиннадцать или более раз, прежде чѣмъ продолжить свой путь в воздухе и достигнуть глаза наблюдателя.

С каждой из этих стеклянных призм можно было получить жвлательный результат — ряд отражений внутри стекла, но первая форма оказалась более удобной в употреблении. При пользовании сильным светом было не трудно проследить ряд изображений, получаемых посредством последовательных отражений аплоть до девятого или десятого, которые, очевидно, соответствуют прохождению луча семнадцать или девятнадцать

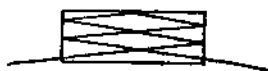


Рис. 1.

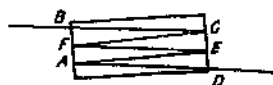


Рис. 2.

раз через вещество стекла. Легкого изменения положения посеребренного стекла между двумя призмами Николя, служившими в качестве поляризующего и анализирующего прибора, было достаточно, чтобы глазу стало видно любое из этих изображений. Стекло находилось в то же время под полным действием электромагнита или катушки, при помощи которой получались линии магнитной силы. Еще выгоднее сделать концы стеклянного куска не вполне параллельными друг другу, причем стороны, прилегающие к тем концам, где луч входит и выходит, чуть-чуть отличаются друг от друга по длине. При таком устройстве ряд отраженных изображений расходится, если смотреть с одного конца, и сближается, если смотреть с другого, чем значительно облегчается наблюдение некоторого определенного изображения или одновременное сравнение двух или более изображений.

Рассмотрим поближе действие такого устройства; очевидно, что, если $ABCD$ представляет сосуд с раствором сахара или другого вещества, которое обладает обычным вращающим действием на поляризованный луч, то луч, направленный в D и

выходящий из A , повернется на известный угол. Но если он не выйдет наружу в A , а отразится поверхностью AF в точку E , и мы будем наблюдать его там, то окажется, что он не претерпел никакого вращения, ибо действие, оказанное на него при переходе из D к A , в точности компенсировалось бы при его возвращении из A в E . Если отражений будет больше и они повторятся еще у E , F и C , так что луч пройдет через тело пять раз, все же в конце концов получится только такое вращение, которое могло быть вызвано лишь однократным его прохождением через вещество.

Это будет, однако, не так, если $ABCD$ будет диамагнетиком, вращающим луч действием магнитной силы; ибо в этом случае, в каком бы направлении луч ни проходил, все равно он будет повернут в одну и ту же сторону относительно силовых линий. Так, если мы будем наблюдать его при выходе из A , он обнаружит угол поворота (который мы можем назвать правым), равный тому, который получается при одном прохождении через диамагнетик; если наблюдать его в E , он обнаружит левое вращение на угол, по величине вдвое больший, чем угол поворота в первом случае, который мы можем принять за единицу; если наблюдать его в F , получится правое вращение, втрое большее первоначального; если наблюдать в C — левое вращение, вчетверо большее первоначального; наконец, в B — правое вращение, в пять раз большее, чем начальное.

Это подтвердилось результатами опыта. Для опытов служил большой магнит, описанный в *Philosophical Transactions*¹ (2247), и стеклянный параллелепипед (рис. 2) был подвергнут его действию; прямой луч, т. е. тот, который дал первое изображение светящегося предмета, получил правое вращение на 12° . Когда стекло было немного сдвинуто, появилось второе изображение, т. е. то, которое получилось от луча, прошедшего сквозь стекло три раза, и его вращение было равно 36° . Затем наблюдалось третье изображение, и вращение луча, ко-

¹ 1846, стр. 22; *Phil. Mag.*, т. XXVIII, стр. 398.

торый дал это изображение, составило 60° , с той точностью, с какой мой грубый прибор мог измерять угловые величины. Те же основные результаты были получены при помощи второго описанного выше прибора.

Опыт доказывает с поразительной ясностью, что, в каком бы направлении луч света ни проходил через расположенную на его пути среду, направление его вращения зависит существенным образом и исключительно от направления линий магнитной силы.

Он также доказывает и выявляет безошибочным образом различие в этом отношении между магнитным вращением луча и вращением, вызываемым кварцем, сахаром, терпентинным маслом и другими такими телами.

На основании отдельных или одновременных наблюдений над различными изображениями, этот опыт показывает также, что действие пропорционально длине луча, подвергнутого влиянию магнита (2163); ибо здесь мы можем наблюдать сразу и длину, равную единице, и кратные этой длине, причем интенсивность магнитной силы и другие условия остаются неизменными.

Это позволяет достичь значительно большей степени точности в измерении величины вращения данного луча или в оценке сравнительной величины вращения для различных цветных лучей.

Форма самого устройства позволяет использовать для опыта короткий брусок из данного диамагнетика (напр. кристалла и т. п.), который был бы недостаточен, если бы луч проходил через него только один раз.

Она дает возможность, если мы пользуемся магнитом, сосредоточить магнитную силу путем сближения полюсов, вследствие чего его действие усиливается; возможность сделать слабый магнит эквивалентным сильному, так что сейчас можно пользоваться с успехом даже хорошими обыкновенными магнитами. А если пользоваться катушкой, теперь можно брать катушку, гораздо более короткую и слабую, чем прежде.

Убедившись в больших преимуществах, какие представляет прибор в этом виде для изучения многих веществ, с которыми не получалось ощутительных результатов при помощи метода, описанного мною ранее, я занялся с его помощью опытами, над воздухом и некоторыми телами, обладающими двойным преломлением (2237). С этой целью я превратил концы магнитных полюсов в зеркала, наложив на каждый из них полированную стальную пластинку; и так как полюсы были подвижные, их отражающие поверхности можно было поместить на любых расстояниях и в любом нужном положении, располагая между ними вещество, подвергаемое опыту.

Воздух. Я не мог обнаружить ни следа действия на луч, когда между магнитными полюсами находился воздух, даже в четвертом, пятом и шестом изображении.

Горный хрусталь. Исследованию были подвергнуты кубики из этого вещества, описанные выше (2178); но при прохождении через них светового луча я не мог обнаружить ни следа действия на него, хотя сторона кубиков составляла 0.75 дюйма, и луч наблюдался после того, как проходил через них семь и даже девять раз. Кубики были исследованы во всех направлениях.

Исландский шпат. Кубик из этого вещества (2179) был исследован таким же образом, но я не получил никакого действия.

Тяжелое стекло дало ожидаемые явления сразу, притом они были хорошо выражены.

Когда при этих опытах мне не удалось получить положительного результата ни с воздухом, ни с кристаллами, обладающими двойным преломлением, я посеребрил последние так же, как это было сделано для тяжелого стекла, чтобы как можно больше сблизить магнитные полюсы; и все же не удалось никакого явственного действия магнита на луч.

Естественная шестигранная призма из горного хрусталя в 2.3 дюйма длиною была отполирована и посеребрена на концах. С этим кристаллом ни для первого, ни для второго,

ни для третьего изображения не было обнаружено никакого влияния магнетизма на свет.

Г-н Э. Беккерель полагает, что ему удалось наблюдать некоторые действия в кристаллических телах с двойным преломлением; возможно, что его прибор значительно чувствительнее моего для наблюдений оптических изменений. В этом случае, если соединить его с методом, основанным на повторных отражениях луча; он мог бы дать весьма определенные результаты. Но ваятый отдельно последний метод пока ни в какой мере не обнаружил искомого действия.

Некоторые признаки заставили меня с интересом искать известных явлений при пересечении отраженных лучей в установке зеркал и стекла, указанной на рис. 1; но я не мог обнаружить никакой разницы в действии между этой установкой и другой, изображенной на рис. 2, где такого пересечения не происходит.

В конце истекшего года я направил Королевскому обществу две статьи о магнитных свойствах всякой материи¹ (2243, 2343), в которых, как я полагаю, я доказал существование магнитного действия, неизвестного в нашей науке. Это действие по своей природе противоположно магнетизму, который обнаруживается в железе, во всех его видах и состояниях, все равно, каков будет этот магнетизм: сильный или слабый; оно противоположно тому магнетизму, который железо могло бы возбудить в какой бы то ни было мере или при каких бы то ни было обстоятельствах. Далее я доказал, что все тела; магнетизмам которых не таков, как у железа, магнитны на этот новый лад; и что как *притяжение* магнитом характеризует магнитные свойства железа, как бы ни было мало его количество и каково бы ни было его состояние, так *отталкивание* является отличительной характеристикой всех тех тел, которые по при-

¹ Philosophical Transactions, 1846, стр. 21, и в Phil. Mag., XXVIII, 1846.

редѣ способны приходиться в это новое состояние и развивать эту силу нового вида.

Г-н Беккерель послал в Академию наук заметку,¹ в которой сообщает некоторые свои результаты, значительно более ранние, чем мои; они объясняются обычным магнитным действием, но в его опытах вещества располагались *поперек* магнитной оси. Мне не надо цитировать ее полностью, но привожу следующие заключительные слова: «Из этих фактов следует, что магнитные действия, возбуждаемые в стали или в мягком железе влиянием магнита, отличаются от действий, которые имеют место во всех (прочих) телах, в следующем: во-первых тем, что распределение магнетизма происходит всегда в продольном направлении, тогда как в трехокиси железа, дереве, гуммилаке и т. д. оно происходит обычно в поперечном направлении, особенно если им придана форма стрелок. Это различие действия зависит от того обстоятельства, что магнетизм в этих телах весьма слаб, а потому мы можем пренебречь реакцией частиц тел друг на друга». Эти слова и время их опубликования (январь 1846) достаточно ясно показывают, что г-н Беккерель не допускает нового вида или новых свойств магнитного действия, которые, как мне кажется, я ранее доказал.

Г-н Э. Беккерель, в своем сообщении Академии в июне 1846,² подтверждая то действие на свет, которое было указано мною, затрагивает вопрос о магнитном действии на любые тела; но здесь, т. е. значительно позже, он держится того же мнения, что и его отец. Мне достаточно привести здесь из разных мест лишь несколько строк, чтобы пояснить его образ мыслей. Упомянув о результатах Кулона, а также о результатах своего отца, полученных в 1827 г., он говорит: «Эти опыты производились приблизительно уже двадцать лет назад, и все же г-н Фарадей говорит, как о чем-то новом, о явлении установки тел в поперечном направлении, относит тела, кото-

¹ Comptes Rendus, 1846, стр. 147.

² Там же. 1846, стр. 595.

рые устанавливаются таким образом, к особому классу и называет их диамагнитными. . . Я спрашиваю, каким образом при этих обстоятельствах можно заходить столь далеко в стремлении к классификации, когда можно придать одному и тому же веществу любое положение — продольное, поперечное или под углом. В самом деле, поставим два конца двух сильных магнитов друг против друга, на расстоянии 0.08 или 0.12 дюймов, и на расстоянии около 0.04 от их поверхности подвесим на шелковой коконной нити деревянную или медную стрелочку, примерно 0.04 в диаметре и 1.9 или 2.3 дюйма длиною; она установится в поперечном направлении. Если разрезать стрелку пополам и затем опять разделить и т. д., то, наконец, мы получим обломок, который установится по линии полюсов. Это лишь результат равнодействующих сил; ибо одному и тому же веществу мы можем придать различные положения в зависимости от их формы, изменяя расстояние между полюсами». Затем, упомянув о небольшом количестве железа, найденном им в некоторых образцах, и о своем более раннем утверждении, что эти вещества вели себя как смеси безразличной материи и магнитных частиц, или как железистые смеси, он говорит: «все эти заключения справедливы и по сей день во всей их общности».

Эти заключения принадлежат двум глубоким ученым, которые со всех точек зрения компетентны судить о любом вопросе, касающемся такого предмета, как магнетизм, а потому они вызвали во мне тревогу — и по двум основаниям. Во-первых, я подумал, не ошибался ли я на самом деле, предполагая, что открыл широкий и всеобъемлющий закон магнитного действия; а, во-вторых, если я был в этом отношении прав, то, очевидно, меня постигла жалкая неудача при изложении моих результатов, раз они не произвели должного впечатления на людей, могущих в такой мере и усвоить и понять их. Поэтому я, в своих собственных интересах, занялся подробнее этим вопросом; правда, и почти равнодушен к судьбе разных умозрительных или гипотетических взглядов, которые мне случается выска-

зять, но мне далеко не безразлично, когда дело идет о правильности моих утверждений в отношении вновь открытого мною закона действия или нового факта. Поэтому я тщательно исследовал на опыте один или два случая поперечного положения, занимаемого некоторыми магнитными телами, как например железо, и даю ниже общие результаты.

Я изготовил некоторое количество хорошей однородной перекиси железа, поскольку это одно из тех веществ, с которыми производил опыты г-н Беккерель (ст.), и равномерно наполнил ею тонкую стеклянную трубку диаметром в 0.25 дюйма и длиной в 1.4 дюйма; затем она была подвешена на длинном шелковом коконовом волокне так, что ее можно было привести в любое положение относительно одного из полюсов сильного электромагнита. Последний мог принимать различные формы, для чего к его концам можно было прикладывать куски железа. Поскольку перекись железа может случайно принимать и удерживать слабое магнитное состояние, экспериментатор должен иметь в виду эту возможность и остерегаться неправильных результатов, которые она может дать.

Полюс магнита имел сначала форму конуса, основание которого имело в диаметре 1.5 дюйма, а ось была направлена по горизонтальной линии. Цилиндр из перекиси железа был придвинут к конусу, причем центр его подвеса лежал на линии оси. Когда он был подвергнут влиянию магнита и помещен в положение, перпендикулярное к осевой линии, он сохранял это положение. Но это было положение неустойчивого равновесия; ибо если цилиндру придавалось направление под углом к осевой линии, по ту или другую ее сторону, то конец, ближайший к конусу, притягивался и потому направлялся к нему и в конце концов шел к нему и оставался в таком положении. Но если даже при этом он стоял в точности перпендикулярно осевой линии, т. е. был в положении неустойчивого равновесия или в каком-либо ином положении, центр тяжести цилиндра всегда притягивался; это легко можно было проверить при помощи электромагнита, прерывая и вновь замыкая возбуждающий ток.

Вполне противоположно этому ведут себя диамагнитные тела; я утверждаю, что если поставить в те же самые условия подобный же цилиндр из фосфора, висмута или тяжелого стекла, то поперечное положение будет положением *устойчивого* равновесия. Если цилиндр вывести из этого положения, то он, совершив ряд колебаний, вернется к нему; и в течение всего времени центр тяжести массы будет *отталкиваться*.

Затем я снабдил полюс магнита квадратным окончанием, причем сторона, обращенная к цилиндру перекисы, имела ширину в 1.75 дюйма и такую же высоту. Осевой линией служила линия, которая проходила горизонтально через середину лицевой стороны; она шла далее через центр тяжести цилиндра; в ту же точку приходился и центр его вращения. Когда цилиндр находился на расстоянии, меньшем 0.3 дюйма от обращенной к нему стороны полюса, он устанавливался параллельно ей и, значит, перпендикулярно осевой линии. Будучи выведен из этого положения, он вновь в него возвращался, так что это было положение устойчивого равновесия. На несколько больших расстояниях оно становилось положением неустойчивого равновесия. Можно было найти два положения устойчивого равновесия под одинаковым углом наклона по обе стороны поперечного положения, причем угол наклона все возрастал с увеличением расстояния. Как поперечные, так и наклонные положения легко было объяснить концентрацией линий магнитной силы на концах квадратного окончания магнита. Действия, зависящие от той же причины приподнялись уже выше (2298, 2299, 2384).¹

При всех положениях цилиндра с перекисыю перед магнитным полюсом перекисы, как масса, испытывала *притяжение*.

Затем мы взяли другое железное окончание; конец полюса, обращенный к цилиндру, был расширен в горизонтальном направлении до 2.5 дюйма. Все описанные выше явления повторились; но расстояние между концом полюса и трубкой с пере-

¹ Philosophical Transactions, 1846, стр. 32, 48.

кисью могло быть увеличено до одного дюйма или более, и только после этого трубка начинала принимать косвенное положение.

Третья оконечность представляла собою пластинку, имеющую 3.5 дюйма в горизонтальном протяжении: и здесь явления были в точности те же самые, но расстояние могло быть увеличено до 1.75 дюйма, прежде чем цилиндр перестал быть параллельным лицевой плоскости и начал принимать косвенные положения.

Теперь я хочу полнее объяснить это и другие явления, зависящие от формы, которую имеют концы полюса, и от концентрации линий магнитной силы, проходящих в воздухе, близ краев. Для этого я рассмотрю положения, которые занимал цилиндр с перекисью, когда центр его подвеса оставался на одном и том же расстоянии от конца полюса, но приводился в различные положения по одну или по другую сторону от осевой линии. Они изображены на рис. 3: последний ясно показывает, что, когда мы ставим цилиндр с перекисью по ту или другую сторону от осевой линии, он наклоняется к этой линии. Как именно и в какой степени это происходит, легко поймет всякий, кто отдаст себе отчет в концентрации магнитных сил у краев пластинки. То же имело место с взятым ранее окончанием в 2.5 дюйма. И тот и другой конец цилиндра с перекисью мог быть концом, ближайшим к лицевой плоскости полюса; но центр тяжести цилиндра во всех случаях *притягивался* магнитом.

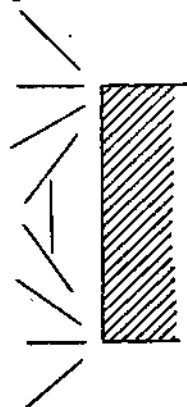


Рис. 3.

Далее, были взяты другие цилиндры из перекиси железа с различными диаметрами и длинами; и когда их длина была меньше, чем противолежащие стороны магнитных полюсов, результаты были в точности те же.

Бумажный цилиндр, магнитный вследствие присутствия в нем железа, дал те же самые результаты.

Мне пришло в голову, что на эти явления могло оказать значительное влияние раздробление перекиси, вследствие которого могли задержаться и прекратиться передачи магнитной индукции от одной частицы к другой, и это могло иметь гораздо большее значение, чем просто слабость магнитного действия. Я взял поэтому несколько веществ, еще более слабых в отношении магнитного действия, чем перекись, и придавал им форму цилиндров. Этими веществами были: раствор протосульфата железа, хлорид кобальта и хлорид никеля, которые были заключены в тонкие стеклянные трубки диаметром в 0.25 дюйма и длиной 1.4 дюйма. Когда эти вещества были подвешены перед полюсами, причем центры подвеса лежали на осевой линии, они вели себя не так, как перекись железа или бумага. Им, правда, можно было придать положение, параллельное лицевой плоскости полюса, но это было положение неустойчивого равновесия; стоило хоть в самой малой степени отклонить их из этого положения, конец, ближайший к магниту, продолжал к нему приближаться вплоть до соприкосновения, и затем все оставалось в этом положении. Действие было здесь в точности такое же, как и в случае куска железа, но значительно меньше по своей силе.

Насыщенный раствор протосульфата железа был разбавлен пятикратным объемом воды и однако обнаружил совершенно те же явления, что и более крепкий раствор. Между тем его магнитная сила была гораздо меньше, чем магнитная сила перекиси железа, как это с ясностью обнаруживалось величиной притяжения центра тяжести этих двух веществ. Когда опыт производился с перекисью, нить ее подвеса отклонялась вдвое или втрое дальше от нормали, чем когда был взят раствор.

Если заменить цилиндр из перекиси или магнитные растворы куском железа, он не останется параллельным концевой плоскости полюса; не бывает и того, чтобы он был направлен под углом к нему и его не касался. Один конец всегда устремляется к концевой плоскости полюса; и если он слишком коро-

ток и мы его нагрузкой или иным каким-нибудь образом препятствуем ему войти в соприкосновение с полюсом, то этот конец будет указывать на ближайшую к нему часть концевой плоскости полюса. В этом отношении железа подобно магнитному раствору, а не перекиси: как бы ни был слаб магнитный полюс, но если только в нем достаточно силы, чтобы вообще подействовать на железную проволоку, то он всегда произведет то же действие. Далее, если совершенно лишит железную проволоку магнетизма, например накаливая ее докрасна, то можно сделать любой из его концов ближайшим к концевой плоскости полюса.

Кусок гематита, тщательно вырезанный, только не железным инструментом, а агатом или как-нибудь иначе, принимал то же направление, как железо, хотя, конечно, и не с такой силой. Это значит, что он не принимал устойчивого положения ни параллельного концу магнита, ни наклонного, но без соприкосновения с ним; ибо тот или другой конец всегда устремлялся к металлу полюса и оставался с ним в контакте. Если гематит был размельчен и насыпан в маленькую трубочку, действие было то же, как и тогда, когда мы имели дело с целым куском.

Кусок трубки из бутылочного стекла, имевший магнитные свойства от железа, которое в ней содержалось, вел себя, как гематит, одинаково и цельным и размельченным и насыпанным в трубку из флинтгласа; он, таким образом, действовал иначе, чем перекись железа.

Чистая перекись марганца, по-видимому, занимала место между этими веществами и перекисью железа. Вообще говоря, конец, ближайший к концевой плоскости полюса, шел к ней и оставался там; но если один конец находился против края этой плоскости, а другой — примерно против середины, то, когда магнит был приведен в действие, второй конец, хотя и расположенный ближе, чем первый, отходил, а первый конец приближался и оставался в соприкосновении (с магнитом). Если второй конец был еще ближе, то он с самого начала приближался; и для трубки не существовало такого положения устой-

чивого равновесия, в котором она была бы параллельна или приблизительно параллельна площадке на конце полюса, и так, что при этом ни один ее конец его не касался.

Кусок толстой платиновой проволоки действовал так же, как гематит или как зеленое стекло, а не так, как перекись в опыте Беккереля. Губчатая платина, вдавленная в трубку, вела себя, как перекись марганца, обнаруживая подобно ей в некоторых положениях признаки действия, подобного действию перекиси железа.

Центр тяжести всех этих тел притягивался магнитом, против какой бы части концевой плоскости магнита они ни стояли. Ни в одном случае не наблюдалось ничего похожего на отталкивание.

Я не вижу решительно никакой трудности в объяснении всех этих различных положений обыкновенным действием магнита на вещество, обычно имеющее магнитные свойства, каково, например, железо. Все зависит от формы и размера полюсов и от того, в каком состоянии находится магнитное вещество: составляет оно один кусок или более или менее размельчено; ибо вещество, значительно более слабое в отношении магнитного действия, чем перекись железа, как например раствор никеля или разбавленный раствор железа или металлическая платина, действует не как перекись, а как металлическое железо. Все же во всех случаях наблюдаемые нами явления представляют собой *притяжения*; ибо не только притягивается центр тяжести всей массы, но части цилиндра из перекиси железа, как и из других магнитных веществ, принимают те положения, которые они необходимо должны принимать, когда находятся под влиянием равнодействующей притягательных сил. Это — как раз обратное тому, что имеет место для диамагнитных тел, ибо там центр тяжести всей массы *отталкивается*; и какова бы ни была форма, ее части принимают те положения, которые более всего соответствуют направлению и величине *отталкивательной* силы.

В этих случаях всякая неопределенность и сомнение могут быть устранены, если производить опыты с одним полюсом, все равно каким: коническим, клинообразным или круглым. Правда, если середина железной проволоки, имеющей два-три дюйма длины, будет стоять близ вершины конического или клинообразного полюса, то она установится под прямым углом к оси конуса или клена, причем будет здесь колебаться как коромысло весов; а если поместить таким же образом цилиндр из висмута, фосфора или тяжелого стекла, то он установится в том же направлении. Но ни один специалист по магнетизму, наблюдая указанные явления, никогда не даст себя ими запутать, ибо он увидит сразу, что железо, как целое, притягивается, а диамагнетик, как целое, отталкивается. И если для наблюдения вышеописанных явлений он возьмет шарики из железа, перекиси железа или раствор хлорида железа, с одной стороны, и из висмута или фосфора, меди или дерева — с другой, то он получит результаты в наиболее простом виде, и перед ним обнаружится основной факт: магнитные вещества будут притягиваться, диамагнитные — отталкиваться.

Я не знаю ни одного случая поперечного положения, который не относился бы к той или другой группе действий, рассмотренных выше, т. е. который не был бы результатом или магнитного, или диамагнитного действия. Даже в отношении явлений обыкновенного магнетизма в перекиси железа и других подобных телах, я не вижу причины соглашаться с утверждением г-на Беккереля, что магнетизм стремится распространиться в особенности в поперечном направлении. Мне кажется, что нарушение непрерывности массы в этих случаях, наряду с нелинейной магнитной силой в данном веществе, препятствуют передаче силы путем индукции или проводимости от частицы к частице в той же мере, как тогда, когда непрерывность не нарушена; а именно, при этом возникают последовательные полюсы в коротких расстояниях друг от друга и в различных направлениях; в этом лежит и причина того, почему раствор железа или никеля или металлическая платина ведут себя не

так, как перекись железа, хотя их магнитное действие и слабее, а действуют, как металлическое железо.

Если бы не замечательные свойства пустого пространства, а вместе с тем и разреженных форм материи, воздуха, газов и паров, о которых я особо упоминал в Экспериментальных исследованиях (2432 и т. д.), между прочим, именно по этой причине, то можно было бы усомниться в том, не является ли действие на тела, которые я назвал диамагнитными, в точности таким же, как и на магнитные. Тогда и результат как отталкивания, так и притяжения, был бы следствием только различия в силе действия между рассматриваемым телом и окружающей его средой (2438 и т. д.). Но я не могу смотреть на пустоту иначе, чем как на нулевую точку по отношению к явлениям притяжения и отталкивания; и так как магнитные тела притягиваются магнитом, а диамагнитные — отталкиваются (2406, 2436), будучи окружены пустотой и по отношению к ней, то я полагаю, что эти два состояния представляют две взаимно противоположные формы магнитной силы. Это — точка зрения, которую я проводил в моих первоначальных работах, и, не взирая на мое весьма большое уважение к мнению г. г. Беккерелей, факты все же поддерживают меня в убеждении, что она правильна.¹

¹ Позволяю себе сослаться в этой заметке на аналогичное положение в науке о статическом электричестве. У меня часто требовали доказательства существования абсолютной естественной нулевой точки между положительным и отрицательным электричеством; мне указывали на взгляды г. Пельтье, что Земля является отрицательной по отношению к окружающему пространству, которое в свою очередь положительно, и утверждали, что если все части некоторой площади ее поверхности одинаково отрицательны, то мы, находясь на этой поверхности, не можем сказать, что она не находится в нулевом состоянии. Но это не так. Поверхность, действительно отрицательная, может казаться положительной по сравнению с другой, еще более отрицательной; или отрицательная поверхность может казаться в нулевом состоянии по отношению к двум другим, из которых одна более отрицательна, а другая — менее отрицательна или даже положительна. Но если отнести их к правильному эталону, их действи-

Когда тяжелое стекло подвергается действию сильного электромагнита, максимальное вращение луча получается не сразу, а требует некоторого промежутка времени (Экспериментальные исследования, 2170); я приписал это постепенному возрастанию силы магнита и соответственному возрастанию его действия на стекло. Г-н Э. Беккерель не согласен со мною в этом объяснении и, со своей стороны, полагает причину этого явления в том, что сами частицы диамагнетика требуют известного времени, чтобы прийти в новое состояние. Что они требуют времени, это, по-моему, весьма вероятно. Я не знаю такого состояния, для достижения которого не требовалось бы времени. Но в случае диамагнитных тел это время должно быть чрезвычайно мало; и, мне кажется, уже два соображения указывают на то, что описываемые мною явления зависят не от этой причины. Первое из них — следующее: хорошо известно из других фактов, например из индукции токов и т. п., что электромагнит требует времени, чтобы развить максимальную силу, возбуждаемую данным электрическим током. Я показал, что вращение луча должно возрастать в течение того времени, пока таким образом возрастает магнетизм; и я нашел, что способность индуцировать токи существует одновременно с возрастанием вращающего. Второе соображение — то, что, если диамагнетик подвергается действию не электромагнита, а катушки, то вращение возрастает не постепенным образом, как в первом случае, а мгновенно дает максимум (Экспериментальные исследования, 2195). Это и служит мне основанием держаться того объяснения, которое я дал в своих статьях и прошлом году.

тальное состояние обнаруживается сразу, а таким эталоном служит нам внутренность любого металлического сосуда, на которую, в силу его формы и глубины, не действуют никакие внешние влияния. В таком сосуде, внутри него, всегда имеют место одни и те же нормальные условия, какой бы заряд ни имела его внешняя поверхность; и сравнивая поверхность Земли с внутренностью такого сосуда, что можно сделать легко при помощи проводника-переносчика, подобного тому, каким пользовался Кулон, каждый может решить вопрос, в каком состоянии находится эта поверхность: в отрицательном или нулевом.

Конечно, в столь новых вопросах как те, которые мы здесь рассматриваем, различия во мнениях должны неизбежно возникать по многим пунктам; и для самых исследований полезно, что это так, ибо вследствие этих различий факты получают более разностороннее истолкование. Поэтому я пока не разбираю некоторых разногласий между мною и другими авторами, полагая, что уже скоро накопятся новые относящиеся сюда факты и что через очень немного лет время, как могущественный помощник, поставит и факты, и мнения на подобающее им место.

Королевский институт.

11 августа 1846 г.

О ДИАМАГНИТНЫХ СВОЙСТВАХ ПЛАМЕНИ И ГАЗОВ¹

Ричарду Тейлору

Дорогой сэр, недавно я получил от проф. Дзантедески опубликованную им статью, в которой содержится упоминание о том, что о. Банкалари открыл магнетизм (диамагнетизм) пламени. Там имеются также сведения о дальнейших опытах Дзантедески, которыми он подтверждает этот результат и показывает, что пламя отталкивается от осевой линии, соединяющей два магнитных полюса. Я посылаю Вам эту статью, чтобы Вы могли поместить ее в *Philosophical Magazine*, если Вы придаете ей столь же большое значение, какое придаю ей я; вместе с нею посылаю Вам также дальнейшие подтверждения и расширения (этих результатов), принадлежащие уже мне самому. Поскольку г-н Дзантедески опубликовал свои итоги, я считал себя свободным работать по этому вопросу, который, конечно, очень меня интересовал. Весьма возможно, что то, что я излагаю, будет лишь служить подтверждением того, что уже сделано в Италии или в другом месте; если это так, то

¹ *Philosophical Magazine*, серия 3, XXXI, № 210, декабрь 1847.

я надеюсь, что заслуживаю извинения, ибо новое свидетельство о важном факте никаким образом не является излишним, а в данном случае может побудить и других активно вступить на новый путь исследования, открываемый диамагнитными телами вообще.

Я недавно проверил основной результат относительно диамагнитного действия на пламя, и мне самому не понятно, как я мог не заметить этого явления много лет назад. Мне кажется, что я получил теперь гораздо более явственное доказательство, чем то, которое приведено в статье Дантедески, и потому я опишу вид и устройство существенных частей моего прибора. Электромагнит, которым я пользовался, был тот сильный влектромагнит, который описан в Экспериментальных исследованиях (2247). Два куска железа на его концах, представлявшие возможные магнитные полюсы, имели каждый 1.7 квадратных дюйма в поперечнике и шесть дюймов в длину; но окончания имели форму, близкую к форме конуса, стороны которого составляют угол около 100° , а ось горизонтальна и проходит через верхнюю плоскость кусков железа. Вершина каждого куска была закруглена и таким путем удалено около одной десятой дюйма от каждого конуса. Когда такие окончания сближены, они дают в магнитном поле сильное действие, и осевая линия магнитной силы, конечно, горизонтальна, причем она находится приблизительно на одном уровне с верхней плоскостью брусков. Я нашел, что эта форма исключительно удобна для целого ряда различных опытов.

Когда я помещал вблизи осевой линии, по одну или другую ее сторону, пламя восковой свечи, причем около одной трети пламени возвышалось над уровнем верхней плоскости полюсов, то, как только начинала действовать магнитная сила, она оказывала действие на пламя. Оно отступало от осевой линии и смещалось экваториально; в конце концов оно принимало наклонное положение, как если бы его отклонял от отвесного положения легкий ветер; это действие прекращалось в тот момент, когда выключался магнетизм.

Действие происходило не мгновенно, а возрастало постепенно до некоторого максимума. Оно прекращалось весьма быстро с уничтожением магнетизма. Постепенное возрастание зависит от того, что в воздухе, окружающем магнитное поле, постепенно возникают потоки; они стремятся возникнуть и действительно возникают по мере того, как приобретают магнитные свойства в присутствии пламени.

Когда пламя было помещено так, что поднималось прямо через магнитную ось, действие магнетизма состояло в том, что пламя сжималось между остриями полюсов, отступая в направлении осевой линии от полюсов к средней перпендикулярной плоскости; при этом высота пламени уменьшалась. В то же время верхушка и стороны сжатой части горели более ярко, вследствие возникновения двух потоков воздуха, которые дули от полюсов с двух сторон прямо на пламя и затем отходили вместе с ним в экваториальном направлении. Но в то же время имело место и отталкивание или отход частей пламени от осевой линии; ибо части, находившиеся внизу, поднимались не так быстро, как раньше, а, поднимаясь, они также проходили наклонно и в экваториальном направлении.

Когда пламя было поднято немного выше, действие магнитной силы выражалось в усилении только что описанных явлений, и пламя принимало форму рыбьего хвоста, расположенного поперек магнитной оси.

Когда пламя было поднято настолько, что около двух его третей находилось над уровнем осевой линии, и полюсы сближены до такого расстояния (около 0.3 дюйма), что они начали охлаждать и сжимать часть пламени у осевой линии, но не препятствуя ему, однако, свободно подниматься между ними, то при возбуждении магнетизма получилось следующее: пламя все больше и больше сжималось и укорачивалось, и когда действие достигло максимума, вершина пламени, наконец, спустилась, и пламя перестало подниматься между магнитными полюсами, а распространилось вправо и влево по обе стороны осевой линии, образовав двойное пламя между двумя

длинными языками. Это пламя было очень ярко вдоль верхнего раздвоенного края, ибо усиливалось там потоком воздуха, который опускался из пространства между полюсами к пламени в этой его части и отклонял его в экваториальном направлении.

Когда действие магнита прекращалось, пламя тотчас же принимало свое обычное вертикальное положение между полюсами; оно немедленно сжималось и разделялось вновь, как только магнитное действие возобновлялось.

Когда между полюсами было помещено небольшое пламя, высотой всего в одну треть дюйма, магнитная сила моментально сплющивала его в экваториальный диск.

Если шарик из ваты, величиной с орех, перевязать проволокой, напитать эфиром и зажечь, то он дает пламя высотой в шесть-семь дюймов. Такое большое пламя свободно и естественно поднимается между полюсами; но стоит привести магнит в действие, как оно разделяется и превращается в два пламени, одно по одну, другое по другую сторону осевой линии.

Вот те общие и весьма поразительные действия, которые могут быть получены при действии магнита на пламя; этим важным открытием мы обязаны о. Банкалари.

Я проверил результаты, полученные г-ном Дзантедески, на различных родах пламени, и нашел, что действие (магнетизма) на пламя спирта, эфира, углекислоты, водорода, серы, фосфора и камфоры имеет один и тот же характер, хотя как будто и не одинаково по силе. По-видимому, действие тем сильнее, чем ярче пламя.

Эти основные результаты можно представить в еще более наглядном и поучительном виде, если вместо пламени взять коптящую восковую свечу. Пусть восковая свечка, окрашенная в зеленый цвет ярью-медяной, погорит в течение минуты, а затем задует ее; тогда обычно фитиль остается с искоркой огня на кончике. Подавленное горение будет однако продолжаться час или более, причем вверх будет подниматься тонкая густая струйка дыма, которая в спокойной атмосфере

будет идти вертикально на высоту до шести-восьми дюймов; в движущейся же атмосфере она будет указывать все изменения ее движения как по направлению, так и по силе. Если держать свечу ниже полюсов, так, чтобы струйка дыма проходила немного в сторону от осевой линии, то сила магнита мало действует на струйку, если только держать свечу на три-четыре дюйма ниже полюсов; но если поднять ее так, чтобы уголок находился не ниже, чем на дюйм, под осевой линией, то действие на струйку уже гораздо сильнее, и она изгибается наружу. Если поднять свечу еще выше, то в некоторой точке дым начнет уходить от светильника уже в горизонтальном направлении, устремляясь экваториально. Если держать свечу так, чтобы струйка дыма проходила *через* осевую линию, и затем изменять расстояния, как и ранее, то, когда свеча находится на четыре дюйма внизу, никакого заметного действия не обнаруживается, или же оно весьма мало. Но если поднять свечу, то, как только *теплая* часть струйки окажется между полюсами, она проявит стремление разделиться. И когда тлеющий фитиль будет примерно на дюйм ниже осевой линии, дым будет подниматься вертикально одним столбом, пока не пройдет двух третей этого расстояния, а затем разделится, расходясь вправо и влево и оставляя пространство между полюсами чистым. При медленном поднятии свечи место, где дым раздваивается, опускается так, что раздвоение располагается все ниже, пока оно не придется на фитиль, на расстоянии в 0.4-0.5 дюйма под осевой линией. Если поднимать свечу еще выше, то магнитное действие становится столь сильным, что струйка не только разделяется, а еще и опускается по обе стороны тлеющего фитиля, принимая форму, напоминающую букву *W*; в то же время верхушка горящего фитиля становится гораздо ярче благодаря потоку воздуха, который устремляется на него сверху. При этих опытах магнитные полюсы должны стоять друг от друга примерно на 0.25 дюйма.

Тлеющий кусок трута или же конец деревянной щепки дают те же самые явления.

При помощи подобной же маленькой искры и струйки дыма мне удалось наглядно выявить действие даже обыкновенного магнита. Магнит был хорошего качества, а его полюсы расположены очень близко друг к другу и имели коническую форму.

Прежде чем закончить это описание общей картины явлений и перейти к рассмотрению принципов магнитного действия, от которых они зависят, я хочу заметить, что и один полюс магнита обнаруживает такие же действия на пламя и дым, но они менее резко выражены и их труднее наблюдать.

Хотя действие магнита на пламя столь явственно, однако на первый взгляд не ясно, в чем причина — или причины — этих явлений. Наиболее очевидным и вероятным условием представляется здесь *тепло* пламени; но есть и другие обстоятельства, которые могут оказывать такое же, а то и более сильное влияние. Здесь одновременно происходит и химическое действие: во многих пламенах, которыми пользуются для опыта, имеются твердые вещества, заведомо диамагнитные. Далее, существует большое различие между веществом пламени и окружающим воздухом. Любое из этих обстоятельств или все они вместе взятые: температура, химическое действие, твердое состояние известной части вещества и различие его состава по отношению к окружающему воздуху, могут дать этот результат или оказать на него влияние.

Я помещал провода электрометра, а также гальванометра, в различных частях пламени, находившегося под действием магнита, но не мог показаниями этих приборов обнаружить никаких признаков образования электричества.

Я исследовал область вблизи осевой линии в отношении наличия каких-либо воздушных течений, при отсутствии пламени или вообще нагревания. Для этого я пользовался хорошо видимыми дымами, которые получают, если поместить близко друг к другу два комочка бумаги, смоченные в крепких растворах аммиака и соляной кислоты. Хотя я нашел, что на струйку такого дыма слабо влияла магнитная сила, но я с удовлетворением констатировал, что между полюсами не было никакого

течения или движения в обычном воздухе, как таковом. Самый дым был слабо диамагнитным; это, как я полагаю, зависело от присутствия в нем твердых частиц.

Между тем, когда мы пользуемся пламенем или тлеющей свечой, в воздухе, при благоприятных условиях, возникают сильные потоки. Если пламя помещено между полюсами, то эти потоки избирают путь вдоль поверхности полюсов, которую они покидают на двух противоположных концевых плоскостях, между которыми проходит осевая линия. Затем, пройдя параллельно этой линии, они сталкиваются с пламенем с двух противоположных сторон. Питая пламя, они образуют его часть и отходят в экваториальном направлении. Если силой этих потоков пламя разгоняется в стороны и отходит туда, потоки следуют за ним; и если пламя раздваивается, воздух, находящийся между полюсами, образует поток, который идет от полюсов вниз и в стороны, по направлению к пламени. Я не хочу сказать, что воздух во *всех* случаях движется вдоль поверхности полюсов или вдоль осевых линий или даже на пространства между полюсами; ибо если держать тлеющую восковую свечу примерно на дюйм ниже осевой линии, на нее с наибольшей силой устремляется холодный воздух, который находится ближе всего к свече и (вообще говоря) между свечой и осевой линией. Фактически движения частей воздуха и пламени обусловлены дифференциальным действием. Мы в дальнейшем увидим, что воздух диамагнитен — так же, как и пламя и горячий дым; то есть, так же как и они, он стремится в соответствии с общим законом, высказанным мною в Экспериментальных исследованиях (2267 и т. д.), перемещаться от тех мест, где магнитная сила больше, туда, где она меньше; но горячий воздух или пламя обладают этим свойством в большей степени, чем холодный или более холодный воздух. Так, если пламя и воздух или же воздух при различных температурах сосуществуют одновременно в пространстве, которое находится под действием магнитных сил, различных по интенсивности, то более теплые частицы будут стремиться перейти

от мест с более сильным действием к местам с более слабым, и их заменят частицы более холодные. Поэтому дело происходит так, как если бы первые отталкивались; и возникающие потоки вызываются именно этим действием, куда присоединяется та механическая сила или поток, который пламя обычно производит в атмосфере.

Вам, конечно, ясно, что я рассматривал пламя лишь как частный случай общего закона. Это — один из самых важных и самых прекрасных случаев, который привел нас к открытию диамагнетизма газообразных тел. Но он также один из самых сложных, и это я сейчас докажу, для чего разберу некоторые из причин его возникновения и укажу их действия раздельно.

Прежде всего рассмотрим случай, когда к возникновению диамагнитного состояния пламени ведет только теплота. С этой целью спиралька из тонкой платиновой проволоки была соединена с двумя более толстыми медными проволоками так, что спиральку можно было приводить в любое положение по отношению к магнитным полюсам; и в то же время ее можно было накаливать как угодно сильно при помощи гальванической батареи. Таким образом, она служила заменой горячей восковой свечи и давала прекрасный, весьма сильно нагретый поток воздуха, неизменно по химическому составу. Когда спиралька была поставлена непосредственно под осевой линией, горячий воздух свободно поднимался между полюсами; это можно было обнаружить сверху посредством термометра; в этом потоке можно было обжечь палец и даже обуглить бумагу; но стоило только привести магнит в действие, как горячий воздух разделялся на два потока, и можно было обнаружить, что он подымается по обе стороны осевой линии. В то же время между полюсами образовался нисходящий поток, который шел вниз к спиральке и к горячему воздуху; последний поднимался и проходил в стороне от него.

Итак, вполне очевидно, что горячий воздух является диамагнитным по отношению к холодному, или более диамагнитным, чем холодный воздух. Из этого факта я заключил, что,

охладив воздух ниже нормальной температуры, я заставляю его приблизиться к магнитной оси, или заставляю казаться магнитным относительно обыкновенного воздуха. Я построил маленький прибор, в котором вертикальная трубка, подводящая воздух, проходила через сосуд с охлаждающей смесью; этот сосуд был обернут флanelью, чтобы воздух снаружи не охлаждался и не заполнил бы таким образом все магнитное поле. Центральный поток холодного воздуха был направлен вниз, немного в сторону от осевой линии, и входил в трубку, где его действие обнаруживалось чувствительным воздушным термометром. Однако, когда магнит пускался в ход, это действие прекращалось, и термометр поднимался; но когда я ставил последний под осевой линией, он вновь опускался. Это показывало, что холодное воздушное течение сместилось вовнутрь или притянулось к осевой линии, т. е. стало магнитным относительно воздуха при обыкновенной температуре или менее диамагнитным, чем он. Более низкая температура была 0° Ф. Действие было незначительно; но все же оно было явно видно.

Действие тепла на воздух, в смысле столь значительного увеличения его диамагнитных свойств, весьма примечательно. Мне представляется совершенно невероятным, чтобы причиной такого изменения его свойств было одно только расширение воздуха. Действительно, скорее можно было бы ожидать, что некоторый объем расширенного воздуха был бы в меньшей степени наделен этими диамагнитными свойствами, чем такой же объем более плотного воздуха, так же, как можно предвидеть, что пустое пространство совершенно не обнаруживает никаких магнитных или диамагнитных действий, а представляет нулевую точку между двумя классами тел (Экспериментальные исследования, 2423, 2424). Конечно, правильно, что если бы воздух был телом, принадлежащим к магнитному классу, то его расширение, равносильное разведению, заставило бы его казаться диамагнитным относительно обыкновенного воздуха (Экспериментальные исследования, 2367, 2438).

Но это, мне кажется, не должно иметь места, как будет видно из описываемых ниже результатов, полученных для кислорода и азота.

Если действие, сообщаемое теплотой, есть непосредственное следствие температуры и пропорционально ей, то это придает весьма замечательный характер газам и парам, для которых, как мы увидим позднее, оно является общим. В моих более ранних опытах (Экспериментальные исследования 2359, 2397) я нагревал различные диамагнитные тела, но не мог заметить, чтобы степень их магнитного действия хоть сколько-нибудь возросла или вообще изменилась в зависимости от температуры, которую им сообщали. Я вновь подверг действию одного полюса медные и серебряные цилиндрики, при обычной температуре и при красном калении, но с тем же самым результатом. Если и было какое-либо влияние повышенной температуры, то оно выразилось в легком увеличении диамагнитной силы, но я не уверен в этом результате. Поэтому в настоящее время приходится предполагать, что газообразные и парообразные тела резко выделяются среди других по тому мощному влиянию, какое оказывает теплота на усиление их диамагнитных свойств.

Все опыты с пламенем, дымом и воздухом показали, что воздух имеет сильно выраженные магнитные свойства, которые, хотя и изменяются под действием температуры в большой степени, но присущи ему при всех температурах. Исходя из этого, можно было с вероятностью заключить, что и другие газообразные или парообразные тела должны быть диамагнитными или магнитными и что они должны отличаться друг от друга даже при обычных или при одинаковых температурах. Я поэтому приступил к их исследованию, для чего прежде всего пускал струи каждого из них в воздух при помощи специальных приборов и приспособлений, и рассматривал пути, какими шли эти потоки при прохождении через магнитное поле, причем магнитная сила то индуцировалась, то нет.

Создавая различные струи, я иногда вводил газы в шар с горлышком и отверстием в виде трубки, а затем выпускал

газ из трубки вверх или вниз, смотря по тому, был ли он легче или тяжелее воздуха. В других случаях, как например если я брал соляную кислоту или аммиак, я давал потокам выход через горло реторты. Но поскольку весьма важно не затоплять магнитное поле невидимыми газами, я устроил следующее приспособление, которое оказалось пригодным для всех газов, не растворимых в воде. Была взята вульfoва склянка с тремя отверстиями сверху *a*, *b* и *c*; в отверстие *a* была вставлена широкая трубка, которая доходила до дна склянки и была открыта и сверху и внизу; через нее в склянку можно было наливать воду, чтобы вытеснить газ, которым она предварительно была наполнена. Отверстие *b* было закрыто пробкой. Из отверстия *c* выходила наружная трубка, снабженная краном; через нее можно было отводить газ в любое место по желанию. Чтобы выгонять газ и заставлять его выходить струей, выше склянки был поставлен сосуд с водой, кран которого настолько сужен щепкой, что когда он был вполне открыт, из сосуда вытекало только двенадцать кубических дюймов в минуту. Эта струя воды направлялась в отверстие *a*, и кран трубки с открывался; тогда в одну минуту вытеснялось двенадцать кубических дюймов газа, находившегося внутри вульfoвой склянки. Я нашел, что это как раз подходящее для нашего магнита и нашего прибора количество.

Чтобы направить этот газ к магнитным полюсам, кусок стеклянной трубки, изогнутой под углом, укреплялся при помощи зажима на подставке магнита, так что ее легко можно было сдвигать назад и вперед или же в ту и другую сторону, а ее вертикальная часть устанавливалась где угодно под осевой линией. Отверстие на этом конце имело около одной восьмой дюйма во внутреннем диаметре. В горизонтальной части близ ее сгиба был положен кусочек пропускной бумаги, смоченной (если это было нужно) крепким раствором соляной кислоты. Горизонтальную часть трубки можно было легко соединить (или разъединить в случае необходимости) с трубкой с склянки, содержащей газ, при помощи короткого куска

вулканизированной резиновой трубки. Если газ, струю которого было нужно получить, был тяжелее окружающей среды, то стеклянная трубка была изогнута так, чтобы струя пошла вниз и над осевой линией. Таким образом можно было получить потоки различных газов, причем они были вполне устойчивы и ими можно было легко управлять по желанию.

Следующая задача заключалась в том, чтобы выявить и проследить путь этих потоков. Для этого до известной степени могло служить небольшое количество паров аммиака, выпускаемых вблизи магнитного поля, но этот способ оказался неудовлетворителем: во-первых, облачко из образующихся частиц хлористого аммония само по себе диамагнитно; во-вторых, при этом слишком сильно возмущалось спокойное состояние воздуха в магнитном поле. Поэтому были устроены трубчатые ловушки, которые представляли собою трубки из тонкого стекла длиной и шириной с палец, открытые с обоих концов; они были укреплены на небольших подставках так, что их можно было пристроить по желанию выше или ниже магнитных полюсов. Когда они стояли над полюсами, я обычно брал их три сразу, одну над осевой линией и по одной с каждой стороны (от нее). Когда они находились под полюсами, нижний конец несколько отгибался, чтобы его было легче наблюдать.

Газ, получавшийся у полюсов, как уже указано, содержал немного соляной кислоты (она получалась из раствора, смачивавшего бумажку), но этого количества было недостаточно, чтобы сделать газ видимым. Чтобы определить, через какую из ловушек он проходил, в каждой из этих трубок был подвешен на медной проволочке сложенный и обвязанный кругом кусочек пропускной бумаги, смоченный в растворе аммиака. Тогда благодаря дыму, образующемуся в верхней части одной из трубок и видимому для глаза, можно было сразу обнаружить, прошел ли газ, выделившийся внизу, через одну из трубок и через какую именно; а между тем, когда газ проходил через место магнитного действия, он был совершенно чист и прозрачен.

В добавление к этим установкам, я построил защитную камеру под магнитными полюсами и магнитным полем, чтобы воздух оставался не возмущенным. Эта камера имела около шести дюймов длины на четыре дюйма по высоте и ширине, и ее легко было сделать из тонких пластинок слюды, которые в один момент можно было установить или снять. Камера нередко оставалась в большей или меньшей степени открытой сверху или снизу для выхода газов или для установки трубок-ловушек. Она давала весьма значительные преимущества.

В о з д у х. Прежде всего через эту установку был пущен воздух, причем струя его была направлена по осевой линии. Он обнаружился видимым образом в трубке-ловушке, стоявшей сверху, благодаря образовавшемуся дыму; но независимо от того, был ли магнит в действии или нет, его путь оставался прежним. Это указывало на то, что прибор в этом отношении действовал хорошо и сам по себе не давал каких-либо ошибочных результатов.

А з о т. Этот газ был направлен снизу вверх и шел прямо по осевой линии в верхнюю улавливающую трубку; но когда магнит был приведен в действие, это изменило направление потока, и хотя он не перестал проходить через среднюю трубку, однако часть его появилась и в двух боковых. Затем струя была сдвинута немного в одну сторону от осевой линии, так что при отсутствии магнитного действия она по-прежнему поднималась вверх и проходила в среднюю улавливающую трубку. Когда было возбуждено магнитное действие, она претерпела заметное изменение, и большая часть ее направилась в боковые трубки. Азот, следовательно, оказался явно диамагнитным относительно обыкновенного воздуха, если оба были взяты при одной и той же температуре; но, поскольку четыре пятых атмосферы состоят из азота, из этого результата следует с очевидностью, что азот и кислород должны сильно различаться друг от друга в отношении своих магнитных свойств.

К и с л о р о д. Поток кислорода был направлен вниз через воздух между полюсами. Когда магнитного действия

не было, он опускался вертикально, но и при наличии магнитного действия, по-видимому, имело место то же самое; во всяком случае он не сдвигался в экваториальном направлении. Но, в силу описанных выше опытов с азотом, мы имели основания ожидать, что кислород окажется в воздухе магнитным, а не диамагнитным; а потому я изменил путь струи и направил ее по одну сторону осевой линии. В этом случае она сначала пошла сразу в первую улавливающую трубку; но как только магнит был приведен в действие, поток отклонился: он отошел к осевой линии и попал в другую улавливающую трубку. поставленную там для его приема. Итак, кислород, по-видимому, является магнитным относительно обыкновенного воздуха. Так ли это на самом деле или он только менее диамагнитен, чем воздух (смесь кислорода и азота), нам будет удобнее выяснить позднее.

В о д о р о д. Этот газ оказался явно диамагнитным, притом в сложной степени; ибо, несмотря на большую подъемную силу его потока в атмосфере, обусловленную его малым удельным весом, поток все же отклонялся и уходил в экваториальном направлении. Вследствие легкости этого газа можно было бы ожидать, что он будет притягиваться к осевой линии, как это имело бы место для потока разреженного воздуха, (если бы он мог существовать). Итак, его диамагнитное состояние показывает поразительным образом, что газы, как и твердые тела, обладают характерными и различными по силе диамагнитными свойствами.

У г л е к и с л о т а. С этим газом был произведен очень красивый опыт. Струя была направлена вниз, немного в сторону от осевой линии; улавливающая трубка была помещена несколько дальше в сторону, так что поток должен был миновать ее, пока магнит не был приведен в действие. Но когда он начал действовать, поток изменил свое вертикальное направление, отошел в экваториальном направлении и попал в улавливающую трубку; если смотреть горизонтально, то можно было видеть, как он вытекал у нижнего конца трубки, как

вода, и падал вниз через воздух. Магнит был вновь выключен, а под нижним концом трубки поставлен стакан с известковой водой; в нем не появилось углекислоты, хотя жидкость в стакане все время перемешивалась; но в тот момент, когда магнит был опять приведен в действие, в улавливающей трубке появилась углекислота, упала в стакан, и известковая вода стала мутной. Таким образом, этот газ диамагнитен относительно воздуха.

О к и с ь у г л е р о д а. Прежде чем подвергнуть этот газ опыту, он был тщательно очищен от углекислоты. Он был исследован в виде нисходящего потока и был, по-видимому, сильно диамагнитным. Нужно, однако, заметить, что вещество, столь близкое по удельному весу к атмосферному воздуху, легко рассеивается в нем во все стороны, а потому легкость рассеяния еще не является убедительным доказательством его диамагнитной силы. Однако, введя немного аммиака в слюдяную камеру, можно было легко обнаружить, что окись углерода со значительной силой устремляется в экваториальном направлении; на основании этого явления я заключаю, что она более диамагнитна, чем углекислота.

З а к и с ь а з о т а. Этот газ в умеренной степени, но явственно диамагнитен в воздухе. Это и другие соединения азота с кислородом представляют большой интерес как потому, что они содержат те же элементы, что и воздух, так и ввиду отношения в них азота и кислорода, взятых отдельно.

О к и с ь а з о т а. Я испытывал этот газ в виде и восходящего, и нисходящего потока, но не мог определить его магнитных свойств. Вследствие действия кислорода воздуха изменения природы веществ, а также развиваемого при этом тепла здесь было столько случайных возмущающих влияний, а эффект, зависящий от действия магнита, был так слаб, что я не мог быть уверен в результате. В общем, газ был слабо диамагнитным; но в такой малой степени, что это могло быть обусловлено частичками дыма, который служил для того, чтобы сделать газ видимым.

Газообразная азотистая кислота. Наблюдать этот газ трудно, но я полагаю, что он слегка магнитен по отношению к воздуху.

Маслородный газ был диамагнитен, и притом в сильной степени. Вследствие малого различия в удельном весе этого газа и воздуха бывает трудно проследить течение этого газа, если не вести наблюдение по обе стороны.

Светильный газ. Лондонский светильный газ легче воздуха и составляет всего $2/3$ веса последнего. Он определенно диамагнитен и дает исключительно хорошие и ясные результаты.

Газ сернистой кислоты диамагнитен в воздухе. Он получался в трубочке, содержащей жидкую сернистую кислоту; трубка была соединена, вместо сосуда с газом, с выпускной трубкой и соплом при помощи вулканизированной резиновой трубки. Присутствие или отсутствие газа в трубке-ловушке хорошо обнаруживалось посредством аммиака или, еще лучше, лакмусою бумажки.

Соляная кислота. Реторта, в которой газ получался, была соединена, как описано выше, с выпускной трубкой. Газ был весьма определенно диамагнитен в воздухе.

Иодистоводородная кислота также была диамагнитна в воздухе. Когда поток газа был обилен, его вхождение в боковую улавливающую трубку и прохождение через нее, по приведении магнита в действие, обнаруживались очень явственно. Когда газа было меньше, поток рассеивался в экваториальном направлении во все стороны, и в трубку входило его меньше.

Фтористый кремний. Диамагнитен в воздухе.

Аммиак. Этот газ развивался из материалов в реторте; он испытывался в верхней улавливающей трубке при помощи соляной кислоты, которой пропитывалась бумага. Он был определенно диамагнитным, соответствуя в этом отношении характеру образующих его элементов. Его можно было очень

хорошо обнаружить, держа над трубками красную лакмусовую бумажку.

Х л о р выделялся из вульфовой склянки и оказался решительно диамагнитным в воздухе. Чтобы выявить его вхождение в боковые улавливающие трубки каждый раз, когда магнит приводился в действие, служил или аммиак, дававший дым, или лакмусовая бумажка, которая белела.

И о д. Отрезок стеклянной трубки имел на нижнем конце такую форму, что образовал камеру, куда можно было положить иод; эта камера имела вытянутое отверстие, направленное вниз, для выхода газа, образующегося внутри камеры. В камеру помещалось немного иода; затем она, а в особенности ее часть близ горлышка, нагревалась на спиртовой горелке, и прибор наклонялся. Тогда, по мере того как вещество притекало к нагретым частям, образовалось большое количество паров иода, которые обильной струей выходили из отверстия вниз. Этот пурпурный поток был диамагнитен в воздухе, и можно было видеть, как он растекался вправо и влево от осевой линии, если не был слишком плотен. Если же он был плотен и тяжел, то благодаря своему весу прорывался через осевую линию, несмотря на действие магнита; все же было ясно, что иод диамагнитен по отношению к воздуху.

Б р о м. Небольшое количество брома помещалось в горизонтальную часть выпускной трубки, и затем через него, при помощи описанного выше прибора, пропускаться воздух. От брома получалось так много паров, что воздух окрашивался в желтый цвет, и пары образовали невственную струю, направленную по осевой линии. Небольшое количество аммиака, выпущенного вблизи магнитного поля, обнаружило, что эта струя была диамагнитна, и поэтому можно считать, что чистый пар брома также должен быть диамагнитным.

Ц и а н. Сильно диамагнитен в воздухе.

Если мы возьмем воздух за эталон для сравнения, нам бросится в глаза, что, хотя газы, по-видимому, весьма сильно отличаются друг от друга по степени присущих им диамагнит-

ных свойств, однако существует лишь очень немного газов, которые не были бы более диамагнитными, чем воздух. Если продолжить далее исследование в применении к двум основным составным частям воздуха, азоту и кислороду, то еще более бросается в глаза, что магнитные свойства кислорода выражены весьма слабо, и это фактически и является причиной слабой диамагнитности воздуха. Из всех исследованных до сих пор паров и газов, кислород, по-видимому, обладает наименьшей диамагнитной силой. Вопрос, какое место ему отвести, пока еще остается открытым; ибо эта сила, может быть, для него столь же мала, как и для пустоты, а может даже и перейти на магнитную сторону; опыт до сих пор не дал ответа на этот вопрос. Я полагаю, что кислород диамагнитен; это утверждение подкрепляется действием на него теплоты, которое будет описано ниже; но в ряду диамагнитных веществ он стоит исключительно низко — гораздо ниже хлора, иода и других подобных тел.

Во всех соединениях кислорода с азотом, по-видимому, сказывается присутствие кислорода. Азотистая кислота представляется менее диамагнитной, чем воздух. Окись азота, смешанная с закисью азота и нагретая, мало отличается от воздуха. Закись азота явно диамагнитна в воздухе, хотя содержит больше кислорода; но зато она содержит больше азота, чем воздух, и поэтому плотнее его, так что в ней присутствует больше материи; мне все же представляется, что результаты говорят в пользу вывода, что кислород диамагнитен. Обращаясь к взаимоотношению между окисью углерода и углекислотой, описанному дальше, мы увидим, что от прибавления кислорода тело, по-видимому, становится менее диамагнитным. Но, вернее всего, дело здесь не в том, что кислород действительно магнитен, а в том, что сложное тело обладает своей собственной диамагнитной силой, которая не равна сумме сил его частиц.

Очень трудно идти далее простых догадок по отношению к сравнительной величине диамагнитной силы, принадлежащей различным газообразным веществам, когда они изучаются только в воздухе, ибо очень многие обстоятельства затемняют здесь

результат. Во-первых, здесь играет роль то, что газ невидим; это лишает нас возможности при помощи зрения устраивать все так, чтобы получить наилучший результат. Затем оказывает влияние разница в весе; ибо если течение восходящего или нисходящего газа быстро, оно может показаться отклоненным в меньшей степени, чем другой поток, текущий более медленно, хотя его диамагнитность и больше. Газы, удельный вес которых близок к удельному весу воздуха, почти полностью рассеиваются в различных направлениях независимо от того, насколько они диамагнитны, так что лишь небольшое их количество попадает в улавливающую трубку. Еще одним обстоятельством, влияющим на результат, является расстояние отверстия, из которого выходит газ, от осевой линии: для получения максимального действия оно должно бы изменяться в зависимости от веса газов и их диамагнитной силы. Необходимо также, чтобы магнитное поле не было заполнено исследуемым газом и чтобы, вообще говоря, мы имели дело с умеренным потоком; а это в свою очередь зависит от удельного веса.

Поэтому единственным правильным методом сравнения двух газов друг с другом является исследование одного из них в другом. Ибо опыты, которые производятся с газами, в газах или в воздухе — опыты дифференциальные; по существу они сходны с опытами, которые были ранее произведены с растворами (Экспериментальные исследования, 2362 и т. д.). В связи с этим я в нескольких опытах изменял окружающую среду, заменив воздух другими газами; и прежде всего я взял углекислоту, как тело, с которым легко экспериментировать; притом оно, по всей вероятности, должно быть более диамагнитно в воздухе, чем некоторые другие газы (сужу так лишь по видимости или по относительным результатам).

Я приготовил нечто вроде подноса или ящичка, сложив двойной лист восковой бумаги; получился сосуд в 13 дюймов длины, 5 ширины и 5 дюймов высоты. Он был поставлен на концах большого магнита, а железные оконечности, описанные выше, были оставлены внутри его. Ящик был слегка прикрыт

пластинками из слюды и образовал большую квадратную камеру, в которой заключались магнитные полюсы и поле. Затем были устроены все приспособления для получения магнитного поля, выходные трубки, улавливающие трубки и т. д. — все такие же, как и раньше; и, наконец, ящик был наполнен углекислотой при помощи трубки, которая входила в него на одном из углов. От времени до времени в ящик добавлялась свежая порция газа, поскольку прежнее содержимое оказывалось по-немиому разбавленным газами или воздухом. Все действовало прекрасно, и мы легко получили следующие результаты.

Воздух проходил в осевом направлении, так как он менее диамагнитен, чем углекислый газ.

Кислород проходил к оси, как и следовало ожидать.

Азот уходил в экваториальном направлении и, следовательно, был диамагнитным даже и в углекислоте.

Водород, светильный газ, маслородный газ, соляная кислота и аммиак отходили в углекислоте в экваториальном направлении и были по отношению к ней явно диамагнитны.

Окись углерода также была определенно диамагнитна в углекислоте. Этим очень хорошо иллюстрируется действие кислорода. Равные объемы окиси углерода и углекислоты содержат равные количества углерода; но первая содержит вдвое меньше кислорода, чем вторая. Первая, однако, более диамагнитна, чем вторая; итак, хотя к углекислоте прибавлен и как бы вдавлен в нее добавочный объем (и вес) кислорода, равный тому, какой имеется в окиси углерода, однако, от этого диамагнитная сила не возрастает, а, наоборот, убывает.

Закись азота, по-видимому, слегка диамагнитна по отношению к углекислоте; но газ окиси азота оказался в обратном соотношении и проходил ближе к осевой линии.

В соответствии с этим можно предполагать, что, хотя углекислота и более диамагнитна, чем воздух, но что она не особенно далека от него в этом отношении; и она занимает такое положение именно вследствие значительного содержания в ней кисло-

рода. Кажущееся близкое к ней место закиси азота, по-видимому, обусловлено в большой мере тем же обстоятельством — значительным содержанием кислорода, входящего в ее состав. Тем не менее ясно, что действие зависит здесь не прямо от кислорода, ибо в этом случае обыкновенный воздух был бы более диамагнитным, чем каждое из этих веществ. Скорее можно думать, что силы здесь видоизменяются, как в случае железа и кислорода, и что всякое сложное тело обладает характерной для него, но постоянной интенсивностью действия.

Чтобы произвести подобные же опыты с легкими газами, два башмака магнита были подняты, так что их можно было накрыть французским стеклянным колпаком; это, вместе с подставкой магнита, образовало вокруг них очень хорошую камеру. Трубка, служившая для пополнения и для смены газовой среды, а также трубка, через которую газ поступал для наблюдения в виде потока в магнитное поле, проходили через отверстия, сделанные в дне подставки. Различные газы, которые сравнивались с газами, служившими средой, были, за исключением случаев аммиака и хлора, смешаны с едва заметным количеством соляной кислоты, как было описано выше. Газов, которые служили средой, было два: светильный газ и водород. Когда я делал опыты с светильным газом, я наблюдал направление в нем потоков другого газа, помещая вблизи струи кусочек бумаги, надетый на проволоку и смоченный в растворе аммиака. В случае среды из водорода я заранее растворял немного аммиака во всем объеме газа.

В о з д у х в светильном газе проходил к осевой линии, но действие на него было не особенно сильно.

Д л я к и с л о р о д а получалось впечатление, что он сильно магнитен в светильном газе, ибо он очень бурно устремлялся к магнитной оси и задерживался около нее; и если в это время специально выпускалось побольше дыма из хлористого аммония, то кислород захватывал его в магнитное поле с такой силой, что скрывал за собой концы магнитных полюсов. Если ватем магнитное действие на момент прекращалось, то это об-

лако опускалось вниз вследствие своей тяжести; но если в то время, когда оно было ниже полюсов, магнит вновь приводился в действие, кислородное облако в тот же миг поднималось и занимало прежнее положение. Притяжение железных опилок к магнитному полюсу не так поразительно, как та картина, которую представляет кислород при этих условиях.

А з о т. Явственно диамагнитен в светильном газе.

М а с л о р о д н ы й г а з, окись углерода и углекислота были все хотя и в легкой степени, но все же диамагнитны в светильном газе.

Когда в качестве окружающей среды светильный газ был заменен водородом, опыты были поставлены еще более тщательно. Каждый газ, подвергаемый опыту, наблюдался в водороде по крайней мере дважды: сначала в водороде, служившем для предыдущего опыта, а затем — в новой водородной атмосфере.

В о з д у х. Воздух в водороде проходит к оси, когда в нем очень немного дыма; если же дыма в струе много, она или остается безразличной или стремится уйти в экваториальном направлении. Я полагаю, что воздух и водород не должны быть (в этом отношении) далеки друг от друга.

А з о т в водороде резко диамагнитен.

К и с л о р о д по отношению к водороду резко магнитен: он обнаружил явления, уже описанные для случая, когда среда состояла из светильного газа; но так как струя пускала нисходящий поток кислорода несколько в сторону от осевой линии, то его центробежная сила относительно осевой линии уравновесилась центростремительной силой, создаваемой магнитным действием; поэтому струя сначала вращалась в виде правильного кольца вокруг осевой линии и образовала облако, которое продолжало вращаться вокруг нее, пока магнитное действие продолжалось. Однако оно падало на дно камеры, как только эта сила устранялась.

З а к и с ь а з о т а. Этот газ в водороде был явственно диамагнитен и дал очень красивые результаты благодаря тому,

что (опыт с ним) следовал за кислородом. Действительно, в начале опыта небольшое количество кислорода, находившееся в проводящей трубке, направилось к оси; но когда оно ушло, а начала выходить закись азота, поток изменял направление и самым явственным образом следовал по диамагнитному пути.

О к и с ь а з о т а. Этот газ в водороде принял направление к оси и, стало быть, магнитен по отношению к нему.

А м м и а к. Диамагнитен в водороде.

О к и с ь у г л е р о д а, у г л е к и с л о т а и м а с л о р о д н ы й г а з были диамагнитны в водороде; последний, по-видимому, в наибольшей степени, а углекислота — в наименьшей.

Х л о р в водороде был слегка диамагнитным. Это было несомненно; но возможно, что незначительный полученный эффект зависел в большой мере от облачных частиц.

Г а з с о л я н о й к и с л о т ы. Мне представляется, что он в небольшой степени диамагнитен в водороде.

Несмотря на многочисленные обстоятельства, которые вставали на пути первых, спешных опытов этого рода и приводили к результатам, иногда неверным и противоречащим друг другу, все же из сравнения друг с другом газов при одной и той же температуре вытекают некоторые вполне определенные выводы. Важнейшим из этих выводов оказывается то место, которое занимает кислород; ибо из всех исследованных до сих пор газообразных тел он является наименее диамагнитным и, по-видимому, стоит в этом отношении далеко от всех остальных. Важно отметить также свойства азота, как диамагнитного в высокой степени. Явственно выражено место водорода, как менее диамагнитного, чем азота, хлора, который вместо того, чтобы приближаться к кислороду, стоит выше водорода, а также иода, который, вероятно, стоит гораздо выше хлора.

Место, занимаемое в о з д у х о м, обусловлено, конечно, процентным содержанием и индивидуальными диамагнитными свойствами кислорода и азота, из которых он состоит. Большое различие между этими телами в отношении магнитных свойств

и замечательные действия, которые дает кислород в светильном газе и водороде, в телах, не слишком удаленных от азота по диамагнитной силе, привели меня к мысли, что, может быть, было бы возможно разделить воздух на его две главные составные части действием одной магнитной силы. Я сделал с этой целью опыт, но потерпел неудачу; однако я не убежден, что сделать его невозможно: раз мы можем различать те или иные газы, и в частности эти два, по их магнитным свойствам, представляется вполне возможным, что достаточно сильное действие окажется в состоянии выделить их из состояния смеси.

Во время этих опытов я подвергал некоторые из газов действию тепла, чтобы выяснить, все ли они, как правило, обнаруживают то же возрастание диамагнитной силы, какое имеет место для обыкновенного воздуха (2854). С этой целью в отверстие выводящей трубки, помещенной под магнитной осью между полюсами, была вставлена платиновая спиралька. Ее можно было нагреть до любой температуры при помощи гальванической батарейки, и через нее можно было прогнать вверх какой угодно газ из прибора с вульфовой склянкой, описанного выше. Было легко определить, как шел газ: прямо вверх между полюсами или, когда начинал действовать магнит, то он покидал это направление и образовывал два экваториальных потока по сторонам; это достигалось или по ощущению помощью пальца, или посредством термоскопа, который состоял из двух спаянных (вдоль) спиральных пластинок — серебряной и платиновой; термоскоп помещался вверху в трубке. В обоих случаях нагретый газ был диамагнитным в воздухе и, кажется, в гораздо большей мере, чем если бы он имел обычную температуру. Исследованию подвергались следующие газы: кислород, азот, водород, закись азота, углекислота, соляная кислота, аммиак, светильный газ, масляродный газ.

Однако в этих опытах окружающий воздух неизбежно смешивался с преарительно нагретым газом и таким образом входил в состав нагретого потока. Поэтому я устроил платино-

вую спираль так, чтобы ее можно было нагревать в данном газе, и таким образом я имел возможность сравнить один и тот же газ при разных температурах.

Поток горячего кислорода в холодном кислороде был сильно диамагнитен. Об этом явлении и его силе можно судить по следующему. Когда платиновая спираль под осевой линией накаливалась, влияние тепла на служившую индикатором двойную спираль, помещенную в трубке над осевой линией, было настолько сильно, что ее нижний конец совершал полтора оборота или поворачивался на 540° . Когда магнитная сила начала действовать, спираль вновь возвращалась через все эти деления в свое начальное положение, как если бы раскаленная спираль внизу была охлаждена до обычной температуры или была удалена. Между тем в отношении этой спирали ничего не изменилось; но как только магнит перестал действовать, поток горячего кислорода сразу же возвращался к прежнему перпендикулярному пути и оказывал действие на термоскоп, как раньше.

При опытах с углекислотой оказалось, что горячая углекислота была диамагнитна относительно холодной углекислоты; и это действие было, по-видимому, столь же сильно, как и в кислороде.

Когда я поступил таким же образом с водородом, мне не удалось получить никаких данных относительно отношения горячего и холодного газов, и вот по какой причине: ни при каких условиях, ни при магнитном действии, ни без него, я не мог получить ни малейших признаков нагревания на верхней спирали, служившей термоскопом, даже тогда, когда платиновая спираль, помещенная всего на какой-нибудь дюйм ниже, была накалена почти добела. Мне кажется, что это в большой степени зависит от той быстроты, с которой водород нагревается и охлаждается сравнительно с другими газами, а также от соседства холодных железных масс, образующих магнитные полюсы, между которыми приходится пройти газу на пути вверх. Весьма вероятно, что это обстоятельство связано

также и с фактом, который наблюдал Гров, что трудно накаливать в водороде платиновую проволоку.

Когда нагревательная спираль была помещена в светильный газ, оказалось, что горячий газ диамагнитен по отношению к холодному, как и во всех других случаях. Здесь опять получилось явление, сходное с тем, которое наблюдалось в водороде; а именно, когда магнитного действия не было, восходящий поток горячего светильного газа мог заставить термоскопическую спираль повернуться всего на 280° или на 300° , а не на прежние 540° , которые получались, когда окружающим газом были кислород, воздух или углекислота. Это имело место даже и тогда, когда спираль имела в светильном газе более высокую температуру, чем в каждом из этих газов.

Итак, мы имеем доказательство того, что кислород, углекислота и светильный газ более диамагнитны в нагретом состоянии, чем в холодном. То же справедливо и для воздуха; и поскольку воздух состоит из четырех пятых азота и всего одной пятой кислорода, а дает в этом отношении столь же сильный эффект, как и кислород, то ясно, что азот также изменяется от холодного состояния к нагретому.

Я не имею сомнений и относительно других газов; но для полной достоверности их нужно было бы исследовать в атмосферах, состоящих из одинакового с ними вещества (2854), или же в газах, более диамагнитных при обычных температурах, чем они сами. Маслородный и светильный газы легко переносили нагревание спирали до красного каления, не воспламеняясь при выходе из выводящей трубки; для водорода требовалось, чтобы спираль находилась при более низкой температуре. Соляная кислота и аммиак очень красиво обнаруживают разделение одного потока на два, если держать вверху синюю и красную лакмусовые бумажки.

Существует другой метод наблюдать диамагнитные свойства пламени и исследовать различные газы; этот метод иногда оказывается полезным; но во всяком случае его нужно как следует понять, ибо в противном случае он легко ведет к недоразуме-

ниям. Я беру пару полюсных наконечников, которые просверлены в горизонтальном направлении, так что через них может пройти луч света. Противолежащие плоскости этих полюсов не представляют собой, как в предыдущем случае, закругленных вершин конусов; хотя они и закруглены по краям, но их можно рассматривать как плоские, на площади примерно около дюйма в диаметре. Просверленные ходы имеют форму конусов, выход которых на эти плоские поверхности несколько больше, чем полдюйма в диаметре. Когда полюсы находились на своих местах и отстояли друг от друга на 03.—0.4 дюйма, пламя асковой свечи, свободно горящее между ними, при пуске в ход магнита сначала не обнаруживало никакого изменения. Но затем оно внезапно изменило свою форму и, вытянувшись по оси, выбросило два горизонтальных языка, которые вошли в отверстия полюсов; так продолжалось все время, пока магнетизм действовал, и ни в одной своей части пламя не уходило в экваториальном направлении.

Пользуясь большим пламенем, каким горит ватный шарик, смоченный эфиром, можно было наблюдать два языка, которые выбрасывались из пламени силою магнетизма и шли в экваториальном направлении, как и ранее; а две другие части проникали в ходы магнитных полюсов и выходили с другого их конца.

Светильный газ, выпущенный в том же месте, также шел по оси, т. е. через ходы в полюсах и параллельно соединяющей их линии.

Простые соображения объясняют истинную природу этих явлений и показывают, что они вполне совместимы с полученными ранее результатами. Закон всех этих действий сводится к тому, что если частица, помещенная среди других частиц, будет более диамагнитной (или менее магнитной), чем они, то она, при возможности свободно двигаться, перейдет от того места, где магнитное действие сильнее, к тому месту, где оно слабее; частицы же менее диамагнитные переместятся от места с более слабым действием к более сильному. Когда мы имеем

дело с описанными полюсами, линия или линии максимального действия не совпадают с осью отверстий, проделанных в полюсах, а лежат на окружности, диаметр которой, вероятно, несколько больше диаметра отверстий. Линии внутри этой окружности будут соответствовать более слабому действию, причем сила будет убывать по направлению к центру. Поэтому нагретая частичка внутри этого круга будет втягиваться внутрь, и так как на нее действуют и следующие порции материи, также втягиваемые внутрь, то она найдет выход по другую сторону отверстий. Таким образом, будет казаться, что она стремится идти в направлении оси. Наоборот, горячая частица вне этой окружности, заключающей линии максимальной силы, будет выталкиваться наружу, и таким путем образует вместе с остальными два языка пламени, которые пойдут в экваториальном направлении. Поднося горящую свечу к различным участкам, можно прекрасно наметить окружность максимального магнитного действия; и если помещать свечу внутри или вне круга, можно заставить дым проходить по желанию в осевом или экваториальном направлении.

Я построил на этом принципе прибор для исследования газов, но он оказался не лучше, а скорее хуже того, который был описан выше.

Таковы результаты, которые я получил, желая проверить и расширить открытие, сделанное о Банкалари. Я продолжил бы их и далее, но настоящее состояние моего здоровья этого не позволяет; поэтому я посылаю их Вам, хотя в них, возможно, имеется много недостатков. В настоящее время почти доказано, что многие газообразные тела диамагнитны по своим свойствам, и, вероятно, окажется, что это относится и ко всем прочим. Я говорю «почти доказано», ибо по-настоящему это до сих пор еще не доказано. Что многие газообразные тела, и даже большая часть их, подвержены магнитным действиям, это доказано; но нуль до сих пор еще не установлен. А пока он не установлен, мы не можем сказать, какие газообразные тела следует отнести к диамагнитным, а какие — к магнитным, а также нет ли таких,

которые стоят у нуля. Очевидно, нет ничего невозможного в том, чтобы какие-либо газы или пары оказались магнитными или чтобы некоторые из них не были ни магнитными, ни диамагнитными. Решать такие вопросы должен опыт; и пока мы не имеем такого решения, мы не имеем права давать на него ни положительного, ни отрицательного ответа, хотя теоретически мы с большим правом можем принять ответ на веру.

Что касается меня, то я всегда верил, что нуль представляет здесь пустота, и никакое реальное тело ему не эквивалентно. Но хотя я только остерегался предполагать более чем я знаю, Дзантедески (кажется, также и Де ла Рив) с некоторыми другими, думают, по-видимому, что я утверждал, будто газы не подвержены магнитному действию. Между тем я желал только сказать, что я не мог обнаружить такого действия и что, может быть, его и не существует. В связи с этим я приведу некоторые свои слова из Экспериментальных исследований. Описывая изготовление жидкой среды с нулевыми свойствами, я говорю: «Таким образом была получена *жидкая* среда, которая практически, поскольку я это мог заметить, обладала всеми магнитными свойствами и действиями газа или даже вакуума; и т. д.» (Экспериментальные исследования, 2423). Далее, в (2433) я говорю: «Когда-то я думал, что воздух и газы как тела, допускающие утоньшение их вещества без прибавления чего-либо другого, дадут возможность наблюдать соответствующие изменения в их магнитных свойствах; но теперь, по-видимому, всякая возможность добиться этого путем разрежения отпадает». И затем ниже в (2435): «Связаны ли отрицательные результаты, получаемые при пользовании газами и парами, с *меньшим количеством вещества* в данном объеме или же они являются прямым следствием изменившегося физического состояния материи, этот вопрос имеет весьма большое значение в теории магнетизма. Для освещения этого вопроса я задумал опыт и т. д., но ожидаю встретить большие затруднения при его осуществлении и т. д.». К счастью, открытие о Банкалари выяснило теперь для нас этот вопрос самым удовлетво-

рительным образом. Но где находится истинный нуль, или что каждое тело в большей или меньшей степени удалено от него в одну или другую сторону, это до сих пор не выяснено и не доказано экспериментально.

Я не могу закончить это письмо, не выразив надежды, что, поскольку установлено магнитное действие на газы, вскоре будет обнаружено и то, что они, находясь под влиянием магнетизма, окажутся способными действовать на свет (Экспериментальные исследования, 2186, 2212). Я также не могу не отметить весьма замечательное и прямое соотношение между силами теплоты и магнетизма, которое выявляется в опытах над пламенем, нагретым воздухом и газами. Я не смог ранее обнаружить (Экспериментальные исследования, 2397), чтобы было заметно действие теплоты на твердые диамагнитные тела, но я повторю эти опыты и сделаю другие, в более широком масштабе, если только их уже не произвели итальянские ученые. В отношении действия (тепла) на диамагнитные газы следует заметить, что, вообще говоря, оно направлено в ту же сторону, как действие тепла на железо, никель и кобальт. Именно, теплота действует двояко: или производит уменьшение магнитной силы, или — увеличение диамагнитной силы; но результатов пока получено так мало, что из них еще нельзя сделать какого-либо общего заключения.

Поскольку воздух при различных температурах имеет различные диамагнитные свойства, а атмосфера имеет различную температуру в высоких и низких слоях, эти обстоятельства могут оказывать некоторое общее влияние и действие на ее результирующее движение и происходящие в ней явления, ибо она все время подвержена магнитному влиянию земли.

Ради краткости, я часто говорил в этом письме о телах, магнитных или диамагнитных одно по отношению к другому; я надеюсь, что во всех этих случаях не возникнет никакого недоразумения относительно того смысла, в котором я понимаю эти термины, и не появится никакого неясного представления относительно четкого разграничения между этими

двумя классами, особенно после того, как одной-двумя страницами ранее я высказал свой взгляд на истинный нуль.

Остаюсь, дорогой сэр,

Ваш и т. д.

М. Фарадей.

Ричарду Тэйлору,

Редактору Phil. Mag. и т. д. и т. д.

О ДВИЖЕНИЯХ, ОБНАРУЖИВАЕМЫХ ПЛАМЕНЕМ
ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

Проф. Дзантедески

Самые видные ученые считали во все времена, что магнетизм представляет общее свойство тел;¹ и в наши дни Фарадей — единственный, кто поместил сжимаемые жидкости на нуль шкалы действия, между магнитными и диамагнитными телами. 21 сентября 1847 г. в Физической секции девятого Итальянского научного съезда в Венеции отец Банкалари, профессор физики в Королевском Генуэзском университете, прочел доклад о всеобщности магнетизма; и его доказательства показали ученым столь важными, что возникло желание проверить главным образом действие магнетизма на сжимаемые жидкости. На заседании 27 сентября докладчик Белли сообщил, что в присутствии многих ученых было доказано, что пламя, помещенное между двумя полюсами электромагнита, отталкивается в момент замыкания электрического тока и возвращается к прежнему положению, как только ток размыкается. Это открытие было встречено заслуженным одобрением со стороны генерального секретаря и секретаря Физической секции в заседании 28 сентября. Некоторые выразили желание увидеть воочию опыт Банкалари; был приведен в готовность прибор Даниэля из десяти элементов, размером в восемнад-

¹ Raccolta Fisico-Chimica Italiana, III. Dei corpi magnetici e diamagnetici.

цать сантиметров каждый, и я попытался повторить опыт в Физическом кабинете Королевско-императорского Венецианского лицея; но мне не удалось наблюдать ожидаемое явление. Мой временный магнит мог поднимать груз весом около 48 кг; но поскольку я держусь того принципа, что отрицательный аргумент никогда не уничтожает положительного, я, с целью дальнейшего выяснения вопроса, попросил механика Кобрса сообщить мне подробности о приборе. Белли не говорил о них в своем докладе, и на них не обратил внимания и проф. Цамбра, секретарь сеиции. Я знал, что два куска мягкого железа, составлявшие прерванный якорь, были просверлены в направлении оси. Я заподозрил, что отталкивание пламени было не непосредственным результатом действия магнетизма, а вызывалось двумя потоками воздуха, которые выходили из отверстий просверленного якоря; как показал знаменитый Фарадей, для жидкостей причиной этих потоков было вихревое движение, обусловленное магнетизмом.¹ Отрицательный результат опыта, поставленного мною в Венеции с сплошными кусками (якоря), я считал подтверждением этого подозрения. По прибытии в Турин, я поделился своими сомнениями с известными механиками Джестами, отцом и сыном, которые со своим профессиональным искусством соединяют редкую любовь. Они вскоре построили мне в своей лаборатории прибор Бунзена и, по моим указаниям, сделали оконечности из мягкого железа, образовавшие прерванный якорь, как сплошными, так и просверленными, как в форме параллелепипеда, так и в форме цилиндра. Я повторил опыты с ними вместе: временный магнит, имевший форму подковы, представлял цилиндр из мягкого железа длиною в Ом.335 и диаметром в Ом.015; его электромагнитная катушка состояла из медной проволоки длиною в 33м, диаметром в один с третью миллиметра; внутреннее расстояние между полюсами равнялось Ом.027; два твердых контакта в форме параллелепипедов,

¹ Raccolta, citat. выше, т. II, Relazione dell'influenze della forze electriche e magnetiche sulla luce ed il calorico.

составлявшие прерванный якорь, имели длину 0м.04 и стороны в 0м.011 и 0м.006; полюсы окончания имели в длину 0м.035 и сторону 0м.009. Они находились в расстоянии от четырех до пяти миллиметров друг от друга, причем магнит был установлен в вертикальном положении, с полюсами, обращенными вверх. Перед промежутком, разделяющим накладки, помещалось пламя небольшой свечи или же масляной или спиртовой лампочки, так что оно возвышалось своей верхушкой приблизительно на четверть толщины накладок. Электрический контур замыкался медными проволоками, и металлические соединения как у магнитных полюсов, так и у полюсов батареи производились посредством зажимов; а одна из проволок была разделена на две равные части, и концы были погружены в сосуд со ртутью, что давало возможность по желанию замыкать и размыкать ток.

При замыкании контура я постоянно наблюдал отталкивание, которое продолжалось все время, пока поддерживался магнетизм; а при размыкании контура я видел, как пламя возвращалось в свое первоначальное положение. Удовлетворенный тем, что таким путем я подтвердил важный факт, открытие которого делает честь его исследователю, я стал изучать явление подробнее и нашел:

I. *Что оно имеет место при накладках как из сплошного, так и из полого мягкого железа; это разрушило мои подозрения в том, что движения пламени можно приписать потокам воздуха; я сам убедился, что они вызывались непосредственным действием магнетизма на пламя — факт величайшей научной важности.*

II. *Что отталкивание, когда оно вполне яственно, а пламя вполне чисто и оканчивается резко выраженным язычком, сопровождается укорочением: отталкивание и укорочение наблюдаются одновременно при замыкании контура; возвращение пламени обратно и его удлинение — при размыкании контура.*

III. *Что ceteris paribus (при прочих равных условиях), наибольший эффект имеет место тогда, когда пламя касается*

выпуклой части магнитных кривых, обнаруживаемых железными опилками.

IV. Что действие равно нулю или почти равно нулю, когда пламя находится в центре промежутка между двумя накладками.

V. Что для обнаружения упомянутых выше эффектов нет необходимости, чтобы накладки были совершенно отделены друг от друга: они могут быть расположены под углом и соприкасаться двумя ребрами; пламя, помещенное в основании этого треугольника, обыкновенно обнаруживает оба описанные явления.

VI. Что действие особенно велико при некоторой определенной массе накладок (или частей якоря): за известным пределом, который может быть выяснен на опыте, увеличение массы сопровождается уменьшением эффекта; я заключил, что в этом и состоит причина отрицательных результатов, полученных мною в Венеции при первых произведенных там опытах.

VII. Что движения пламени усиливаются с увеличением числа пар (пластинок батареи). При одной паре эффект был для меня еще заметным:¹ при двух парах начали обнаруживаться движения; при трех парах они стали вполне отчетливыми и усиливались с увеличением числа пар до десяти, наибольшее число, каким я пользовался в этом опыте. Пары были обычного при изготовлении размера.

При повторении опытов, как это было указано выше, мы для предосторожности покрывали прибор колпаком, который был открыт сверху и поддерживался снизу двумя дисками,

¹ Г.г. Джест изготовили для меня вчера вечером электромагнит в форме круга, прерванный призматическим сечением с промежутком в два миллиметра; и я без всяких накладок получил достаточно ясно выраженное явление при одном только элементе. В этом случае наиболее заметные движения имели место при наибольшей близости пламени к сечению.

Прибор в полном виде, круглой формы, снабженный стеклянным колпаком и всеми добавочными приспособлениями, но без батареи, продается в Турине у г.г. Джест по цене тридцать франков.

оставлявшими свободный доступ воздуху, необходимому для поддержания горения. Таким образом можно было избежать всяких парушений и опасности возмущений (возможных) в данных условиях.

Заканчивая эту статью, я не могу не упомянуть о том, что знаменитый проф. Гацданига, на основании своих многочисленных опытов, которыми он доказывал действие магнетизма на те же газообразные вещества, что и Банкалари, но иными методами, пришел к заключению, что Солнце и другие небесные тела представляют собою огромные магниты. Тем самым он установил, что притяжение есть не что иное, как действие магнетизма на большие массы в пространстве, находящиеся на громадных расстояниях. Эта мысль была затем вновь высказана в 1846 г. в Пруссии, а в 1847 г. — во Франции, как можно видеть из *Comptes Rendus* Парижской Королевской Академии наук. Если это так, то тайна притяжения на расстоянии без промежуточной среды перестала бы быть тайной, и явления притяжения вновь вошли бы в область явлений, подчиненных законам обычной динамики.

Из «Gazz. Piem.»,
12 окт. 1847, № 242

О ПРИМЕНЕНИИ ГУТТАПЕРЧИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ¹

Дорогой Филиппе, недавно я обнаружил, что гуттаперча весьма полезна при электрических опытах; поэтому, чтобы и другие при случае или при желании могли воспользоваться ее свойствами, я передаю Вам эту заметку для напечатания в *Philosophical Magazine*.

Полезьа гуттаперчи зависит от высокой изолирующей способности, которой она обладает при обыкновенных условиях, а также от того, что она сохраняет эту способность при тех состояниях атмосферы, при которых поверхность стекла ста-

¹ *Philosophical Magazine*, март 1848, XXXII, 165.

новится хорошим проводником. Правда, не всякая гуттаперча, вышедшая из рук мастера, одинаково хороша; но, по-видимому, не трудно привести ее в наилучшее состояние; я опишу качества удовлетворительного образца, а затем остановлюсь на различиях. Хороший кусок гуттаперчи изолирует так же хорошо, как и одинаковый с ним кусок шеллака — все равно в какой форме: пластинки, стержня, нити; и хотя он тверд и гибок в холодном состоянии, но мягок — в нагретом, он оказывается лучше шеллака во многих случаях, где недостатком шеллака является его хрупкость. Благодаря этому из гуттаперчи хорошо делать неломаящиеся ручки для носителей электричества в индукционных опытах; в форме тонкой ленты или шнура она служит прекрасным изолирующим подвесом; кусок ее в виде листа — наилучшая изолирующая подставка для любого помещенного на нем предмета. Она представляет прекрасные изолирующие пробки для стержней электрометров с золотыми листочками — стержней, пропускаемых через защитные трубки, — а пробки больших размеров служат хорошими изолирующими ножками для временных электрических установок; цилиндры в поддюйма или более диаметром обладают большой жесткостью и представляют прекрасные изолирующие столбики. Изолирующая способность гуттаперчи может быть использована как описанными способами, так и многими другими.

В силу своей хорошей изоляции, она является также прекрасным веществом для возбуждения отрицательного электричества. Стоит только вынуть из бумаги или взять в руку такую подметку (они продаются у сапожников), и она возбуждается в такой степени, что листки электрометра расходятся на один и более дюймов; или, если она не наэлектризована, то самое легкое поглаживание ею руки, щеки, платья или почти что любого иного предмета уже придает ей электрическое состояние. Иногда гуттаперча продается весьма тонкими листками, напоминающими по внешности промасленный шелк; и если протянуть полоску из нее между пальцами, она так наэлектри-

зовывается, что прилипает к руке и притягивает кусочки бумаги. Это наводит на мысль о том, что можно было бы превратить более толстый слой такого вещества в электрическую машину с пластинкой для получения отрицательного электричества.

Что касается передачи индуктивного действия через это вещество, то из его листка легко сделать прекрасный электрофор; его можно также свадбить обкладками и пользоваться им вместо Лейденской банки или в виде прибора какого-либо иного вида, имеющего дело с индуктивным действием.

Я указал выше, что не всякая гуттаперча обладает такими хорошими электрическими свойствами. Та, которая ими не обладает (такая гуттаперча составляет около половины всей той, которая была куплена в магазине и прошла через мои руки), или разряжала электромметр так же, как кусочек бумаги или дерева, или заставляла листки сильно спадаться при прикосновении с ним, но после ее удаления листки вновь расходились на полный угол. Последний эффект мне удалось распутать, и я выяснил, что он зависел от проводящего участка внутри массы, покрытого тонкой внешней непроводящей оболочкой. Если отрезать хорошо изолирующий кусок, то поверхность разреза имеет смолистый блеск и явственно выраженный компактный характер; кусок же гуттаперчи, обладающий проводимостью, не имеет такого блеска, кажется менее прозрачным и скорее имеет вид застывшего мутного раствора. Я полагаю, что при производстве продажной гуттаперчи применяется как влажный горячий пар, так и водяные ванны, и различие между теми и иными образцами определяется теми способами, какими эти операции применяются, а также последующим процессом прокатывания между горячими цилиндрами. Впрочем, если кусок проводящей гуттаперчи нагреть в потоке горячего воздуха, — например, над стеклом низкой газовой горелки, — вытянуть, перегнуть и помять некоторое время в пальцах, как бы желая выжать находящуюся внутри влагу, то этот кусок становится не хуже самого лучшего изолятора.

Я мочил хороший образец в воде в продолжение часа; затем я его вынул, вытер и положил на одну-две минуты на воздух, и оказалось, что он изолировал нисколько не хуже, чем прежде. Другой кусок лежал в воде в течение четырех дней, затем был вытерт и испытан; вначале оказалось, что его изолирующая способность понизилась; но после того, как он пролежал двенадцать часов на воздухе при обычных условиях, он оказался столь же хорошим, как и раньше. Я не обнаружил улучшения в свойствах неизолитованного куска после того, как он находился целую неделю в шкафу с теплым воздухом; наружная пленка стала непроводящей; но когда изнутри был вырезан кусок, и свежие поверхности разреза были помещены между электрометром и пальцем, то оказалось, что внутренняя часть все же оставалась проводящей.

Если подвергнуть хорошую или плохую (в смысле электрической изоляции) гуттаперчу постепенному повышению температуры примерно до 350° или 380° , то она выделяет значительное количество воды; если ее затем охладить, то остающееся вещество обнаруживает все обычные свойства гуттаперчи и изолирует хорошо. Первоначально ваятая резина, вероятно, представляет сложное тело, смесь нескольких веществ; существовала ли в ней вода в виде гидрата, или эта вода появилась в результате более глубоких изменений в одной или другой части резины, этого я не могу сказать. В настоящей заметке я хочу лишь указать на применения гуттаперчи при устройстве временных или постоянных электрических приборов, что может послужить на пользу работающим в этой области ученым как начинающим, так и обладающим известным опытом.

Остаюсь, дорогой Филиппе,

Ваш

М. Фарадей.

Королевский институт.

9 февраля 1848 г.

СООБРАЖЕНИЯ О МАГНИТНОЙ СИЛЕ¹

Излагаемые в дальнейшем общие соображения относятся к двум великим силам, которые свойственны земному шару и которые он проявляет как всей своей массой, так и своими частицами, а именно, к магнетизму и тяготению. Поэтому необходимо напомнить вкратце некоторые свойства и различия этих двух сил, на которые мы уже имели случай указывать ранее. Обе силы могут действовать на расстоянии — и, без сомнения, на каком угодно расстоянии; но тяготение может рассматриваться как сила простая и лишенная полярных свойств; наоборот, магнетизму присуща двойственность и полярность. Так, нельзя представить себе, чтобы *одна* тяготеющая частица или система действовала тяготением сама на себя, как частица или система; магнитная же частица или система может находиться в таком отношении сама к себе вследствие двойственной природы своего действия. Далее, каждая из полярностей магнитной силы может действовать притягательно или отталкивательно; и не только каждая из них, но и совокупное или *двойственное* действие магнита может также носить характер притяжения или отталкивания, как в случае парамагнитных или диамагнитных тел; действие же тяготения — всегда притягательное. Дальнейшим следствием различия в характере этих сил оказалось, что в отношении существования физических силовых линий² для сил двойственных, как электричество или магнетизм, не высказывалось никакого или почти никакого сомнения; в отношении же тяготения колебались сделать столь же определенное заключение. В применении к возрастающим магнитным взаимоотношениям Солнца и Земли, полезно помнить указание Араго на их сравнительную величину; ибо если представить себе, что центры этих двух шаров совмещены друг с другом, то границы Солнца не только до-

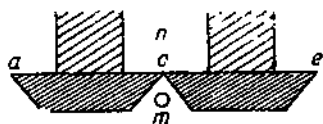
¹ Proceedings of the Royal Institution, 21 января 1853.

² Proceedings of the Royal Institution, 11 июня 1852, стр. 216 (см. стр. 607); также Phil. Mag., 4 серия, 1852, III, стр. 401 (см. стр. 564).

стигли бы Луны, но распространялись бы дальше почти на такое же еще расстояние, ибо объем его примерно в семь раз больше, чем объем шара, который был бы опоясан лунной орбитой.

Для более подробного изучения магнитной силы были построены крутильные весы особого вида. Крутильная проволока была из твердой протянутой платины, в 24 дюйма длиною и с таким диаметром, что 28.5 дюйма весили один гран. Как обычно, она была прикреплена к крутильной головке и указателю. Горизонтальным коромыслом служила стеклянная трубочка, которая заканчивалась со стороны, на которую подвешивались объекты, стеклянным крючком. Объекты, которые подвергались действию магнитной силы, были или стеклянные цилиндры с вытянутой из каждого их них нитью, так что образовался длинный жесткий крючок для подвеса на коромысле, или цилиндрические колбочки из стекла той же формы, но больших размеров, выдутые из стеклянных трубок, или другие предметы. Узкие окончания сосудов, представлявшие собою трубки, можно открыть; тогда путь был свободен от одного конца до другого; сосуды можно было тогда наполнить любой жидкостью или газом, запаять и вновь подвергать затем раз за разом действию магнитной силы. Источником силы служил вначале большой электромагнит; но впоследствии, чтобы иметь уверенность в постоянстве силы и чтобы можно было продолжать наблюдения как угодно долго, Королевским Институтом был приобретен и использован для исследований большой магнит, построенный г. Лоджменом по принципам, разработанным д-ром Элиасом (этот магнит, при весе около 100 ф., мог держать на весу 430 ф., согласно отчету Жюри Всемирной выставки). Магнит был расположен так, что ось действия находилась на 5 дюймов ниже уровня стеклянного коромысла, причем в промежутке проходила нить подвеса или крючок, о которых было сказано выше. Форма и положение окончаний из мягкого железа показаны в разрезе на рисунке в масштабе $\frac{1}{10}$; показано также и место, где помещается объект.

Вся эта часть заключена в ящик, который принадлежит крутильным весам и на котором они установлены; этот ящик устанавливается с помощью шести винтов, укрепленных в столике магнита; и так как и на ящике, и на столике нанесены линии и деления, то нетрудно установить первый на втором так, чтобы коромысло находилось над линией *ae* и было ей параллельно, а точка подвеса приходилась над *c*. Перемещая весь ящик параллельно самому себе по направлению к *m*, можно было помещать точку подвеса на любом расстоянии от угла *c*. Как уже было упомянуто, объекты имели нить



для подвешивания такой длины, чтобы они могли совпадать по высоте с углом в магнитном поле. Будучи подвешены на коромысле, они уравнивались свинцовым кольцом или кольцами на другом конце коромысла. Их в случае необходимости можно было перемещать вдоль коромысла, пока последнее не устанавливалось горизонтально; и это положение обеспечивалось держателем с двумя плечами; на нем лежало коромысло, когда прибор не работал; им коромысло можно было остановить, когда оно колебалось, а когда нужно было, держатель его освобождал. Движение ящика вправо или влево, с целью привести объект к середине магнитного угла, достигалось при помощи двух из ранее упомянутых винтов; перемещение его на данное расстояние от *c* — при помощи остальных четырех.

Предполагая, что когда коромысло вверх было нагружено и перед магнитом не было никакого объекта, расстояние от *c* до *m* составляло 0.6 дюйма (коромысло первоначально было, конечно, установлено в нормальном положении, а указатель кручения был поставлен на нуль), оставалось только определить возвращение коромысла на прежнее место, когда к нему был привешен объект и подвергнут отталкиванию. Это производилось следующим образом: на коромысле вблизи его сере-

Предполагая, что когда коромысло вверх было нагружено и перед магнитом не было никакого объекта, расстояние от *c* до *m* составляло 0.6 дюйма (коромысло первоначально было, конечно, установлено в нормальном положении, а указатель кручения был поставлен на нуль), оставалось только определить возвращение коромысла на прежнее место, когда к нему был привешен объект и подвергнут отталкиванию. Это производилось следующим образом: на коромысле вблизи его сере-

дины, под точкой подвеса, прикрепляется небольшое плоское зеркальце; в расстоянии около 6 футов от него помещается небольшой телескоп, соединенный с отдельной шкалой, притом в таком положении, что когда коромысло находится в равновесии, то определенное деление шкалы совпадает с тонкой проволочкой в телескопе. Когда коромысло движется, то, конечно, нам кажется, что шкала проходит мимо проволочки, притом с двойной угловой скоростью, вследствие отражения. Таким путем легко отсчитать пятидесятые и даже сотые доли дюйма, и так как при радиусе в 6 футов каждый градус видимым образом занимает 2.4 дюйма, то можно наблюдать угловое смещение, или разность, в $\frac{1}{240}$ градуса; а поскольку радиус плеча коромысла, на котором подвешен объект, был равен 6 дюймам, такая величина составила бы на нем менее $\frac{1}{2000}$ дюйма. Таким образом, возвращение коромысла к первоначальному или нормальному положению под влиянием силы кручения, приложенной к нему, чтоб уравновесить отталкивание, может быть определено с точностью до упомянутой величины. Когда коромысло было установлено и к нему подвешивался объект, то если он был диамагнитным, он отталкивался; наблюдатель, сидя у телескопа, мог при помощи длинной ручки, колеса и привода производить кручение, пока коромысло не приходило в прежнее положение; а затем величина кручения, отсчитанная на градуированной шкале, давала возможность оценить в градусах меры отталкивательной силы. Во время производства наблюдений магнит, весы и телескоп были все укреплены а цокольном этаже, на каменном полу. Но мы не считаем необходимым описывать здесь все предосторожности, которые должны быть приняты в отношении длительности одного наблюдения, выбора проволоки, применяемой для подвешивания при сильном кручении, возможной электризации объекта или коромысла от прикосновения, влияния слабых воздушных потоков внутри ящика, формы объекта; предосторожности в отношении капиллярного дей-

ствия, когда в качестве среды берется жидкость, и другие обстоятельства; или применение различных арретиров и ход опыта в случаях парамагнитного действия. В настоящий момент наша цель заключается только в том, чтобы дать ясное представление о самых принципах действия.

Когда тело подвергается влиянию магнита, на него влияет, в смысле результирующего действия, не только магнит, но и окружающая его среда; и если даже заменить эту среду пустотой, то остается то же взаимоотношение тела и пустоты. Результат, на деле, всегда дифференциальный; всякое изменение среды изменяет действие на объект, и есть множество веществ, которые, будучи окружены воздухом, отталкиваются, а водой — притягиваются при приближении магнита. Когда определенный стеклянный цилиндр их, весящий всего 66 гран, был подвергнут на крутильных весах действию магнита Лоджмена в окружении воздуха, потребовалось кручение лишь на 15° , чтобы преодолеть отталкивательную силу и возвратить объект на прежнее место; при этом расстояние цилиндрика от осевой линии было 0.5 дюйма. Когда в магнитное поле был помещен сосуд с водой и опыт был повторен, цилиндр, находившийся теперь в воде, притягивался, и чтобы преодолеть это притяжение на данном расстоянии 0.5 дюйма, потребовалось кручение на $54^\circ.5$. Если бы сосуд содержал жидкость, в точности одинаковую по диамагнитному действию со стеклянным цилиндром, последний не испытывал бы ни притяжения, ни отталкивания, и поэтому кручение было бы равно 0° . Итак, для трех тел — воздуха, стекла (определенный образец) и воды — их относительная сила, измеренная по отношению друг к другу, выражаются числами $15^\circ, 0^\circ$ и $54^\circ.5$. Если взять другие жидкости — например, масло, эфир и т. п. — в качестве среды, окружающей *тот же стеклянный цилиндр*, то величина кручения, полученная соответственно для каждого из них, определяет их место в магнитном ряду. Это — принцип гидрометра или принцип Архимеда для тяжести в приложении к случаю магнитных сил. Если взять другой цилиндр, других

размеров или из другого вещества, или на иных расстояниях, то числа, выражающие кручение, будут другие, и нуль (определяемый по цилиндру) также будет другой; но середины (за одним исключением, которое будет приведено ниже) останутся в том же отношении друг к другу, как и в предыдущем случае. Поэтому, чтобы свести все экспериментальные результаты к одному общему соотношению, мы приняли стоградусную шкалу, на двух концах которой стоят воздух и вода при обычной температуре, т. е. $60^{\circ}\Phi$. С этой целью каждый отдельный ряд наблюдений, произведенных в точности при одних и тех же условиях, заключал всегда воздух и воду; и затем все результаты одного из рядов множились на такое число, чтобы разность между воздухом и водой обратилась в 100° ; тогда три приведенные выше значения обращаются в $21^{\circ}6$, 0° и 78.4 . Таким путем мы получаем магнитные интервалы между различными телами на стоградусной шкале, но истинный нуль остается еще не определенным. Можно принять за нуль и воду, и воздух, и стекло, ибо интервалы ни в какой степени от этого не зависят, но результаты изменятся при этом, как показано ниже:

Воздух	0°	$21^{\circ}6$	100°
Стекло	21.6	0	78.4
Вода	100	78.4	0

при этом вещества, находящиеся выше нуля, парамагнитны по отношению к нему, а находящиеся ниже — диамагнитны. В таблице результатов, приведенной далее, я принял за нуль пустоту.

Таким образом ясно, что в принципе каждое твердое тело, независимо от его размеров, формы или качества, может быть включено в перечень соответственно действию на него магнита в воздухе и в воде, или в жидкостях, уже приведенных с ними в известное соотношение. В него, далее, могут быть включены и жидкости, если взять для них, воздуха и воды, *одно и то же* погруженное в них твердое тело; наконец, если мы возьмем один и тот же сосуд — например, одну и ту же стеклянную колбочку — и будем наполнять его последовательно различ-

ными газами или жидкостями, всегда включая в этот ряд воздух и воду, то для всех этих тел можно будет найти приведенные значения и дать им место в списке. Ниже мы приводим таблицу для некоторых веществ, выраженную в стоградусной шкале. Правда, в отношении применения описанных крутильных весов есть еще много пунктов, требующих дальнейшего разъяснения как с теоретической, так и с практической точки зрения, так что эти результаты имеют лишь приближенное значение. Однако, если для каждого данного вещества тщательно поставить три-четыре опыта при одних и тех же условиях в смысле расстояния, действия и т. п. и взять для каждого среднее, то полученные числа отличаются от принадлежащего истинному месту данного вещества немного более, чем на градус, а иногда и меньше,

Аммиачный раствор закиси меди (Prot-ammo. of correp)	134°23	Камфора	82°59
Аммиачный раствор окиси меди (Peg-ammo. of correp)	119.83	Камфен	82.96
Кислород	17.5	Льняное масло	85.56
Воздух	3.4	Оливковое масло	85.6
Маслородный газ	0.6	Воск	86.73
Азот	0.3	Азотная кислота	87.96
Пустота	0.0	Вода	96.6
Углекислый газ	0.0	Раствор аммиака	98.5
Водород	0.1	Бисульфид углерода	99.64
Аммиак	0.5	Насыщ. раствор селитры	100.08
Циан	0.9	Серная кислота	104.47
Стекло	18.2	Сера	118
Чистый цинк	74.6	Хлорид мышьяка	121.73
Эфир	75.3	Расплавленный борат свинца	136.6
Алкоголь, абсолютн.	78.7	Фосфор	
Лимонное масло	80	Висмут	1967.6

Действия отнесены к расстоянию 0.6 дюйма от магнитной оси магнита, как было устроено и описано выше, и, конечно, к *разным объемам* рассматриваемых тел. Последние десятичные знаки нельзя считать точными — разве только в том, что они точно соответствуют записям об опытах; они являются лишь результатами вычислений. Водород, азот и, возможно, некоторые другие тела, близкие к нулю, могут оказаться в конце концов не отличающимися от пустоты; очевидно, что небольшое количество кислорода дало бы некоторую разницу, подобную той, какую мы видим в газообразном азоте. Первый помещенный в таблице раствор меди был бесцветен, второй представляет тот же раствор, окисленный путем простого вабалтывания в склянке с воздухом, причем количество меди, аммиака и воды было в обоих случаях одно и то же.

Плюккер в своей весьма ценной статье¹ исследовал тела, относящиеся к сильно парамагнитным веществам, и сделанные им определения действия относятся к равным весам.

Одной из основных целей при постройке столь чувствительного прибора, как описанный выше, было исследование некоторых определенных вопросов, относящихся к науке о магнетизме, в частности вопроса о правильном применении закона обратной пропорциональности квадрату расстояния, как универсального закона магнитного действия. Обычное магнитное действие можно разделить на два рода: взаимодействие между магнитами, которые намагничены постоянным образом и свойства которых не изменяются, и взаимодействие между телами, из которых одно представляет постоянный неизменяемый магнит, а другое, не обладая собственным магнетизмом, приобретает и сохраняет его лишь под действием первого. Действия первого рода в самых ясных и чистых случаях, по-видимому, следуют упомянутому закону; но было бы преждевременно предполагать заранее и без достаточного количества веских доказательств, что этот закон применим и к случаям

¹ Taylor's Scientific Memoirs, V, стр. 713, 730.

второго рода. Такое поспешное заключение могло бы оказаться в противоречии с тем, что действительно наблюдается в природе, и тем самым, порождая предвзятое мнение, послужило бы во вред успехам науки. Мы не знаем, от чего зависят соответственно парамагнитные или диамагнитные свойства таких тел, как кислород, медь, вода, висмут и т. д.: от большей или меньшей проводимости в отношении линий магнитной силы или от чего-нибудь вроде полярности их частиц или масс или, наконец, от какого-либо иного состояния, о котором мы пока не имеем никакого представления. И мало надежды, чтобы мы выяснили истинные свойства, а тем самым причину магнитного действия, если мы заранее примем еще не доказанный закон этого действия, отбросив опыты, которые опровергают его. В самом деле, Плюккер определенно установил тот факт, что диамагнитная сила возрастает с возрастанием силы основного магнита быстрее, чем магнитная сила; а этот факт противоречит упомянутому выше закону. Ниже мы даем еще некоторые дополнительные результаты, относящиеся к этому вопросу.

Если какое-либо тело подвергается действию большого постоянного магнита Лоджмена в воздухе и в воде и если привести результаты к стоградусной шкале, то соотношение этих трех веществ остается одним и тем же для одного и того же расстояния, но не для разных расстояний. Так, когда некоторый цилиндр из флинтгласа был подвергнут действию магнита в окружении воды и воздуха на расстоянии в 0.3 дюйма, то, как уже было описано ранее, он оказался диамагнитным по отношению как к тому, так и к другому веществу; и когда результаты были приведены к стоградусной шкале, причем вода принята за нуль, стекло дало 9°1 ниже воды, т. е. оказалось по диамагнитную сторону от нее. На расстоянии 0.4 дюйма оно было на 10°6 ниже воды; на расстоянии 0.7 — на 12°1 ниже воды. Когда было взято более диамагнитное тело, а именно, тяжелое стекло, получился тот же результат, но еще более резко выраженный; ибо на расстоянии 0.3 оно оказалось на 37°8 выше воды, а на расстоянии 0.8 — на 48°6 выше.

Еще более поразителен был случай с висмутом, хотя объем этого вещества был взят по необходимости весьма малым, и потому нельзя ручаться с той же достоверностью за точность чисел. Ниже даются результаты для трех веществ, причем воздух всегда принимается за 100° , а вода за 0° ; в первом столбце содержится расстояние¹ в десятых долях дюйма от осевой линии магнитного поля для каждого из веществ, а во втором — занимаемое им место в (магнитных) градусах стоградусной шкалы ниже воды.

Флинтглас	Тяжелое стекло	Висмут
0.3—9.1	0.3—37.8	0.6—1871°
0.4—10.6	0.4—38.6	1.0—2734
0.5—11.1	0.6—40.0	1.5—3626
0.6—11.2	0.8—48.6	
0.7—12.1	1.0—51.5	
	1.2—65.6	

Отсюда следует, что чем больше расстояние диамагнитного тела от магнита, тем более оно диамагнитно по отношению к воде, если взять за мерило расстояние между водой и воздухом. Дальше, если только позволительно делать заключение на основании столь малого числа опытов, оказалось бы, что чем более данное тело диамагнитно по отношению к воздуху

¹ Определенное изменение расстояния необходимо влечет за собой изменение в степени действия и в форме силовых линий; но величина этого изменения не всегда одна и та же. В одном и том же расстоянии 0.4 дюйма силы, направленные в противоположные стороны от осевой линии к *m* и *n* на рисунке на стр. 684, не равны; и то же относится и к любому другому не слишком большому расстоянию. Хотя при увеличении и уменьшении расстояния изменение происходит в одном и том же направлении, но величина его различна. Если соответственным образом приспособить оконечности (магнита), то можно достигнуть того, что изменение будет происходить с чрезвычайной быстротой и одним направлением и крайне медленно, или даже его совсем не будет, в другом.

и в воде, тем больше становится это различие. Вначале можно было подумать, что эти результаты могут быть обусловлены некоторым предшествующим состоянием, сообщенным телу, вследствие того, что оно находилось ближе к магниту или дальше от него. Однако в дальнейшем было установлено, что результаты были одни и те же, независимо от того, в каком порядке производился опыт: переходя от малых расстояний к большим, или наоборот; оно не изменялось также и от того, что тело один раз помещалось до измерения вплотную к магниту, а в другой — приближалось к нему с некоторого расстояния. Ни в одном из этих случаев нельзя было обнаружить какого-либо временно индуцированного состояния.

Из опытов, если только они будут подкреплены дальнейшими исследованиями, не вытекает, что только стекло или висмут изменяются по отношению к другим двум телам. Может изменяться и кислород воздуха, и вода, и, возможно, и все прочие тела; ибо, если этот вывод представляется правильным и естественным в рассматриваемых случаях, то он, по всей вероятности, охватывает все вещества. Существенно то, что исследуемые три тела — воздух, вода и тело, подвергаемое опыту, изменяют величину магнитных отношений друг к другу; в различных заданных расстояниях от магнита изменение их магнитной силы, согласно опыту, не остается одинаковым. Если этот результат подтвердится, то он не может находиться в согласии с законом действия обратной пропорциональности квадрату расстояния. Гидрометр, плавающий в жидкости и поддерживаемый только притяжением Земли, стоял бы (при прочих равных условиях) на одной и той же точке, независимо от того, где он может находиться: на земной поверхности или в удалении от нее на несколько земных диаметров, ибо действие силы тяжести обратно пропорционально квадрату расстояния. Но если мы предположим, что вещества гидрометра и жидкости различны в магнитном отношении, как это имеет место для воды и висмута, и что Земля действует силой магнетизма, а не тяготения, тогда, согласно опытам; гидро-

метр для различных расстояний стоял бы на различных точках, и таким образом не мог бы подчиняться упомянутому закону.

Причину изменения в отношениях различных веществ друг к другу, если его наличие будет окончательно подтверждено, еще предстоит выяснить. Оно может зависеть каким-либо образом от *формы* линий магнитной силы, ибо эта форма различна на различных расстояниях; или не от формы линий, а от *величин* действия на различных расстояниях; или не только от величины, а и от того обстоятельства, что во всех случаях через различные точки тела, подвергаемого опыту, проходят линии *различной величины силы* (ибо как бы ни отличались магнитное и диамагнитное состояние тела и окружающей его жидкости, они в поле равной силы совершенно не перемещались бы одно относительно другой). Но, какова бы ни была причина, она связана с магнитными действиями, и поэтому должна подчиняться всякому закону, который, как предполагается, управляет этими действиями.

До сих пор не было отмечено, что эти общие результаты, по-видимому, находятся в прямом противоречии с результатами Плюккера, который пришел к выводу, что диамагнитное действие, с возрастанием силы, возрастает быстрее магнитного. Но, если оба заключения согласны с фактами, то это обстоятельство указывает лишь на то, что мы еще очень мало знаем о физической природе этой силы. Мы не должны закрывать глаза на первые смутные проблески этих явлений только потому, что они как с одной, так и с другой стороны, несовместимы с нашими гипотетическими законами; наоборот, мы должны неизменно помнить о них в надежде, что в них мы найдем ключ к истинному закону природы. По-видимому, когда тела подвергаются действию магнита, они приходят в новое физическое состояние, которое изменяется в зависимости от расстояния до магнита или от его силы. Для каждого тела скорость возрастания или убывания различна; и эта скорость может быть такова, что установится связь между стоящим на одном краю явлением Плюккера для парамагнитных

тел, с одной стороны, и стоящими на другом краю только что описанными явлениями в диамагнитных телах, с другой. Если мы поймем это все должным образом, мы увидим, что кажущееся противоречие обратится в гармонию, хотя оно, может быть, окажется несовместимо с законом обратной пропорциональности квадрату расстояния в том виде, как мы стремимся теперь его применять.

Плюккер уже сказал, на основании своих наблюдений, относящихся к парамагнитной и диамагнитной силе, что нельзя дать правильной таблицы магнитных веществ. То же следствие, хотя и в ином направлении, вытекает из того, что устанавливается здесь, и отсюда — сделанное выше ограничение (стр. 687). Все же мы дали, в качестве первого приближения, вышеприведенную таблицу, и она на некоторое время может оказаться полезной. Заканчивая этот первый отчет о новейших экспериментальных исследованиях, мы не можем не упомянуть о том, что сознаем все их несовершенство и возможность даже того, что их заключения придется переделать на противоположные. Но поскольку такой результат все же мало вероятен, мы сочли полезным представить наше исследование на суд членов Королевского института и всего ученого мира в надежде, что они дадут повод к критике и экспериментальной проверке и тем самым будут содействовать успеху физической науки.

Ранее¹ из двойственной природы сил магнетизма и электричества было выведено заключение о существовании таких физических силовых линий. К тому же заключению приводят и необходимость, чтобы во всех случаях и во всякое время существовала связь и зависимость между полярностями магнита или положительной и отрицательной электрическими поверхностями. В отношении тяготения было высказано более осторожное мнение, вследствие трудности наблюдать факты, имеющие связь с временем, а также вследствие того, что на первый взгляд не очевидно, чтобы две тяготеющие частицы или массы

¹ См. стр. 607.

необходимо зависели друг от друга в отношении существования или возбуждения взаимодействия между ними.¹ Здесь можно привести слова Ньютона, недавно обнаруженные в его трудах, из которых видно, что он безоговорочно признавал физические линии силы тяготения, и которые по самой сущности заставляют поставить его в ряды тех, кто разделяет убеждение в физической природе магнитной и электрической силы. Эти слова, высказанные в письме к Бентлею, таковы:² «Мне представляется нелепостью, чтобы тяжесть была врожденной, присущей материи и существенной для нее, так что одно тело могло бы действовать на другое на расстоянии через *пустоту*, без посредства чего-либо другого, по чему или через что их действие и сила передавались бы от одного к другому; эта нелепость так велика, что, по-моему, ни один человек, обладающий способностью здравого мышления по вопросам науки, не может ей подпасть. Причиной тяготения должно быть начало, постоянно действующее в соответствии с некоторыми законами; но материально или не материально это начало. я предоставляю судить моим читателям».

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ — СЛУЧАИ ОДНОВРЕМЕННОГО ВЛИЯНИЯ ТОКОВ И ЗАРЯДОВ³

При том необычайном расширении, которое испытали работы Электрической Телеграфной Компании, стали известны некоторые явления, представляющие, по моему мнению, замечательную иллюстрацию некоторых основных принципов электричества. Они служат также убедительным подтверждением правильности высказанных мною шестнадцать лет назад взглядов, что индукция, проводимость и изоляция суть взаимно зависимые явления (Экспериментальные исследования 1318 и т. д.).

¹ Philosophical Magazine, 4 серия, 1852, III, стр. 403 (3246).

² Труды Ньютона, изд. Хорслея, 1783, IV, стр. 438, или третье письмо к Бентлею.

³ Proceedings of the Royal Institution, 20 января 1854.

Я глубоко признателен Компании, Гуттаперчевым заводам и м-ру Латимеру Кларку за сообщение этих фактов и за предоставленную (мне) возможность и наблюдать, и показать их.

На заводах Компании медная проволока вполне покрывается гуттаперчей, причем и металл, и изоляция всюду равномерны и концентричны. Изолированная проволока обычно изготавливается кусками длиною в полмили, а необходимые соединения производятся путем скручивания или связывания и затем спайки; после этого место соединения покрывается тонкой гуттаперчей — так, чтобы изоляция была здесь столь же совершенна, как и в любом другом месте. Окончательная проверка качества всей операции производится затем директором заводов, м-ром Статгемом, следующим замечательным способом. Полумильные мотки (провода) свешиваются по сторонам барж, стоящих на канале; мотки погружены в воду, а оба конца каждого из мотков подняты в воздух; таким образом погружается до 200 мотков одновременно, и когда их концы соединяются последовательно, получается один погруженный провод в 100 миль длины; концы всего провода могут быть отведены в крытое помещение для опыта. Один полюс изолированной гальванической батареи из многих пар цинковых и медных пластинок, с рааведенной серной кислотой, соединяется с землей, а другой — через гальванометр с тем или другим концом погруженного провода. Если пренебречь действиями в первый момент и продолжать контакт, то очевидно, что ток батареи может использовать (для своего прохождения) или весь проводник полностью, или несовершенную изоляцию в 100 милях гуттаперчи, покрывающей провод; при этом, какая бы малая часть электричества ни проходила в воду, она будет обнаружена гальванометром. Нужно сказать, что для повышения убедительности опыта, батарея должна работать на напряжение, а гальванометр, который служит для опытов, должен быть весьма чувствителен; и все же изоляция настолько совершенна, что отклонение не превышает 5°. Другим свидетельством безупречного состояния провода слу-

жит то, что, когда оба конца батареи соединены с двумя концами провода, получается мощный электрический ток, который обнаруживается и значительно более грубым прибором; но если какое-либо соединение на протяжении 100 миль разъединилось, ток прерывается, и утечка, или недостаток изоляции делается столь же малым, как и ранее. По этим признакам можно судить о качестве и состоянии провода.

Те 100 миль, на которых я наблюдал упомянутое выше явление, были доброкачественны в отношении изоляции.

Медная проволока имела в диаметре $\frac{1}{16}$ дюйма; изолированный провод — $\frac{4}{16}$; часть его была несколько тоньше — $\frac{7}{32}$ в диаметре; таким образом, можно считать толщину гуттаперчи на металле равной около 0.1 дюйма. 100 миль такого изолированного провода в мотках было навалено на полу сухого склада и соединено последовательно для сравнения с проводом под водой.

Пусть имеется теперь изолированная батарея из 360 пар пластин (4×3 дюйма) и пусть один конец ее отведен в землю; подводный провод, оба конца которого находятся в комнате, и хороший провод для отвода в землю — все в готовности для требующихся соединений; когда свободный конец батареи приводился в соприкосновение с подводным проводом и затем отнимался, и после этого лицо, держащее в руке отвод в землю, дотрагивалось также до провода, оно получало сильное сотрясение. Сотрясение носило характер скорее гальванического, а не такого, какое получается от Лейденской батареи; оно занимало некоторое время, и при быстрых повторных приотрагиваниях его можно было разделить на многочисленные мелкие удары. Так, я получил целых сорок чувствительных сотрясений от одного заряда провода. Когда между зарядом и разрядом провода пропускалось некоторое время, удар был слабее; но он ощущался и через 2, 3 и 4 минуты, и даже еще дольше.

Если провод, после контакта с батареей, приводился в соприкосновение с фитилем Статгема, он легко воспламенял его (и даже шесть фитилей один за другим): он мог зажечь фитиль через 3 или 4 секунды после отрыва от батареи. Если после контакта с батареей провод, будучи отделен от нее, приводился в соприкосновение с гальванометром, он действовал на этот прибор очень сильно; действие наблюдалось, хоть и в менее значительной степени, и по прошествии 4 или 5 минут и было еще заметно через 20—30 минут после того, как провод был отделен от батареи. Если изолированный гальванометр был без перерыва в соединении с концом подводного провода, а полюс батареи приводился в соприкосновение со свободным концом прибора, было весьма поучительно наблюдать мощный поток электричества, входивший в провод; но когда он прекратился, то, хотя соприкосновение и продолжалось, отклонение не превышало 5° — так совершенна была изоляция. Когда затем батарея была отделена от гальванометра, и последний был приведен в соединение с отводом в землю, было столь же поразительно видеть вытекание электричества из провода, причем магнитная стрелка прибора некоторое время держалась в положении, противоположном тому, которое наблюдалось при втекании (электричества) или зарядки (провода).

Эти явления получались одинаково хорошо с обоими полюсами батареи и с обоими концами провода; и как в том случае, когда сообщение и прекращение электрического состояния производилось на одном и том же конце, так и в том случае, когда одно происходило на одном, а другое на другом конце 100-мильного провода, результаты были совершенно одинаковы. Но при этом требовалась батарея, работающая на напряжение, по причинам, которые станут вполне очевидными позднее. Батарея, которая служила для опытов, могла разложить весьма незначительное количество воды за данное время. Батарея Грова из восьми или десяти пар пластин, которая в этом отношении значительно ее превзошла бы, производила едва заметное действие на провод.

Когда опыт был произведен со 100 милями провода в воздухе, то при тех же условиях не получилось ни малейших признаков какого-либо из этих действий. Принципиально мы имеем все основания ожидать, что и здесь можно получить хотя бы весьма малый результат, но в сравнении с проводом, погруженным в воду, действие было ничтожно. Однако провод был изолирован столь же хорошо, и даже лучше, и с точки зрения постоянного тока он был столь же хорошим проводником. В этом можно было убедиться, соединив конец подводного провода с одним гальванометром, а конец воздушного провода — с другим таким же прибором; два свободные конца проводов были соединены друг с другом и с отводом в землю. Два свободных конца гальванометров были соединены друг с другом и со свободным полюсом батареи. Таким образом ток разделялся между воздушным и подводным проводом, но действие на гальванометры было в точности одинаково. Чтобы еще более убедиться в правильности этого результата, гальванометры были заменены один другим, но отклонения все же остались одинаковыми: итак, оба провода обладали одинаковой проводимостью.

Если вдуматься в дело, то причина явлений, описанных вначале, становится достаточно ясной. Вследствие совершенства изготовления, здесь получается Лейденское устройство в большом масштабе; медный провод заряжается статически тем электричеством, какое может дать полюс батареи, соединенный с ним;¹ оно действует индукцией через гуттаперчу (без этой индукции она сама не могла бы зарядиться, Экспериментальные исследования, 1177), вызывая противоположное состояние на поверхности воды, соприкасающейся с гуттаперчей и представляющей внешнюю обкладку этого любопытного устройства. Гуттаперча, через которую осуществляется индукция, имеет всего 0.1 дюйма в толщину, а протяжение обкладки — огромно. Поверхность медного провода составляет всего около 8300 квад-

¹ Davy, Elements of Chemical Philosophy, стр. 154.

ратных футов, а поверхность внешней обкладки, образуемой водой, вчетверо больше, т. е. 33 000 квадратных футов. Отсюда — поразительный характер результатов. Напряжение приобретенного статического заряда равно всего только напряжению у полюса батареи, из которого он извлечен; но его количество огромно, вследствие громадного протяжения Лейденского устройства; и поэтому, когда провод отделен от батареи и заряд начинает действовать, он имеет все свойства сильного гальванического тока и дает такие результаты, с какими пока еще не может сравниться действие самых лучших обыкновенных электрических машин и Лейденских приборов.

Воздух не дает всех этих действий просто потому, что в этом случае отсутствует внешняя обкладка, соответствующая воде, или она настолько удалена, что не получается сколько-нибудь заметной индукции, и потому внутренний провод не может получить ааряда. Для провода, находившегося на воздухе в складе, пол, стены и потолок помещения образуют внешнюю обкладку, и последняя была на значительном расстоянии; в лучшем случае она могла влиять лишь на внешние части проволочных мотков. Мне представляется, что если бы все 100 миль провода были вытянуты в воздухе в одну линию, так что она на всем протяжении находилась бы на земле, этих действий также не получилось бы; в этом случае отрицательный результат зависел бы от расстояния между индуцирующей и индуцируемой поверхностями (1483) наряду с более низкой удельной индуктивной способностью воздуха по сравнению с гуттаперчей. Все эти явления, вместе взятые, служат прекрасным доказательством тождественности статического и динамического электричества. Всю силу значительной батареи можно таким образом пустить в ход отдельными порциями и измерить в единицах статической силы, а затем, в дальнейшем, ее можно использовать для какого-либо одного, а может быть, и для всякого применения гальванического электричества.

Перехожу теперь к дальнейшим следствиям совокупных статических и динамических действий. Провода, изолированные гуттаперчей и заключенные затем в свинцовые или железные трубки, или же зарытые в землю, или погруженные в море, обнаруживают те же явления, что и только что описанные; во всех этих случаях условия допускают сходное статическое индуктивное действие. Такие подземные провода проходят между Лондоном и Манчестером и, будучи связаны в одну линию, дают длину более 1500 миль; поскольку четные провода возвращаются в Лондон, наблюдения могут производиться одним наблюдателем через промежутки около 400 миль, включая гальванометр в месте поворота. В этом проводе (1500 миль), а также в половине, или в четверти его длины, наблюдались все явления, описанные выше; единственное различие состояло в том, что изоляция была не так совершенна, и потому состояние электризации падало более быстро. Рассмотрим 750 миль проволоки, вытянутой в одну линию, причем первый гальванометр *a* находится в начале линии, второй гальванометр *b* — посередине, и третий *c* — на конце; все эти три гальванометра находятся в помещениях при наблюдателе, и третий *c* имеет совершенное соединение с землей. Как только полюс батареи приводился в соприкосновение с проводом, проходившим через гальванометр *a*, этот прибор тотчас же обнаруживал действие; через некоторое время оно обнаруживалось и на гальванометре *b*, а через еще более долгое время — на гальванометре *c*; когда были включены все 1500 миль, электрическому току требовалось две секунды, чтобы достичь последнего прибора. Далее, пусть отклонение дали все приборы (конечно, не одинаковой величины вследствие утечки электричества на линии); если теперь включить батарею в *a*, то находящийся здесь гальванометр мгновенно падает до нуля; но *b* падает лишь немного позднее, а *c* — лишь по прошествии еще более долгого времени; получается ток, идущий к концу проволоки, хотя в ее начале никакого тока не было. Далее, при коротком прикосновении полюса батареи к *a* (гальванометру),

он может отклониться и снова принять нейтральное положение, прежде чем электрическое действие достигнет b ; последний в свою очередь отклонится на мгновение, а затем остается нейтральным, прежде чем действие достигнет c ; по проволоке как бы пущена силовая волна, которая пробегает по ней постепенно и обнаруживается через последовательные промежутки времени в различных частях провода. При соответственно подобранных прикосновениях батарей удавалось даже получить в проводе одновременно две волны, следующие одна за другой, так что в тот самый момент, как на c действовала первая волна, на a или b действовала вторая; и нет никакого сомнения, что при достаточном числе приборов и тщательном производстве опыта можно было бы получить четыре или пять волн одновременно.

Если после замыкания и размыкания контакта батарей у a , сразу соединить a с землей, то получаются интересные дополнительные явления. Часть электричества, проходящего в проводе, возвратится обратно и, проходя через a , отклонит его в противоположном направлении; таким образом из двух концов провода будут идти токи в двух противоположных направлениях, и в то же время ни из какого источника ток не будет входить в провод. Или, если быстро соединить a с батареей и затем с землей, он в одном и том же месте обнаружит ток, сначала входящий в провод, а затем возвращающийся из провода; до b или до сникакая заметная часть тока не дойдет.

Если производить такие же опыты с проводом такого же протяжения, находящимся в воздухе, то никаких явлений, подобных описанным, не наблюдается; или если, руководясь теорией, поставить опыт специально так, чтобы их обнаружить, то они наблюдаются лишь в весьма слабой степени и совершенно исчезают по сравнению с резко выраженными предшествующими действиями. Действие на конце весьма длинного воздушного провода (или c) в очень небольшой степени отстает от действия на гальванометр a ; и накопления заряда в проводе не замечается.

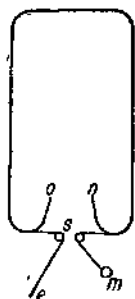
Все эти результаты, относящиеся к времени и т. п., очевидно, зависят от того же состояния, которое вызывало прежде явление статического заряда, именно, от индукции, направленной в сторону (от провода), и представляют необходимые следствия принципов проводимости, изоляции и индукции, трех слов, которые в своем значении неотделимы друг от друга (Экспериментальные исследования, 1320, 1326,¹ 1338, 1561 и т. д.). Если мы положим на электрометр с золотыми листочками пластинку из шеллака и на нее — заряженный шарик-переносчик (изолированный металлический шарик диаметром в два или три дюйма), то листочки электрометра разойдутся; как только мы снимем шарик, расхождение сразу прекращается. Это и есть *изоляция* и *индукция*. Если мы заменим шеллак металлом, то шарик, как и прежде, вызывает расхождение листочков, но если мы удалим его, хотя бы после самого короткого контакта, какой только возможен, электроскоп останется в состоянии расхождения; это — *проводимость*. Если вместо металла мы возьмем пластинку спермацета и повторим опыт, то мы увидим, что расхождение частью уничтожается, частью остается, ибо спер-

¹ 1326. Все эти соображения внушают мне уверенность в том, что невозможно провести резкую грань между явлениями изоляции и обыкновенной проводимости, если мы хотим заглянуть в самую их природу, т. е. в тот общий закон или законы, которыми определяется происхождение этих явлений. Мне представляется, что они заключаются в действии смежных частиц, зависящем от сил, которые развиваются при электрическом возбуждении; эти силы приводят частицы в состояние напряжения, или полярности, которое и составляет явления как *индукции*, так и *изоляции*; находясь в этом состоянии, смежные частицы обладают свойством или способностью передавать друг другу своя силы, вследствие чего последние ослабляются, и происходит разряд. По-видимому, к разряду способно всякое тело (444, 987), но различные тела обладают этой способностью в *большей или меньшей степени*, и это-то и делает их лучшими и худшими проводниками, худшими или лучшими изоляторами; по своей природе и действию *индукция* и *проводимость*, по-видимому, одинаковы (1320); единственное различие заключается в том, что при проводимости общее для обоих явлений действие достигает крайнего предела, в индукции же оно, в лучшем случае, проявляется в количествах, почти неощутимых.

мадет изолирует и в то же время проводит, притом и то, и другое — несовершенным образом. Но и шеллак также проводит, как можно показать, если дать ему на это некоторое время; а металл также препятствует проводимости и тем самым изолирует, как можно показать с помощью простого приспособления. Пусть медная проволока, в 74 фута длиной и $\frac{1}{12}$ дюйма

в диаметре, изолирована в воздухе, причем ее конец m имеет вид металлического шарика (рисунок); конец e соединен с землей, а участки близ m и e отстоят друг от друга примерно на

полдюйма, как в *з*. Тогда, если соединить достаточно сильно заряженную Лейденскую банку внешней обкладкой с e , а внутренней с m , то проволоке сообщится заряд; несмотря на то, что она является прекрасным проводником, заряд не пройдет целиком через нее, а значительная часть его пройдет через воздух в *з* в виде яркой искры. Это зависит от того, что при такой длине проволоки сопротивление в ней накапливается до тех пор, пока не станет равным сопротивлению, какое оказывает электричеству столь высокого напряжения воздух,



или даже не превысит его.

Если усматривать в этом опыте и в подобных ему доказательство того, что проводимости через проволоку предшествуют акт индукции (1338), то все явления, наблюдаемые в подводных или подземных проводах, получают свое объяснение; и это объяснение, как я полагаю, подтверждает высказанные (мною) принципы. После того как м-р Уитстон в 1834 г. измерил скорость электрической волны в медной проволоке и нашел ее равной 288 000 миль в секунду, я высказался в 1838 г., на основании этих принципов, в том смысле (1333), «что скорость разряда через *один и тот же провод* можно в значительной степени менять, изменяя те условия, которые вызывают различия при разряде через спермадет или серу. Так,

например, скорость разряда должна меняться в зависимости от напряжения или интенсивности начальной побуждающей силы (1234, 1240); это напряжение — все равно, что заряд и индукция. Пусть, например, оба конца провода в опыте проф. Уитстона будут непосредственно соединены с двумя большими изолированными металлическими поверхностями, обращенными к воздуху; тогда при замыкании контакта для разряда первоначальное действие индукции в первый момент отчасти не будет допущено к внутренней части провода и временно распределится на его общей с воздухом поверхности и на окружающих проводниках, и я, не колеблясь, предсказываю, что средняя искра будет запаздывать сильнее, чем раньше; а если эти две пластинки будут представлять собой внутреннюю и внешнюю обкладки большой Лейденской банки или батареи, то запаздывание искры будет еще большим». А ведь именно так обстоит дело в случае подводных или подземных проводов; различие состоит только в том, что не поверхности приближаются к индуцирующим обкладкам (1483), а эти последние приближаются к поверхностям. В обоих случаях индукция, следующая за зарядом, не направляется сразу почти что полностью на внутреннюю часть проволоки, а в очень большой степени распределяется снаружи. Поэтому разряд или проводимость, будучи обусловлены более низким напряжением, требуют и более долгого времени. Вот почему при 1500 милях подземного провода волна потребовала две секунды, чтоб пробежать от одного его конца до другого; при той же длине воздушного провода это время было бы почти что неизмеримо малым.

С этой точки зрения интересно сопоставить измеренные скорости электричества в металлических проволоках, как их дают различные исследователи.

	Миля в секунду
Уитстон ¹ в 1834 г. для медной проволоки	288 000
Уокер ¹ в Америке с телеграфным железным проводом	18 780

¹ Отчет Либиха и Коппа, 1850 (англ. перевод), стр. 168.

О'Митчелль, ¹ то же	28 524
Физо и Гоннель ¹ (медный провод)	112 680
Они же ¹ (железный провод)	62 600
А. В. G ¹ (медь). Лондонский и Брюссельский телеграф	2 700
То же ² (медь). Лондонский и Эдинбургский телеграф	7 600.

Здесь мы видим, что в первом случае скорость для меди получается почти в сто раз больше, чем в шестом. Далее, в отчете Либиха об опытах Физо и Гоннеля упоминается о том, что скорость не пропорциональна проводящей способности и не зависит от толщины провода. Все эти обстоятельства и противоречия, по-видимому, немедленно исчезают, если мы признаем и примем в расчет направленную в сторону индукцию провода, по которому проходит ток. Если требуется определить скорости быстрого электрического разряда в данном отрезке проволоки, то стоит только обмотать ее вокруг рамки на небольшом пространстве, или протянуть ее в воздухе на большом пространстве, или провести по стене, или проложить по земле, и при всех этих изменениях получатся различные результаты. А для длинных цепей, подобных описанным выше, совсем нельзя установить проводящую способность, если не принять в расчет их направленную в сторону статическую индукцию или же условия напряжения и количества, с которыми здесь приходится иметь дело. Это особенно относится к случаю коротких или перемежающихся токов, ибо для них статическое и динамическое состояние непрерывно переходит одно в другое.

Уже было сказано, что для постоянного тока проводимость воздушных и подводных проводов одинакова. Это находится в полном согласии с (установленными) принципами и с определенным характером электрической силы, все равно, в какой

¹ Отчет Либиха и Коппа, 1850 (англ. перевод), стр. 168,

² Athenaeum, 14 января 1854, стр. 54.

форме ее: в статическом состоянии, или в виде тока, или в переходном состоянии. Пропустим гальванический ток некоторого напряжения по длинному подводному проводу, другой конец которого соединен с землей. Тогда часть силы идет в первую очередь на то, чтобы возбудить направленную в сторону индукцию вокруг проволоки, причем у ближайшего конца ее напряжение в конце концов сравнивается с напряжением тока батареи, а к заземленному концу оно постепенно убывает до нуля. Пока эта индукция возрастает, индукция внутри проволоки между ее частицами остается меньше, чем она могла бы быть при других условиях. Но как только первая достигает своего максимума, индукция в проводе становится пропорциональной силе батареи и потому сравнивается с той, какая имеет место в воздушном проводе, где то же состояние достигается почти мгновенно (вследствие отсутствия направленной в сторону индукции). Затем, конечно, они одинаково разряжаются и потому одинаково проводят.

Поразительным доказательством изменения проводимости проволоки вследствие изменения направленной в сторону статической индукции служит опыт, предложенный (мною) шестнадцать лет назад (1833). Если, делая опыты с одной и той же заряженной банкой, мы подберем интервал s , стр. 704, так, чтобы искра свободно через него проходила (хотя она не прошла бы через него, если бы он был немного больше), а короткие соединительные провода n и o при этом будут изолированы в воздухе, то опыт можно было бы повторить двадцать раз без единой неудачи. Но если после этого соединить n и o с внутренней и внешней обкладками изолированной Лейденской банки, как уже было описано, то искра никогда не будет проскакивать через s , а весь заряд будет обходить проволоку по всей ее длине. Почему это так? Количество электричества здесь то же, провод тот же, сопротивление то же, сопротивление воздуха также остается неизменным; но напряжение здесь понижается вследствие того, что мгновенно может развиваться направляющаяся в сторону индукция, а потому оно оказы-

вается уже недостаточным, чтобы пробить воздух в *z*. В конце концов оно полностью сосредоточивается в проволоке, которая производит весь разряд несколько долее, чем ранее. Физо применил тот же метод к первичным гальваническим токам прекрасного индукционного аппарата Румкорфа, и с большим успехом. Он таким путем уменьшает напряжение этих токов в момент, когда оно было бы весьма невыгодно, и дает нам разительное доказательство того преимущества, которого мы достигаем, когда рассматриваем статические и динамические явления, как следствия одних и тех же законов.

Кларк видоизменил печатающий телеграф Бэна с тремя перьями и получил в результате прекрасные иллюстрации и записи изложенных выше фактов. Перья представляют железные проволочки, под которыми проходит бумажная лента, пропитанная железисто-синеродистым кали; она движется с постоянной скоростью, регулируемой часовым механизмом; таким образом получают правильные линии, вычерченные берлинской лазурью, каждый раз как (в цепи) пробегает ток и записывается время, в течение которого ток действует. В описываемом примере три линии шли рядом на расстоянии около 0.1 дюйма друг от друга. Перо *m* принадлежало контуру, состоявшему только из нескольких футов проволоки, с отдельной батареей; оно действовало при каждом нажиме контактного ключа пальцем; перо *n* находилось на заземленном конце длинного воздушного провода, а перо *o* — на заземленном конце длинного подземного провода. Ключ был устроен так, что с его помощью можно было пускать электричество из главной батареи в один из этих проводов одновременно с прохождением тока в малом контуре через перо *m*. Когда находились в действии перья *m* и *n*, запись *m* представляла собою правильную линию одинаковой толщины, длина которой указывала фактическое время, в течение которого электричество втекало в провода; запись *n* представляла также правильную линию, параллельную первой и одинаковую с ней по длине, но на самую малую величину отстававшую от нее. Это пока-

зывало, что длинный воздушный провод передает свой электрический ток на другой конец почти мгновенно. Но когда действовали перья *m* и *o*, линия *o* начиналась лишь через некоторое время после *m* и продолжалась после того, как линия *m* превращалась, т. е. после того, как была выключена батарея *o*. Кроме того, она вначале была слабой, затем усиливалась до максимума интенсивности, оставалась в этом виде, пока сохранялось соединение с батареей, и затем постепенно сходила на нет. Таким образом, запись *o* показывала, что в подводном проводе волна (электрической) силы требовала времени для достижения его дальнего конца; то, что вначале она была слабой, указывало на то, что сила тратилась на приведение в действие направленной в сторону статической индукции вдоль провода; достижение максимума и дальнейший ровный ход указывали на тот момент, когда эта индукция стала пропорциональной напряжению батарейного тока; начало ослабления указывало на момент, когда батарея была выключена; наконец, ее продолжение и постепенное ослабление указывали на время вытекания статического электричества, накопленного в проводе, и обусловленное этим правильное падение индукции, которая ранее столь же правильно возрастала.

Посредством перьев *m* и *o* можно было прекрасно показывать переход переменного тока в постоянный; подземный провод, благодаря допускаемой им индукции, действовал аналогично маховому колесу паровой машины, или же упругости в насосе. Когда контактный ключ равномерно, но быстро нажимался и отпускался, перо *m* чертило ряд коротких линий, разделенных промежутками равной длины. После того как было получено три-четыре таких линии, начинало писать перо *o*, принадлежащее подземному проводу, причем его запись была сначала слабая, затем она усиливалась до известного максимума, но все время оставалась непрерывной. При менее быстром действии контактного ключа в записи *o* понадеялись попеременно то усиление, то ослабление; а если замыкания электрического тока на одном конце подземного провода про-

исходили с еще более долгими перерывами, то записи действия на другом конце становились совсем разобщенными одна от другой. Все это самым убедительным образом показывает, как отдельный ток или волна, однажды введенный в провод и не перестающий распространяться своим путем, может быть изменен в отношении интенсивности, длительности и других свойств, благодаря его большому или меньшему расходу на направленную в сторону индукцию.

При другом расположении перьев n и o можно было соединять ближайший конец подземного провода с землей непосредственно после прекращения соединения с батареей; в этом случае получалась прекрасная запись обратного потока электричества, его продолжительности и его характера. Однако я не имею возможности входить в подробности результатов, уже описанных в принципе.

Делалось много видоизменений этих опытов, и можно придумать еще много. Так, концы изолированной батареи присоединялись к концам длинного подземного провода, и тогда при соединении с землей две половины провода давали противоположно направленные обратные токи. В этом случае провод с двух концов положителен и отрицателен благодаря тому, что его длина и действие батареи поддерживают его в том же состоянии, которое на момент сообщается короткому проводу разрядом Лейденской банки (стр. 704). Такое же явление мы имеем в другом крайнем, но подобном же случае шеллаковой нити, концы которой заряжаются положительно и отрицательно. Кулон указал на различие между короткими и длинными нитями такого рода в отношении их изолирующей или проводящей способности, и такое же различие имеет место для длинных и коротких металлических проводов.

Характер явлений, описанных мною в этом докладе, заставляет меня употреблять в применении к электричеству термины *напряжение* и *количество* — термины, которыми я имел случай пользоваться весьма часто. Тот, кто изучает как статическую, так и динамическую сторону электричества,

не может обойтись без этих выражений или им равносильных; в каждом токе, где есть сопротивление, заключается статический элемент или индукция, тогда как в каждом случае изоляции заключается в большей или меньшей степени динамический элемент и проводимость. Мы видели, что с одним и тем же гальваническим источником, тем же самым током в том же отрезке той же проволоки получался различный результат, когда мы заставляли изменяться напряжение, изменяя индукцию вокруг проволоки. Понятие напряжения или способности преодолевать сопротивление также необходимо связано с понятием электричества — и в статическом состоянии и в виде тока, как понятие давления — с понятием о паре в котле или о воздухе, проходящем через отверстия или через трубки; и наш язык должен быть способен выражать эти условия и эти понятия. Далее, мне никогда не приходилось замечать, чтобы какое-либо из этих выражений вело к недоразумениям в отношении электрического действия и давало повод к неправильным представлениям о сущности электричества или о единстве его явлений. Я не могу подобрать других терминов, которые так хорошо выражали бы нужную мысль, как эти; или которые, определяя те же понятия, не давали бы повода к таким же недоразумениям. Поэтому с моей стороны было бы неправильно искать каких-либо других слов; а кроме того, на рассматриваемом вопросе я убедился более чем когда-либо в их большой ценности и особых преимуществах для терминологии электричества.

Фитиль, упомянутый на стр. 698, имеет следующее устройство. Медная проволока была покрыта соединенной с серой гуттаперчей; через несколько месяцев оказалось, что между металлом и оболочкой образовалась пленка сернистой меди. Дальше, если в каком-либо месте срезать пополам гуттаперчи и оттуда удалить медь на расстоянии примерно $\frac{1}{4}$ дюйма, так что связь держится лишь пленкой сернистой меди, прилегающей к оставшейся гуттаперче, то под влиянием силь-

ной батареи эта пленка сильно накалялась и могла весьма легко воспламенить порох. Порох взрывался безотказно на конце восьмимильного одиночного провода; при помощи этого фитиля можно было также получить взрыв пороха на конце 100 мильной изолированной проволоки, погруженной в канал.

О ПОДЗЕМНЫХ ПРОВОДАХ ЭЛЕКТРОТЕЛЕГРАФА¹

Редактору Philosophical Magazine and Journal

Господа, я только что узнал о некоторых замечательных явлениях, которые обнаруживаются в подземных проводах электрического телеграфа; они наблюдались и были описаны г-ном Вернером Сименсом в Берлине в сообщении, датированном 15 апреля 1850. Это — те же явления, которые мне показывал г. Латимер Кларк, и которые я приводил в моей статье (напечатанной в Вашем Magazine за март 1854, стр. 197) в качестве доказательства правильности моих давнишних взглядов на природу изоляции, индукции и проводимости. Будет только долгом справедливости, если я укажу на них; и, мне кажется, они настолько интересны, что Вы охотно напечатаете несколько сокращенный доклад, который я Вам посылаю. Явления, о которых идет речь, получаются на проводах, покрытых гуттаперчей и проложенных под землей.

«На длинных, хорошо изолированных телеграфных линиях постоянно наблюдается одно весьма замечательное явление. Предположим, что один конец *B* провода изолирован, а другой *A* соединен с одним из полюсов батареи; пусть другой полюс батареи отведен в землю. В момент замыкания в ближайших частях провода наблюдается мгновенный ток, имеющий то же направление, что и мгновенный ток, который существовал бы, если бы был соединен с землей конец *B*; на линиях с совершенной изоляцией не получается и следа такого тока. Если при помощи коммутатора сразу заменить батарею отводом в землю,

¹ На Philosophical Magazine за июль 1854.

получается второй мгновенный ток почти той же интенсивности, что и первый, но в противоположном направлении. Наконец, если прервать сообщение *A* и с батареей, и с землей, т. е. изолировать этот конец, и в тот же момент соединить *B* с землей, то наблюдается мгновенный ток, почти равный по интенсивности первому, но на этот раз в том же направлении, что и первый, т. е. что и постоянный ток батареи. Этот последний опыт может быть произведен только на двойной подземной линии, где оба конца *A* и *B* находятся на одной и той же станции. С первого взгляда можно предположить, что эти явления зависят от вторичных полярностей, развивающихся в проволоке, но многие факты противоречат такому выводу. 1. Явления выражены тем резче, чем лучше изолирована проволока. 2. Токи значительно более кратковременны, чем токи, обусловленные вторичными полярностями. 3. Их интенсивность пропорциональна силе батареи и не зависит от интенсивности какого-либо постороннего тока, который может возникнуть вследствие несовершенной изоляции; поэтому интенсивность мгновенных токов может значительно превосходить максимальную интенсивность, которой могли бы достигнуть вторичные токи в том же самом контуре. 4. Наконец, интенсивность мгновенных токов пропорциональна длине провода, тогда как, если бы токи зависели от вторичных полярностей, должна была бы иметь место обратная пропорциональность.

«Эти явления можно легко объяснить, если мы вспомним прекрасные опыты, которые послужили Вольта для поразительнейшего доказательства тождества гальванизма и электричества. Он показал, что если соединить один конец его столба с землей, а другой — с внутренностью не изолированной Лейденской батареи, то батарея в одно мгновение приобретает заряд, пропорциональный силе элемента. В то же время наблюдался мгновенный ток в проводнике между элементом и батареей, который, согласно Риттеру, обладал всеми свойствами обычного тока. Нетрудно видеть, что подземный провод с его изолирующей оболочкой может быть в точности уподоблен громадной Лей-

денской батарее; стекло банок соответствует гуттаперче; внутреннюю обкладку представляет поверхность медной проволоки; внешней поверхностью служит влажная земля. Чтобы составить себе представление об емкости этого нового рода батареи, нужно только вспомнить, что поверхность провода равна 7 квадратным метрам на километр. Если соединить такой провод одним из концов с полюсом столба, а другой полюс последнего отвести в землю (при этом второй конец провода должен быть изолирован), то провод должен получить заряд того же характера и напряжения, как и полюс батареи, с которым он находится в соприкосновении. Именно это и произошло в случае первого из описанных мгновенных токов. В опыте Вольта при перерыве сообщения между полюсом и батареей и соединении проводником двух обкладок последней получался обычный разряд. Этому разряду отвечают два мгновенных тока противоположного направления, которые наблюдаются на двух концах заряженного провода при их соединении с землей и при выключенной батарее. Понятно также, что первый мгновенный ток — именно тот, который связан с зарядкой провода, должен получиться, хотя и с меньшей интенсивностью, даже и в том случае, когда другой конец провода находится в соединении с землей. Тогда мгновенный ток предшествует непрерывному или, если предпочитать иной способ выражения, в первый момент складывается с ним. Интенсивность этого мгновенного тока значительно больше, чем интенсивность постоянного тока; без сомнения потому, что при зарядке провода электричество, проходя к различным точкам провода, проходит пути тем более короткие, чем ближе к батарее находятся точки, которые должен приобрести заряд». Это извлечение взято из *Annales de Chimie*, 1850, т. XXIX, стр. 398 и далее.

Остаюсь, господа,
Ваш покорный слуга
М. Фарадей.

*Королевский институт.
28 апреля 1854 г.*

ГИПОТЕЗЫ О МАГНЕТИЗМЕ ¹

Настоящий доклад имеет целью привлечь внимание аудитории к попыткам создания различных гипотез, стремящихся физически объяснить известные свойства вещества, связанные с его магнитно-электрическими проявлениями; он представляет собою естественное продолжение доклада, сделанного д-ром Франклэндом 2-го текущего месяца. Д-р Франклэнд дал в ней обзор различных взглядов, высказанных Дэви, Ампером и Берцелиусом по вопросу о том, каким образом электричество может быть связано с атомами или молекулами материи, чтобы объяснить их электрохимические действия. Он указал также на возражения, возникающие против каждой из них с логической и с экспериментальной стороны. Прежде всего было упомянуто о Кулоне и его исследованиях о магнитных взаимодействиях; о высказанной им гипотезе, что все эти явления могут быть объяснены двумя магнитными жидкостями, связанными с материей магнитных тел; и о произведенном Пуассоном глубоком математическом исследовании о достаточности этого предположения. Затем докладчик напомнил об открытой Эрстедом связи между обыкновенным магнетизмом и электрическими токами: оно повлекло за собою громадное расширение области действия магнитных сил и наших знаний об этом действии. Далее, замечательные исследования Ампера и его гипотеза (также подкрепленная тончайшим математическим анализом), что все магнитные явления зависят от электрических токов и что в таких телах, как магниты, железо, никель и т. п., имеются природные электрические токи, движущиеся внутри их атомов или частиц в одном направлении, вокруг участка, который можно назвать их экваториальной полосой. Со времени Эрстеда были произведены дальнейшие экспериментальные открытия; было найдено, что электрические токи могут индуцировать протекающие сбоку от них токи и магниты также могут вызывать подобные же токи; этим было доказано тождество магнитов и токов в смысле возбу-

¹ Royal Institution Proceedings, 9 июня 1854.

ждения действий, отличных от обычных магнитных притяжений и отталкиваний. Затем был открыт диамагнетизм, при котором происходят действия, аналогичные обычному магнетизму, но в котором вместо притяжения происходит, наоборот, отталкивание, а вместо отталкивания — притяжение; и область этих действий была так обширна, что решительно все немагнитные тела оказались диамагнитными. Таким образом всякая материя была приведена в подчинение магнитной силе, которую и стремятся объяснить гипотезы о природе ее физического действия. Поскольку гипотеза Ампера не могла объяснить диамагнитного действия, некоторые предположили, что в диамагнитной материи магнитная и электрическая сила может индуцировать электрические токи, направление которых противоположно токам в магнитной материи, или же индуцировать токи там, где их прежде не было. Для магнитных же тел предполагалось, что эти силы лишь заставляют токи, окружающие частицы, принимать определенное направление, тогда как раньше они имели всевозможные направления. Вебер стоит особняком, как глубокий математик, который подтвердил исследования Ампера во всем объеме, до которого последний их довел, а затем сделал к его теоретическим взглядам свои добавления; а именно, он предположил, что между частицами материи имеется электричество, которое не проявляется в виде тока, пока на него не подействует магнитная индукция; тогда оно приобретает свойства тока, причем направление этого тока противоположно направлению тех токов, которые, по представлениям Ампера, всегда циркулируют вокруг (частиц) магнитной материи; вследствие этого вещества такого вида делаются диамагнитными.

Де ла Рив, который и как экспериментатор, и как исследователь имеет неоспоримое право вникать в эти глубокие, увлекательные и трудные вопросы, в последнее время рассмотрел самым внимательным образом различные гипотезы. Напоминая разнообразные явления, которые служат доказательством того, что действия, о которых идет речь, принадлежат частицам материи, а не просто массе (частицы, соединившись, сообщают их мас-

сам), он делит магнитные действия на четыре рода или проявления, а именно обыкновенное, диамагнитное, индукцию токов и вращение (светового) луча. Он указывает на то, что всякая приемлемая гипотеза должна объяснить все *четыре* рода действия и, можно добавить, должна также, если не объяснить явления электрохимического действия, то во всяком случае находиться с ними в согласии. Де ла Рива считает, что можно следующим образом получить такой гипотетический вывод в отношении этих родов действия, а также сохранить точки зрения и Ампера и Вебера. Предполагается, что всем атомам материи присущи электрические токи одинакового рода, которые циркулируют вокруг них вечно, не уменьшаясь ни в силе, ни в скорости, ибо являются существенной частью их природы. Все эти токи направлены для каждого атома по одному определенному диаметру, который поэтому может рассматриваться, как ось. Когда они выходят за пределы объема атома, они расходятся в разные стороны и, пробегая всюду по поверхности, сходятся в противоположном конце осевого диаметра. Здесь они вновь входят в атом и проделывают тот же путь до бесконечности. Точки схождения и расхождения представляют собою как бы полюсы силы. Где атомы материи скучены или где их много в данном пространстве (а химические соображения заставляют допускать возможность таких случаев), там, согласно гипотезе, некоторые атомы могут соединяться в кольцо, так что их центральные или осевые токи могут войти друг в друга и не возвращаться обратно по поверхности каждого атома, как раньше. Такие атомы образуют молекулы магнитной материи и соответствуют гипотезе Ампера о молекулярных токах. Там же, где атомы отстоят дальше друг от друга, ибо их меньше в данном пространстве, или там, где они являются хорошими проводниками, и потому ток пробегает так же свободно по их поверхности, как и по оси, они не образуют групп, подобных молекулам магнитной материи. Они остаются подверженными своего рода индукции под действием внешних магнитов или токов и таким образом дают начало противоположным токам Вебера. Де ла Рив считает, что индукция мгно-

венных токов и вращение луча находятся в согласии с таким предположением относительно электрического состояния атомов и частиц материи.

Можно полагать, что большое разнообразие таких гипотез и их быстрая смена служат доказательством скорее слабости, чем силы в этой области физической науки, и всегда надо помнить, как много произвольных предположений делалось то для одной, то для другой из этих гипотез. Даже в наиболее совершенной из них, т. е. в гипотезе Де ла Рива, таких предположений очень много; ибо необходимо представить себе молекулы в виде плоских или дискообразных тел, как бы ни были многочисленны атомы каждой из них; далее, нужно предположить, что атомы одной молекулы не могут войти в расположение атомов другой молекулы и нарушить его; далее, что с построенной таким образом молекулой совместно электрохимическое действие; наконец, что движущая сила каждого тока в атоме помещается в оси и что, с другой стороны, прохождение тока по поверхности встречает *сопротивление*; ибо если бы не существовало различия между осевой и поверхностной силой в том или в другом направлении, то атомы не имели бы стремления соединяться в молекулы. Не надо, однако, понимать эти замечания, как принижение значения гипотез или как возражение против должного их применения. Ни один исследователь не мог бы обойтись без такой гипотезы; и попытки, подобные попытке Де ла Рива, примирить точки зрения, которые в своем более раннем виде были враждебны одна другой, являются особенно ценными. Это — попытки человека, знающего цену как гипотезам, так и законам, как теории, так и фактам, и сумевшего доказать значение тех и других плодами собственного творчества. Все же надо приветствовать ту сдержанность умов, которая отводит гипотезе подобающее ей место и готова отбросить ее, если она перестает быть удовлетворительной. В качестве примера можно привести Ньютона, который (как показывают его письма к Бейтлсу) был весьма определенно убежден в физическом существовании силовых линий тяготения, однако в своих публичных

высказываниях ограничился законом действия силы, и сделал отсюда свои великие выводы. Можно привести и Араго, который, открыв явление магнитного вращения, но не усматривая его физической причины, нашел в себе философскую силу ума, заставившую его воздержаться от каких-либо измышлений такой причины.

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ УЧЕНИЯ О МАГНЕТИЗМЕ¹

3300. За последние 3 года я имел смелость высказывать, впрочем только как экспериментатор, новые взгляды на магнитное действие в статьях под заглавием «О линиях магнитной силы»² и «О физических линиях магнитной силы».³ Первая статья была только попыткой дать в руки экспериментаторов и других (ученых) правильное изображение двойственной природы, величины и направления магнитной силы как внутри, так и вне магнита; при этом не делалось никаких предположений относительно происхождения этой силы. Мне хотелось, чтобы, стремясь в своих рассуждениях к новым успехам и новым открытиям, наш ум был свободен от ига и вредного влияния таких предположений (3075, 3243). Вторая статья представляла собой рассуждение о возможной физической природе этой силы, которая имеет существование как вне магнита, так и внутри его и внутри всех так называемых магнитных тел; я намеренно подчеркивал там, что эта статья имеет вполне гипотетический характер (3243).

3301. В настоящее время существует две, вернее — три гипотезы относительно физической природы магнитного действия.

Первая — гипотеза эфира, влекущая за собой представление о потоках или течениях; ее изложил в своих Письмах⁴

¹ Из *Philosophical Magazine* за февраль 1855.

² *Phil. Trans.*, 1852, стр. 25.

³ *Phil. Mag.*, 1852, июнь, стр. 401.

⁴ Письма Эйлера, англ. пер., 1802, I, стр. 214; II, стр. 240, 242, 244.

Эйлер простым языком — для ученого, не владеющего математикой. В этой гипотезе предполагается, что магнитная жидкость или эфир движется в виде потоков как через магниты, так и через пространство и тела, их окружающие. Затем имеется гипотеза двух магнитных жидкостей, которые, присутствуя во всех магнитных телах и сосредотачиваясь на полюсах магнита, действуют притягательно и отталкивающе на те же жидкости на расстоянии и таким образом вызывают притяжения и отталкивания между удаленными друг от друга телами, содержащими их. Наконец, есть гипотеза Ампера, которая предполагает существование электрических токов вокруг частиц магнита; эти токи, действуя на расстоянии на другие частицы с подобными же токами, располагают их известным образом в тех массах, которым они принадлежат, и тем самым делают эти массы подверженными магнитному действию. Каждое из этих представлений более или менее видоизменялось различными учеными, но и трех основных направлений, которые я только что изложил, будет достаточно для моей настоящей цели. Мои гипотезы и физические воззрения не идут в своих предположениях столь далеко, как вторая и третья из этих гипотез, ибо я не беру на себя высказываться по вопросу, каким именно путем магнитная сила возникает или поддерживается в магните; они скорее примыкают к первой точке зрения, но не делают всех тех допущений, как она.

Моя гипотеза принимает магнит за центр действия, окруженный силовыми линиями; эти последние правильно изображают действие, что ныне подтверждается и математическим анализом (3302); она рассматривает эти линии как *физические* линии силы, необходимые как для существования силы внутри магнита, так и для сообщения ее магнитным телам на расстоянии и для действия ее на эти тела. Те, кто в какой-нибудь мере придерживаются гипотезы эфира, могут рассматривать эти линии как потоки, или как распространяющиеся колебания, или как стационарные волнообразные движения, или как состояние напряжения. По многим соображениям необходимо их рассматривать

не только в случае, когда они исходят из магнитных полюсов, но и тогда, когда они окружают проволоку, по которой проходит ток.

3302. Мое предложение представлять магнитное действие линиями магнитной силы обратило на себя внимание двух выдающихся людей и крупных математиков, и меня очень радует и ободряет, что они подтверждают правильность и общность этого метода изображения. Профессор У. Томсон, упоминая о подобных же силовых линиях в применении к статическому электричеству (1295, 1304) и к закону Фурье о тепловых движениях, говорит, что силовые линии дают те же математические результаты, как теория Кулона, и притом более простым аналитическим процессом (если это возможно), чем эта последняя.¹ Далее, он указывает «строгое основание для аналогии, в силу которой можно говорить о проводимости магнитной среды по отношению к силовым линиям».² Ван Рис опубликовал на голландском языке³ математическую статью о моих силовых линиях, которая была перепечатана в *Annalen* Поггендорфа⁴ и с которой я мог ознакомиться лишь весьма несовершенным образом по переводным выдержкам. Насколько я понимаю, он возражает против того, что я могу назвать физической частью моей точки зрения, так как я не указываю происхождения линий и не даю общего закона, к которому приводит представление о магнитных жидкостях или электрических токах. Он говорит, что моя точка зрения не уничтожает старых теорий и не делает их излишними. Однако, вот в чем, кажется, я не ошибаюсь: если принять, что линии являются представлением действия, то ван Рис считает их правильным представлением и принимает соответствующую гипотезу во всей ее полноте как для магнитных жидкостей, так и для электрических токов. Мне всегда хотелось избежать подстановки какого-либо понятия на место

¹ *Phil. Mag.*, 1854, VIII, стр. 53.

² Там же, стр. 56.

³ *Trans. Royal Acad. Sciences of Amsterdam*, 1854, стр. 17.

⁴ *Annalen* Поггендорфа, 1853, XC, стр. 415.

этих жидкостей или токов, чтобы освободить ум от ига предвзятых представлений; но если кто желает иметь такое представление, на которое он мог бы опираться, то на это есть старый принцип эфира.

3303. Поддержка, которую оказывает мне оценка математиками моего способа изображать магнитное действие линиями, побуждает меня остановиться подробнее на дальнейших вопросах, относящихся к истинному, но неизвестному природному магнитному действию. То, в чем мы действительно нуждаемся, это не равнообразие всевозможных методов представления сил, а единственное правильное физическое истолкование того, что становится для нас явным в этих действиях, и управляющие ими законы. Из двух предположений, обычно ныне принимаемых, т. е. о магнитных жидкостях и об электрических токах, одно должно быть неверно; может быть, неверны оба; и я не думаю, чтобы математик, если даже он считает, что каждое из них основано на более правильном принципе, чем то, которое выдвигаю я, мог отличить правильное от ложного или сказать, что то или другое правильно. Ни та, ни другая из этих гипотез не привела бы нас к явлениям диамагнетизма, ни, я полагаю, к магнитному вращению светового луча. Я думаю даже, что если бы заранее был поставлен вопрос о возможности диамагнитных явлений, то математик, руководствуясь той или другой из упомянутых гипотез, должен был бы отрицать такую возможность. Понятие, которое ввожу я, еще больше осложняет дело, ибо оно несовместимо ни с одной из приведенных точек зрения, поскольку они исходят исключительно из действия на расстоянии без какого-либо посредства; но при помощи линий сил оно объясняет магнитные действия правильно во всем, что не связано с предположениями. Итак, мы имеем теперь три основных взгляда, и, по крайней мере, два из них должны быть невозможны, т. е. неверны.

3304. Итак, очевидно, наши физические теории весьма сомнительны; и, мне кажется, было бы очень полезно, если бы мы попытались отделаться от предвзятостей, которые в них имеются

и могли тогда рассматривать силу по возможности во всей ее чистоте. В настоящее время мы не можем представить себе полярности, не чувствуя, что мы склоняемся на сторону той или другой из двух гипотез о происхождении полярных сил; и так как математические соображения не могут дать здесь решения, вопрос оказывается в том же сомнительном положении, в каком, до исследований позднейшего времени, находились противоречившие друг другу теории света. Но там применение зеркала Уитстона наряду с решительным опытом, предложенным Араго и произведенным Леоном Фуко, по-видимому, окончательно разрешило этот вопрос; также и здесь мы можем надеяться, что соответствующая доля рассуждения в соединении с экспериментом дадут нам разрешение трудности и в отношении магнетизма.

3305. Если бы мы могли знать *распределение* силы магнита прежде всего в месте ее происхождения, а затем в окружающем пространстве, это было бы уже весьма существенным достижением в исследовании поставленного нами вопроса; и если бы нам удалось это сделать, исходя из немногих допущений или обходясь без них вовсе, то мы были бы в самых благоприятных условиях для продолжения этого исследования. Допустим, что магнит представляет собой нечто вроде Солнца (а мы имеем все основания предполагать, что Солнце — магнит), поляризованного, наделенного противоположными силами и наполняющего все пространство вокруг себя своими искривленными лучами, подобно тому, как (истинное) Солнце или свеча наполняют пространство световыми лучами. Положим далее, что такая точка зрения оказывается равноценной с каждым из предыдущих взглядов, т. е. правильно представляет распределение сил; положим, наконец, что математические соображения не могут решить в настоящее время, какую из трех точек зрения следует предпочесть или отбросить сравнительно с остальными, с ней соперничающими. Тогда, чтобы содействовать разрешению вопроса, бесспорно оказывается необходимым привлечь в самой широкой мере физические соображения. Ибо, если действительно существуют физические линии магнитной силы, которые

(в смысле реального существования) соответствуют световым лучам, то не представляется столь уже невозможным, чтобы опыт *из* ощутил; получить такой ответ на вопрос об их существовании весьма важно — тем более, что этот ответ будет скорее всего положительным. Поэтому я не буду делать дальнейших предположений о физической сущности магнита по сравнению с прежним (3299), но ставлю своей целью вновь привлечь, хотя несколько бессвязными соображениями, внимание экспериментаторов к этому предмету; меня будут интересовать, во-первых, неудовлетворительное состояние современных физических представлений, а затем возможное существование физических линий силы. Замечания, которые я хочу сделать, должны быть сосредоточены на некоторых отдельных вопросах: *полярности*, *двойственности* и т. п., как это окажется более подходящим. Следующие соображения побуждают меня сделать такую попытку:

1. То, что по мнению математиков изображение направления и величины магнитной силы посредством воображаемых силовых линий является правильным.

2. То, что сам я с успехом пользовался этими линиями во многих случаях (3174).

3. Тесная аналогия между магнитной силой и другими двойственными силами как в статическом, так и динамическом состоянии, и особенно между магнитом и гальванической батареей или другим постоянным источником электрического тока.

4. Идея Эйлера о магнитном эфире или циркулирующих жидкостях.

5. Твердое убеждение, высказанное сэром Исааком Ньютоном, что нельзя возложить и на тяготение передачу действия на расстоянии без всякого посредствующего агента,¹ удовлетворяющего условиям физической силовой линии.

¹ Ньютон говорит: «То, что тяжесть есть нечто врожденное, присущее материи и характерное для нее, так что одно тело может действовать на другое на расстоянии через *пустоту*, без посредства какой-либо среды, по которой или через которую их действие и сила передавались бы от од-

6. Пример конфликта между двумя теориями света и окончательное экспериментальное разрешение спора.

3306*. Я думаю, что употребляемые мною слова «местонахождение силы» подали кое-кому повод к возражениям, поскольку это выражение как бы предвещает заключение о существовании физических силовых линий. Я попытаюсь применять его в случае необходимости так, чтобы оно не содержало такого утверждения. Все же я замечу, что мы пользуемся таким же выражением в применении к световому лучу даже в тех его частях, где он не подвергается уничтожению и где поэтому мы знаем о нем или о его существовании не больше, чем в подобных же случаях, относящихся к магнетизму. Мы пользуемся таким же выражением, когда говорим о тяготении для таких мест, где нет второго тела, на которое могло бы действовать тяготение; а если оно там и имеется, то, в соответствии с нашими современными взглядами, это тело не может вызывать силу тяготения со стороны первого тела и даже распространения ее к данному месту.

Магнитная полярность

3307. Значение этого термина быстро теряет черты определенности. С обычной точки зрения полярность вряд ли должна стоять в неперемнной связи с представлением о физических линиях силы; но с точки зрения фактической истины, это представление либо должно быть существенно для полярности и даже быть ей тождественно, либо быть с ним абсолютно несовместимым и быть ему противоположным. Согласно теории Кулона, полярность зависит от равнодействующей в направлении действия двух раздельных и удаленных друг от друга частей двух

ного к другому, представляется мне столь большой нелепостью, что, по моему, ни один человек, обладающий способностью здравого мышления в научных вопросах, не может разделять этой нелепости. Причиной тяготения должно быть начало, постоянно действующее в соответствии с некоторыми законами; но материально или не материально это начало, я представляю судить моим читателям». См. третье письмо к Бентлею.

магнитных жидкостей на такие же разделенные друг от друга части. При этом последние могут или быть отдельными с самого начала, как в магните, или, как в мягком железе, разделяются под индуктивным действием основного магнита. Эта гипотеза необходимо предполагает, что полярная сила одного знака должна отталкивать одноименную полярную силу и притягивать разноименную. Согласно взгляду Ампера на полярность, магнитных жидкостей не существует, но вокруг частиц материи (или вокруг масс) могут обращаться замкнутые электрические токи; известное из опыта различие явлений на противоположных сторонах этих токов, обнаруживаемое притяжением и отталкиванием других токов, и составляет сущность полярности. В теорию Ампера были внесены различные изменения (главным образом дополнения) Вебером, Де ла Ривом, Маттеучи и другими. Мое воззрение на полярность основывается на характере направления самой силы, какова бы ни была ее причина; я рассуждаю так: пусть электропроводящее тело движется в постоянном направлении вблизи или между тел, которые оказывают магнитное действие сами на себя или друг на друга; если тогда в нем возбуждается ток в одном направлении, то магнитная полярность одинакова. Если же направление движения или тока изменяется на обратное, это указывает на противоположную полярность. Такое указание справедливо для пространства как вне, так и внутри магнитных тел при всяком возбуждении электрического тока, и зависит от неизвестной, но существенно двойственной природы или противоположности двух сил в явлении, которое мы называем магнетизмом (3154).

3308. Многочисленные значения, которые придаются слову «полярность», и различные истолкования проявлений полярности, употребительные в настоящее время, свидетельствуют о возрастающей неопределенности как этого понятия (полярности), так и самого слова. Некоторые считают, что уже одного только факта установки в определенном направлении или притяжения, или отталкивания, которые обнаруживаются телом под влиянием основного магнита, достаточно, чтобы говорить

о полярности; я (также) полагаю, что это столь же хороший признак, как и более сложные приспособления (2693), если рассматривается лишь старое понятие полярности. Другие требуют, чтобы два тела, находящиеся под влиянием основного магнита, проявили в своих действиях взаимоотношение друг с другом, и только в этом случае рассматривают их, как полярные. Тиндалл, не имея в виду высказывать какую-либо точку зрения на природу магнитной силы, берет за критерий мягкое железо: он считает, что, если тело обнаруживает под действием магнита те же или противоположные свойства по сравнению с теми, какие обнаружило бы мягкое железо, то оно находится соответственно в состоянии той же или противоположной полярности.¹ Томсон находит, что если два тела обнаруживают такие противоположные состояния или явления, то отсюда еще не следует, что их надо считать взаимно противоположными в отношении того, что можно назвать их полярными состояниями.² Он, мне кажется, более склоняется обращать внимание на дифференциальное действие, и в этом приближается к той точке зрения, которой вообще держится Э. Беккерель, а также и я. Маттеуччи полагает, что вся масса полярного тела должна испытывать всеми своими частицами такое же действие, как масса железа, и что раствор железа и некоторые соли железа не имеют полюсов в собственном смысле. Для них дело обстоит так, что в точках, ближайших к основному полюсу, имеется магнетизм, противоположный магнетизму полюса, а дальше его окружает тот же магнетизм, что и в полюсе; таким образом, два конца стержня из упомянутого вещества между двумя магнитными полюсами не связаны друг с другом.³ Беккерель считает, что в некоторых случаях полярность может проявляться в поперечном направлении и давать таким образом результаты, которые кое-кто объясняет противоположной полярностью. Во взглядах многих авто-

¹ Athenaeum, № 1406, стр. 1203.

² То же, столб. 3, внизу.

³ Cours spécial sur l'induction и т. д., стр. 201.

ров всегда заключается представление об источнике полярного действия; при этом одни предполагают скопление магнитных жидкостей на главных полюсах основного магнита, другие — действие электрических токов, движущихся в определенном направлении вокруг его молекул. Такие взгляды высказываются даже и тогда, когда индуцированная полярность противоположна полярности индуцирующего магнита, как в случае висмута и т. п. Другие, как Вебер, присоединяют к гипотезе Ампера представление об электричестве, оторванном от частиц, но нераздельно связанном с массой тела, подвергаемого индукции. Иные, мне кажется, считают, что полярность зависит не целиком от основного магнита, но от соседних или окружающих веществ. Если впоследствии существование физических силовых линий подтвердится, то я предлагаю связать, в отличие от истинной полярности (3307), то, что обычно называют полярностью, с кривизной силовых линий, которая зависит в свою очередь от лучшей или худшей магнитной проводимости веществ, обнаруживающих обычные явления полярности (2818).

3309. Взгляды на полярное действие и на самый магнетизм, которых держались ранее, претерпели значительное потрясение, когда произошло открытие диамагнетизма. Мне вскоре пришлось отказаться от предположения, что полюс N магнита индуцирует такую же или полярность N в ближайшей (к нему) части висмута или фосфора. Однако, поскольку этот взгляд поддерживают весьма видные ученые, которые связывают с ним существование магнитных жидкостей или замкнутых электрических токов как источников магнитного действия, его следует подвергнуть подробному рассмотрению; по-видимому, ему суждено послужить пробным камнем для распознавания и дальнейшего развития настоящей научной истины, чьи бы доказательства ни одержали верх. Для меня лично следствия, которые этот взгляд влечет за собой с точки зрения теории магнетизма, представляются если не совершенно невозможными, то во всяком случае связанными с серьезными противоречиями и многими недоразумениями; на некоторые из них я хочу в дальнейшем указать, но

единственно — руководясь желанием способствовать общему разъяснению вопроса.

3310. Предположим, что обыкновенный магнит M (рис. 1) действует на кусок железа или какого-нибудь другого парамагнитного тела I и делает его полярным, приводя его ближайший конец в противоположное состояние S в обычном понимании этого слова; пусть, действуя на подобный же кусок диамагнитного вещества, как например висмут B , он также делает его полярным, но ближайший конец принимает одинаковое (с ним) состояние.

Тогда B и I на время становятся двумя магнитами и должны в свою очередь действовать на магнит M ; или, если бы можно было сделать так, чтобы их состояния сохранились после удаления магнита M (а это как раз имеет место для I), они



Рис. 1

действовали бы подобно магнитам на третье тело, состоящее из магнитного вещества, как C . Когда M действует на I , он распространяет свое влияние, согласно признанным теориям, на все его частицы, приводя их в то же полярное положение, как его собственные. В свою очередь эти частицы, в соответствии с простым предположением, действуют друг на друга, как совпадающие с этими частицами магнитики и усиливают полярность всей массы на двух концах. Таким же образом M будет действовать на B , поляризуя массу и все ее частицы; ибо действие должно распространяться на все частицы диамагнитного тела B , вплоть до самых малых; и нам известно из опыта, что трубка, наполненная порошком висмута, действует так же, как и брусок из того же металла. Но каково же будет в данном случае действие этих частиц висмута друг на друга? Правда, можно предположить, что все они обладают полярностью, противоположной M ; но тогда они не могут быть противоположны друг другу. Все они должны иметь одинаковую полярность, и в одной частицы должен быть обращен к s соседней частицы в направлении полярности. Действие этих частиц друг на друга

должно иметь место на самом деле, и данные Тиндалла по влиянию сжатия доказали это правильным путем, а именно — путем опыта. Если бы предположить, что они не оказывают друг на друга такого действия, это стояло бы в противоречии с основной природой магнитной силы, и мы не имели бы никаких причин предполагать, что сам магнит может проявлять действие на частицы, а частицы — обратно, противодействие на магнит. Если бы они действовали друг на друга так же, как, согласно предположению, на них действует магнит, т. е. индуцировали разноименные полюсы, то действие магнита уничтожилось бы, и тем вернее, чем ближе находились бы друг к другу частицы. Между тем Тиндалл показал, что магнитные свойства висмута возрастают при таком сближении частиц, и таким образом мы еще более вправе заключить, что их взаимодействие или влияние друг на друга вызывают усиление состояния (всей) массы. Но если северный магнетизм одной частицы соответствует южному магнетизму соседней частицы и содействует его сохранению и усилению, то и вся масса должна обладать такой же силой. Таким образом, у этой массы, как у магнита в целом, полярность будет такая же, как у отдельных частиц. В самом деле, мы можем тогда сделать любое предположение: или что частица висмута действует на соседнюю частицу, или что на удаленную частицу висмута, или же что вся масса, состоящая из частиц, действует на удаленную частицу — все равно, действие во всех случаях должно быть одинаково.

3311. Но почему поляризованная частица висмута, действуя на другую частицу висмута, должна вызывать в ней одноименную полярность, а на частице железа — разноименную полярность? И почему массы висмута и железа, когда они действуют как магниты (3310), должны вызывать столь различные явления? Если бы это было так, то полюс n парамагнитного тела должен бы индуцировать полюс s на ближайшем конце железного стержня, а полюс n диамагнитного тела индуцировал бы полюс, противоположный первому, т. е. полюс n на том же конце железного бруска, в том же месте и том же положении. Таким об-

разом, пришлось бы предположить два рода магнетизма, т. е. две северных жидкости (или электрических тока) и две южных; и северный магнетизм висмута отличался бы от северного магнетизма железа так же, как полюс от полюса. Мало того, оказалось бы, что северный магнетизм висмута и южный магнетизм железа имеют в точности одинаковые свойства во всех отношениях и различаются только по названию; а южный магнетизм висмута и северный магнетизм железа также оказались бы абсолютно одинаковыми. Не означает ли это, что они и на самом деле одинаковы? И почему бы нам не согласиться с тем подтверждением и бесспорным доказательством этого факта, какое нам дает опыт с движущейся проволокой (3307, 3356)?

3312. Возьмем магнит, как первоначально индуцирующее тело (3310), и будем держаться представления о двух магнитных жидкостях, сосредоточенных в полюсах; эти жидкости имеют способность действовать друг на друга притягательно, но отталкивательно на сходные с собою; тогда ясно выступит несостоятельность предположения о том, что северная жидкость данного полюса может притягивать к себе северную жидкость одного тела, но южную жидкость — другого. Точно так же несостоятельно и предположение, что северная и южная жидкости основного магнита могут притягивать одну и ту же жидкость в висмуте и в железе и т. п. Далее, возьмем вместо магнита соленоид или катушку из медной проволоки, по которой проходит ток; мы найдем, что при этом получают подобные же явления; должны ли мы тут же заключить, что этот электрический ток, действуя на предполагаемые электрические токи, циркулирующие вокруг частиц материи, притягивает их иногда с одной, а иногда с другой стороны? Или, если в такую катушку ввести такие вещества, как висмут и платина, должны ли мы допустить, что одна и та же индуцирующая причина вызывает в них токи различного направления? И это тем более трудно допустить, что все другие явления, — а их множество, — указывают, что действие в смысле направления всегда одинаково, а изменяется только его величина.

Среды

3313. Обратимся теперь на некоторое время к рассмотрению действия различных сред и тех указаний, которые они дают по вопросу о полярности. Если слабый раствор протосульфата железа¹ *m* налить в отобранную тонкую стеклянную трубку около дюйма длиною, закрыть ее герметически (2279) и затем подвесить горизонтально в воздухе между двумя полюсами магнита, то она примет осевое направление и будет вести себя и в других отношениях подобно железу. Если заменить воздух между полюсами раствором *л* того же рода, что и *m*, но несколько более крепким, то раствор в трубке примет экваториальное положение, т. е. то же, что и висмут. Такой же раствор, несколько более слабый, чем *m*, назовем его *l*, заключенный в такую же трубку, будет вести себя в воздухе, как висмут, а в воде — как железо. Между тем это как раз те действия, которые приписывались полярности и которые считались доказательством предполагаемых противоположных полярностей парамагнитных и диамагнитных тел. Однако, если вникнуть хорошенько, то как применить понятие о полярности к этим случаям, или (свести) эти случаи к полярности? Раствор *l* устанавливается и действует как висмут в воде и как железо в воздухе; должны ли мы заключить отсюда, что он в этих случаях имеет противоположные полярности? И если да, то что служит основанием и причиной такого странного различия в явлениях, которые следует считать зависящими от его внутреннего или молекулярного состояния?

3314. Прежде всего переход явления в противоположное совершенно не может быть обусловлен отсутствием магнитной непрерывности, ибо предшествующие опыты показали с достаточной убедительностью,² что такие растворы обладают по своим свойствам такой же непрерывностью, как и само железо.

¹ Пусть, например, *l* содержит 4 грана, *m* — 8 гранов, *л* — 16 гранов и *о* — 32 грана кристаллического протосульфата железа на каждый кубический дюйм воды.

² Phil. Mag., 1848, XXIX, стр. 254.

3315. Во-вторых, с моей точки зрения невозможно утверждать, что среда, находящаяся между магнитом и подвешенным цилиндром с жидкостью, может уничтожить прямое действие первого на второй или изменить его так, чтобы изменилось направление его внутренней полярности. Пусть трубка наполнена раствором m ; тогда, будучи окружена раствором l , она установится так же, как железо; если ее будет окружать более крепкий раствор n , она установится как висмут; и при достаточном внимании можно подобрать последовательность жидкостей так, как изображено на рис. 2 и 3. Здесь кривые

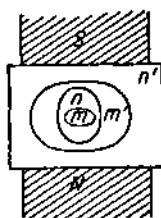


Рис. 2.

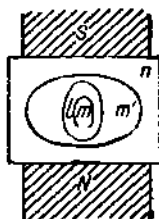


Рис. 3.

линии между полюсами представляют формы тонких стеклянных трубок, а буквы — заключенный в них раствор. На рис. 2 мы видим, что действие на m то же, что и на m' , и оба раствора устанавливаются одинаково, т. е. экваториально; действие на m не изменилось от того, что сила, исходящей из полюсов, пришлось пройти через n , m' и n' . На рис. 3 мы видим, что, при тех же условиях в отношении силы, m' устанавливается как висмут, а m — как железо, хотя это — те же растворы как по отношению друг к другу, так и по отношению к прежним растворам mm' . Уничтожение действия влиянием среды не могло бы вызвать таких изменений: одинаковости положений в первом случае и замены их на противоположные — во втором. Единственное, что можно было ожидать от такого влияния среды, это, может быть, ослабления действия, но не перехода полярности в проти-

воположную; и все соображения указывают на то, что во всех участках растворов, одновременно находящихся в поле, имеется *одна и та же полярность*, т. е. одно и то же направление силы, проходящей через них, и одно и то же внутреннее состояние. Иными словами, каждый раствор в этой сложной совокупности испытывает совершенно такое же действие, в совершенно такой же степени, как если бы он один наполнял магнитное поле, хотя при различных расположениях он иногда устанавливается как железо, а иногда как висмут (2362, 2414).

3316. В этих движениях и установках одного и того же раствора или различных растворов заключены все действия и признаки, по которым, согласно предположению, можно различить друг от друга противоположные полярности парамагнитных и диамагнитных тел. Растворы *l* и *m* в воздухе в точности повторяют те явления, которые обнаруживают в воздухе фосфор и платина, представляющие собою соответственно диамагнитное и парамагнитное вещества. Но мы знаем, что эти явления обусловлены результатом дифференциального действия масс движущегося или устанавливающегося раствора и раствора (или воздуха), его окружающего. Для их объяснения вовсе нет необходимости в допущении структурной или внутренней полярности, имеющей противоположные направления (2361, 2757). Если, тем не менее, мы говорим, что раствор *m* имеет одну полярность в *l* и противоположную полярность в *n*, то это означало бы, что полярность обуславливается массой *m*, независимо от ее частиц; ибо трудно предположить, чтобы на частицы *m* сильнее влияло действие окружающей среды (которая сама находится под таким же индуктивным влиянием, а как магнит почти совсем бездеятельна), чем основного магнита.¹

¹ Если полярность внутренней части раствора зависит от полярности внешней части и может быть изменена только через ее посредство, то почему не допустить, что воздух и пустота находятся в активном магнитном взаимодействии с телами, ими окруженными? Каким иным образом магнит мог бы действовать на удаленное тело, если он действует так на внутренний раствор сульфата железа? Или мы должны предположить два рода

Это означало бы также, что полярность (раствора) m в такой же степени обусловлена окружающей средой, как и самим магнитом или еще в большей степени; это означало бы, далее, что массы m и l и даже их форма являются определяющей причиной полярности. Таким образом из (понятия) полярности была бы совершенно исключена всякая зависимость от внутреннего молекулярного состояния, и, я полагаю, тем самым уничтожились бы последние остатки обычных представлений (о ней). Я со своей стороны не могу себе представить, чтобы, если маленькая сфера m в растворе l притягивается каким-либо данным магнитным полюсом и отталкивается под действием того же самого полюса, будучи помещена в раствор n , то ее частицы в этих двух случаях будут полярными в двух противоположных направлениях. Не могу себе представить также, чтобы для северного магнитного полюса южную полярность приобретала ближайшая сторона частиц m внутри раствора l и более отдаленная — при замене раствора l раствором n . Не допускаю и того, чтобы, если частицы m имеют одно и то же полярное состояние в обоих растворах, то чтобы целое, как масса, могло иметь противоположные состояния.

3317. Эти дифференциальные результаты составляют один непрерывный ряд от крайнего парамагнитного вещества до крайнего диамагнитного; и в этом ряду решительно каждое вещество, будучи взято вместе с двумя другими, находящимися по две разные стороны от него, обнаруживает те явления и действия, которые считаются признаками противоположных полярностей железа и висмута. Каким же образом отличить состояния, в которых они находятся, от предполагаемых состояний полярности, свойственных висмуту и железу? Я полагаю, это возможно только с помощью других предположений, которые иначе объясняют весь вопрос. В первую очередь нужно допустить, или и в самом деле допускается, что в пространстве

действия — посредством смежных масс или частиц в одном случае и действия на расстоянии — в другом?

вокруг магнита, если он находится в пустоте, не существует магнитной силы; утверждается, что действие не может проходить через те места в этом пространстве, где нет такого материального вещества как висмут или железо, и оно не может даже достигать таких мест. Предполагается, стало быть, что пустота находится в состоянии магнитной темноты (3305) — предположение чрезвычайно смелое, если принять во внимание наши знания о силах природы и в особенности о двойственных силах; можно сказать, что более смелого предположения не встречается ни в одной области науки о магнетизме или электричестве. Именно этот вопрос должен ранее всех других считаться неясным и подлежащим в самую первую очередь разрешению путем экспериментального исследования. Это все равно, как если бы кто сказал, что в пространстве между Солнцем и Землей нет никакого света или чего-нибудь вроде света, потому что это пространство невидимо для глаза. Сам Ньютон не решился сделать такое предположение даже в отношении тяготения (3305), а самым серьезным образом остерегается его сам и предостерегает от него других; и Эйлер,¹ по-видимому, следует ему в этом. Однако такое предположение дает его сторонникам возможность обойтись без рассмотрения дифференциальных действий для тел, находящихся в пустоте, и разделять все вещества на хорошо известный двойной ряд парамагнитных и диамагнитных. Кроме того, те, кто предполагает, что диамагнитные тела обладают противоположной полярностью, должны также предполагать, что состояние, приобретенное ими вследствие индукции, менее благоприятно для проявления или передачи магнитной силы, чем первоначальное не поляризованное состояние висмута. Но такое предположение, по-моему, противоречит естественному действию и окончательному устойчивому состоянию, в которое физические силы стремятся привести все тела, им подверженные. Я могу представить себе, что магнит, действующий на кусок железа, может так направить и расположить силы, что действия

¹ Письма, и т. д., англ. перевод. Письмо XVIII или стр. 260—262.

магнита и железа окажутся взаимно согласованными; но чтобы магнит мог привести висмут в такое состояние, в котором он стал бы отталкивать магнит, тогда как без этого воздействия он был бы в настолько благоприятном положении, что остался бы в крайнем случае безразличным, это не укладывается в моем представлении. Наконец, те, кто придерживается гипотезы о *магнитных жидкостях*, должны допустить, что во всех случаях диамагнетизма, и только в этих случаях, основное представление о их взаимодействии должно быть не только устранено, но заменено противоположным, так что гипотеза оказалась бы в противоречии сама с собой. Тем же, кто предполагает, что причиной магнитных явлений служат электрические токи, пришлось бы отказаться от закона об их индуктивном действии (насколько мы его знаем) во всех случаях диамагнетизма; а между тем, если бы они приблизили диамагнитный висмут в форме катушки к полюсу, они получили бы (в ней) ток, *соответствующий* этому закону.

Время

3318. Я решаюсь высказать несколько мыслей относительно состояния, в которое приводятся диамагнитные тела действием индукции, в связи с вопросом о *времени*. Сколько я знаю, все силы природы, по-видимому, стремятся установить состояние покоя, за исключением случаев, когда дело идет о жизненных или органических силах. Если в *жизни* все действия направлены вперед и скорее относятся к будущему, чем к настоящему (Paget), то все *неорганические* проявления силы стремятся вызвать устойчивое и неизменное состояние, в результате которого достигается положение покоя, т. е. статическое состояние сил.

3319. Применим это соображение к случаю висмута в магнитном поле. Мне представляется более соответствующим естественной природе вещей, если состояние, в которое приходит висмут, оказывается более благоприятным для окончательного статического проявления действия на него со стороны основного

магнита, чем то состояние, в котором висмут был до того, как он претерпел или испытал действие индукции. Это — то же самое, что мы знаем относительно мягкого железа; прежде чем приобрести то состояние, которое может индуцировать в нем основной магнит, оно менее благоприятно для установления окончательного статического состояния сил, чем после того, как это произойдет. Но из самых различных опытов обнаружилось весьма явственно, что в обычные магнитные и магнитно-электрические действия входит, как один из элементов, *время*, и есть все основания ожидать того же и в отношении диамагнитных действий. Известно также, что мы можем с выгодой воспользоваться этим обстоятельством и исследовать состояние куска железа в магнитном поле как ранее, чем оно достигло своего окончательного индуцированного состояния, так и после этого. Мы можем, например, поместить его внутри катушки, ввести в электрическое поле и *затем* быстро соединить катушку с гальванометром; тогда мы получим ток такого направления, которое подтверждает истинность сделанного предположения. При других видоизменениях опыта и при значительных кусках железа время, которое можно таким образом выделить или уловить в продолжение постепенного установления индукции, может достигать минуты и более. Предположим, что то же можно в более или менее заметном виде произвести и для диамагнитных тел; тогда возникают следующие соображения. Можно считать, что те состояния, в которых находится шарик или стержень из висмута в магнитном поле до и после индукции, разделены друг от друга некоторым небольшим промежутком времени. Если индукция возбуждает (в нем) состояние полярности, противоположное состоянию магнита, то условия, которые висмут представляет для действия на него магнитной силы, более благоприятны *до* индукции, чем *после* нее. Если же, как считаю я, полярность не противоположна полярности магнита, а одинакова с ней, то металл должен быть более благоприятным для направления магнитной силы в него или через него *после* индукции, а не *до* нее. Я убежден, что этот опыт должен разре-

шить вопрос о противоположной полярности, а может быть, и о существовании или несуществовании физических линий магнитной силы. Поэтому я делал множество попыток, изменяя опыты на разные лады, чтобы получить некоторые результаты, зависящие от *времени*, которого требует индукция. В частности, я применял переменные движения висмутовых шариков и цилиндров между магнитными полюсами из мягкого железа; эти шарики и цилиндры были окружены катушками. Однако до сих пор мне не удалось добиться успеха. Я не сомневаюсь, что время играет здесь роль; но, по-видимому, его продолжительность столь мала, что его нельзя заметить теми средствами, которыми я располагал.

3320. Профессор Томсон поставил вопрос о времени и полярности в другой форме. Если висмутовый шарик поместить без трения посредине магнитного поля, то он не будет принимать какой-либо установки или перемещаться вследствие своей формы; но если у него будет противоположная полярность, он будет в состоянии неустойчивого равновесия. Предположим, что *время* играет здесь роль; если тогда шарик дать поворот вокруг его оси хотя бы на самый малый угол, полярность, которую он приобретет, будет наклонна к магнитной оси, и шарик будет продолжать вращаться безостановочно, осуществляя тем самым вечное движение. Я не могу представить себе, каким образом можно избежать этого вывода, а потому не могу допустить принципов, на которых он основан. Понятие о вечном движении, получаемом с помощью статической силы, противно научной логике и невозможно. Я считаю, что столь же невозможно противоположное или обратное по своей полярности статическое состояние, о котором я говорил выше.

3321. Я не считаю необходимым говорить здесь о том, как именно эти явления объясняются с моей точки зрения магнитных силовых линий, это уже было сделано в более ранних статьях (2797 и т. п.). Однако я обращаю внимание тех, кто пожелает продолжить эти исследования, на истинный случай противоположной полярности в магнитном поле (Экспериментальные

Исследования, 3238, табл. V, 15). Отсюда для них будет наглядно и понятно, как начинается вращение висмутового шарика (в опыте) профессора Томсона и как оно продолжалось бы, если бы, как это предположено, полярное состояние, изображенное на чертеже, постоянно возобновлялось.

3322. Мы видим, что северный полюс магнита отталкивает в пустоте кусок висмута или заставляет висмутовый стержень устаивавливаться экваториально. Известно, что магнит действует таким же образом на многие парамагнитные тела, когда они окружены средой, несколько более парамагнитной, чем они сами, и на столь же многие диамагнитные тела, окруженные средой, немного менее диамагнитной, чем они. Ввиду всего этого было бы осторожней выяснить в первую очередь, как именно происходят эти движения и как получается, что участки, которые у парамагнитных тел, несомненно, приняли бы южную полярность под действием северного конца (магнита), удаляются от него. Полученные при этом результаты следовало бы применить прежде всего к явлениям, которые обнаруживает висмут в пустоте. Без этого мы не вправе вносить коренные принципиальные изменения (и только для отдельных веществ) в общий закон магнитной полярности; а пока для этого нет другой причины, кроме описываемого эффекта и других фактов в подтверждение таких выводов.

Искривленные линии магнитной силы — зависимость от двойственности

3323. Описательный прием магнитных силовых линий, предлагаемый мною, заключает в себе понятие о кривизне этих линий не только как некоторое условное изображение, благодарн которому представление об этих линиях становится более наглядным, а как нечто, вытекающее из самих явлений и ими подсказываемое, если не доказываемое. С этой точки зрения я и продолжаю их здесь рассматривать. Доказательством их кривизны служит в области теории — существенная и не-

обходимая зависимость двух свойств или частей двойственной силы друг от друга (3324 и далее) и в области *эксперимента* — многочисленные результаты, которые проявляются во взаимодействиях магнитов и магнитных веществ, а также в явлениях движущихся проводников (3337 и далее). Поэтому я займусь рассмотрением всех этих вопросов одного за другим.

3324. До сих пор не известен случай, чтобы какая-либо форма или часть двойственной силы существовала иначе, как одновременно с другой или в зависимости от нее; это другая присутствует одновременно с ней в эквивалентной, т. е. равной мере. В статическом электричестве, где предполагаемые электрические жидкости рассматриваются как разобщенные друг от друга, они бывают в одинаковом количестве (1177) всегда связаны друг с другом (1681), часто кривыми силовыми линиями (1215), и существование одного электричества без другого или избыток или недостаток одного по сравнению с другим, хотя бы в самой слабой степени, абсолютно невозможны (1174). В гальванической батарее или в электрическом токе, возбужденном каким-либо иным образом, например, с помощью термо-батарей или путем индукции, ток в одной части контура абсолютно тот же по силе и по двойственному характеру, что и в другой. В изолированной, но замкнутой гальванической батарее, где возбуждающая сила действует внутри, не может получиться ни малейшего признака сил, или одной из них, пока контур не замкнут или у полюсов не допускается индукция. Ибо, если нет замкнутого контура, а индукция предотвращена, то не может получиться ни в малейшей степени не только самого тока, но и такого накопления электричества на полюсах батареи, которое способно дать начало току. Точно так же я совершенно убежден, что северный и южный магнетизм (в чем бы они, по предположению, ни состояли) не могут существовать поодиночке, без точного равенства друг другу, без обоюдной зависимости друг от друга, и что они связаны взаимным родством и зависимостью, как все двойственные силы.

3325. Рассмотрим твердый неизменный магнит в пустоте (рис. 4). Если к нему поднести кусок мягкого железа I , то конец магнита N вызовет южный магнетизм в ближайшем конце железного бруска и северный — в отдаленном конце. Это будет продолжаться, пока железо не будет удалено, причем южный и северный магнетизм двух концов магнита останутся все время неизменными по величине и равными друг другу (3223, 3224). Если мы теперь скажем, что сила, исходящая из N , может действовать на железо, вызывая равную и противоположную силы, а затем, по удалении железа, уже не будет действовать ни в нем и *нигде*; а затем опять будет действовать



Рис. 4.

на железо, если его подносить, или на что-либо другое, и опять перестанет действовать, и так далее, то это, по-моему, будет отрицанием (закона) *сохранения силы*. Ведь нам известно, что

внутри магнита не происходит никакого эквивалентного действия, а потому нет возможности объяснить предполагаемое проявление и исчезновение его силы в различное время попеременным возбуждением и затуханием его двойственных начал.

В самом деле, если вплотную намотать во время опыта на среднюю часть магнита катушку, то она не даст тока и тем самым покажет, что в то самое время, как внешнее проявление действия, согласно предположению, якобы изменится, превращаясь из активного в инертное, в это время внутри не происходит никакого эквивалентного ему возмущения сил.

3326. Предположим, что действие такого магнита обусловлено магнитными жидкостями N и S ; можно ли представить себе, что частички N иногда притягивают частички S , а иногда нет? Разве это не было бы равносильно предположению об исчезновении, т. е. уничтожении силы? — А это безусловно невозможно. Невероятнее этого могло бы быть разве только предположение, что жидкость N может иногда притягивать S и отталкивать N , а в других случаях отталкивать S и притягивать N (3311, 3312, 3317).

3327. Что касается мягкого железа, подвергаемого индукции (3325), то его двойственные магнитные силы возвращаются в свое прежнее взаимно зависимое и взаимно уравновешенное состояние. Но предположим, что железо заменено сталью и что два возбужденных в последней магнетизма не воссоединяются и не исчезают при удалении основного магнита; на что же в конце концов обратится их действие, как не друг на друга (3257, 3324)? На что пойдет сила S стали, когда мы отделим ее от связи с силой N магнита, ее вызвавшей? На эти вопросы можно ответить только, если предположить независимое существование этих двух сил (3329), или если допустить возможность исчезновения силы или которой-нибудь из этих сил отдельно от другой (3330), или если признать взаимную независимость двух полярностей магнита (3331).

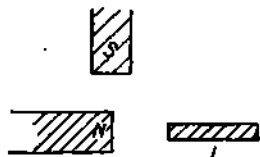


Рис. 5.

3328. Если полюс N магнита (рис. 5) действует в пустоте, то его действие обнаруживается в известной степени вокруг него (114). Если к нему поднести кусок мягкого железа I , то значительная часть его силы сосредоточивается на этом железе, но общее количество силы на полюсе N и вокруг него остается без изменения. Если приблизить полюс S другого магнита или того же самого (ибо эффект будет в точности одинаков), то значительная часть силы, действующей на железо, удалится от него и перейдет на полюс S , но количество силы у полюса N останется прежним. Все это можно доказать на опыте при помощи катушки, навитой на мягкое железо, и петли, передвигаемой мимо полюса N (3218, 3223). Впрочем, то, каким образом действие одного из полюсов на железо или висмут уменьшается или вообще изменяется при приближении с той же стороны противоположного полюса, очень хорошо известно. Есть тысячи способов изменять на разные лады направление магнитной силы, но при этом сумма ее действий у источника не претерпевает ни малейшего изменения. Все это до-

казывает свойства противоположности и нераздельности двух форм силы.

3329. Если допустить независимое существование этих двух сил (3327), то как же объяснить, что они никогда не проявляются в отдельности? Хотя бы в той мере, в которой это, можно сказать, обнаруживается в статическом электричестве? Ни в одном из бесчисленных явлений магнетизма нет ничего, что можно было бы уподобить заряду северного или южного магнетизма (3341). Два магнетизма связаны так же тесно, как два электричества гальванической батареи, все равно, в каком виде она находится: в замкнутом состоянии, когда она возбуждает ток, или в незамкнутом, когда она вызывает индукцию на своих полюсах. Затруднение состоит именно в том, чтобы найти факты, могущие служить хотя бы в малейшей степени доказательством мысли, что две магнитные силы можно отделить друг от друга или рассматривать их отдельно друг от друга.

3330. Что касается уничтожения силы (3327), то я считаю, что создание, уничтожение и подавление силы, и тем более одной только формы двойственной силы, столь же невозможно, как и материи. Все, что допускается общими законами природы, это — ее перемещение, удаление и иное ее потребление; и это относится в одинаковой мере и к малейшему уничтожению силы или части силы и к уничтожению всей силы в целом. Я спрашиваю дальше: если невозможно уничтожить или заставить исчезнуть силу *физически*, то не является ли это также и *математически* невозможным, если не парушать закон сохранения силы?

3331. Если мы говорим, что силы в случае удаления (магнита) (3327) могут распределяться иногда в одном, а иногда в другом направлении, но так, что они полностью сохраняют свою величину и остаются эквивалентными, то как мы должны представить себе их распределение в случае цилиндрического или шарообразного магнита, находящегося в воздухе или *пустоте*, так, чтобы они всецело зависели сами от себя? Или, в случае

намагниченной сферы, приведенной в магнитном поле в положение, ему противоположное, так, что ее всю окружают и окутывают магнитные силы, направление которых противоположно направлению ее собственных сил (3321, 3238)?

3332. Если мы говорим, что два заряда такого магнита связаны друг с другом [это третий случай (3327)], то нам нужно уяснить себе, каким образом это возможно, при сохранении соответствия с взаимодействием на расстоянии или магнитных жидкостей, или электрических токов, действующих только по прямым линиям. Такое действие должно тогда передаваться через массу самого магнита (3260). Рассмотрим сначала только магнитные жидкости. Направление действий одной из них по направлению к другой — действий, проходящих через магнит, когда он один, должно быть таково же, как и направление к приближаемому железу, в котором они, согласно предположению, индуцируют скопления противоположных жидкостей. Оно должно быть таково же, как направление к жидкостям в противоположных полюсах приближаемых к ним магнитов одинаковой или большей силы. Иными словами, два полюса магнита следует представлять себе как центры силы, оказывающие свое действие друг на друга иногда через толщу магнита в данном направлении, а иногда — наружу к внешним полюсам — в точности противоположном. Но токи, возбуждаемые вращением магнита или соединенных с ним металлических дисков (3119, 3163), показывают, что направление силы (которое и есть ее полярность) не является в этих двух случаях противоположным, а остается одинаковым внутри магнита и в его продолжении через полюс и далее. Они показывают также, что во всех случаях: когда магнит один и, следовательно, полярные силы, согласно предположению, действуют друг на друга через него, и когда он связан с другими магнитами, а потому никакого действия силы внутри него не будет, во всех этих случаях магнит останется одинаковым: сохранит те же свойства, направление и величину силы (3116).

3333. Предположим теперь, что заряженное и полярное состояние магнита зависит от молекулярных электрических токов, которые, благодаря известным внутренним условиям, остаются в параллельном положении. Они не могут действовать друг на друга по прямым линиям назад через магнит, связывая северный и южный магнетизм полюса взаимной зависимостью, так как, согласно предположению, связаны с внешними полюсами. Это делается возможно только в том случае, если сами токи будут *сдвигаться с места и поворачиваться*, пока весь магнит не нейтрализуется и не возвратится обратно в немагнитное состояние, как возвращается кусок мягкого железа. Когда такой возврат имеет место в мягком железе или, в какой-либо степени, в стали, обвитая вокруг них катушка обнаруживает индуцированные точки, вызываемые этим изменением; петля (3133, 3217) тоже показывает известное различие в случаях, когда железо или магнит полярны наружу и когда это состояние прекратилось. Для твердого магнита, если он попеременно предоставляется самому себе и приводится в соотношение с внешними полюсами других магнитов, такие явления не имеют места. И самое вещество магнита, и силы, через него проходящие, оказываются неизменными и при исследовании его с помощью петли (3223), и при наблюдении движения как его самого, так и связанных с ним дисков и проволок (3116 и др.). Его сила всегда остается одной и той же по величине и общему направлению.

3334. Хорошо известен случай стального кольцеобразного магнита (3283) и то, каким образом этот магнит, не проявляющий никакого внешнего действия, развивает сильные полюсы, если его разломать. Эти явления, с моей точки зрения, убеждают нас в том, что появляющиеся при разламывании северный и южный магнетизм не могут направиться друг к другу назад через магнит, когда два куска лежат отдельно: для такого предположения нет достаточных оснований. Далее, то же доказывается и взаимным разрушением сильно намагнитенных линейных магнитов, как например стальных иголок, если большое

их число соединить в толстый, короткий пучок. В самом деле, положим, что когда такая игла одна, то полярные силы оказываются не внешними, а действуют друг на друга через посредство каждого отдельного магнита; но в таком случае они могут с одинаковым удобством располагаться таким образом и тогда, когда магниты связаны, и тогда, когда они разъединены. Таким образом, не остается никакой причины ожидать, чтобы они оказывали преобладающее действие друг на друга более сильное, чем действие каждого из них на самого себя.

3335. Не следует думать, что то изменение силы, которое происходит тогда, когда магнит, первоначально действующий внешним образом, принужден действовать внутренним образом или через себя, будет мало и незаметно. Оно должно достигать той же величины, как общая величина силы, которую магнит может проявить при самых благоприятных обстоятельствах. Есть множество способов наглядно показать это при помощи подвижных проводников и дисков во всех тех случаях, которые могут иметь место при прохождении силы через магнит или ее удалении из магнита. Таким образом, в этом отношении не может возникнуть никакого затруднения, и, с моей точки зрения, здесь остается только два возможных предположения. Или полярная сила N магнита, будучи отделена от внешней компенсирующей полярной силы S , уже не проявляется нигде в виде магнитной силы, или она устремляется наружу и соединяется с полярной силой S того же магнита и таким образом остается и поддерживается на время в своем естественном, эквивалентном и существенном состоянии. Если она превращается в новую форму силы, то какова эта форма? где она расположена? какими действиями обнаруживается? каковы доказательства ее существования? На эти вопросы ответа нет. Но если она направляется вне магнита к его противоположному полюсу S , то выдвигаются вперед все следствия и основания моих гипотез о магнитной силе и ее полярности. Я склонен даже думать, что мы имеем в этом случае свободное от противоречий и удовлетворительное объяснение всех явлений магне-

тизма, за исключением только представлений о природе самой магнитной силы.

3336. Действительно, если двойственные силы магнитных полюсов в свободном пространстве связаны друг с другом и зависят друг от друга, но не через магнит (3331), то это должно осуществляться через окружающее пространство. Это пространство тогда должно находиться в реальном физическом взаимоотношении с проходящей через него силой подобно тому, как оно находится во взаимоотношении с лучом света, проходящим от освещающего тела к освещенному. Направления, по которым две силы действуют друг на друга, не могут быть в этом случае прямолинейными, ибо если бы эти прямые линии существовали, то они необходимо проходили бы через магнит. Эти направления должны быть криволинейными, ибо очевидно, что только кривые линии могут осуществлять взаимную связь между полюсами через окружающее пространство (3297). Если же это — кривые линии, то я не могу представить себе, чтобы они были чем-либо другим, кроме как физическими силовыми линиями; линиями, которые способны переносить действие наружу в соответствии с его необходимо двойственными свойствами и в согласии с тем направлением, которое, по моему мнению, следовало бы по праву называть *полярностью*. Далее, мне кажется, что если мы только допустим магнитные свойства вакуума, то все явления, относящиеся к парамагнитным и диамагнитным телам, к дифференциальной и индивидуальной полярности, к растворам, углам, кристаллам и движущимся проводникам, представляется нам в простой взаимной связи, без каких-либо противоречий с фактами или гипотезами и в совершенном согласии друг с другом.

3337. Я не хочу удлинять эту статью повторением соображений и доводов, которые я уже приводил ранее по другим случаям. Поэтому я только напомню в общих чертах проводимый мною взгляд, что в пространстве вокруг магнита существуют такие силовые линии, что таким образом поддерживается взаимная зависимость двух различных сил, которая суще-

ственна для изолированного магнита, и что тела в этом пространстве обнаруживают парамагнитные или диамагнитные явления, смотря по тому, благоприятствуют они или противодействуют той степени поддерживающей силы, какой обладает пустое пространство. Нетрудно показать многочисленными опытами, что эти тела, или среды, как их можно назвать, имеют такие же магнитные свойства, что и пустота. Но при этом между ними существуют некоторые взаимоотношения, зависящие от их относительной электропроводности; поэтому я считаю полезным употребить некоторое время на рассмотрение вопроса о том, в какой мере нижеследующие результаты иллюстрируют вероятное состояние пространства, в котором таких тел нет. Рассмотрим магнитный полюс N (рис. 6), помещенный против равного ему магнитного полюса S ; тогда их действия взаимно связаны и взаимно поддерживают друг друга; пусть далее пространство между ними a, a, a занято пустотой, азотом или каким-либо другим газом при магнитном нуле (2770 и т. д.). Силу, с которой N действует на S , или наоборот, легко определить с помощью катушек и т. д., поскольку дело идет о ее изменении по направлению или по величине. Представим себе теперь, что это пространство a, a, a целиком состоит из меди или ртути; силы останутся теми же самыми; представим себе, далее, что оно отчасти наполнено медью или ртутью, а отчасти представляет вакуум или наполнено стеклом, а линия раздела проходит от S к N или через a, a, a , или еще как-нибудь; силы все же остаются без изменения. Каждая из этих сред действует в точности, или почти так же, как пустота, так что мы вряд ли можем обнаружить различие. Пусть теперь движется металл или в виде потока, разделенного на отдельные участки в a, a, a , или в виде сплошного (медного) шара C (рис. 7), быстро вращающегося вокруг прямой, соединяющей N и S . И тут мы получим тот же результат, что в случае пустоты или безразличного газа или стекла, и мы не знаем пока ни одного явления, на основании которого мы могли бы отличить материальную среду от пустого пространства. Но заменим поток

металлических частиц сплошной пластинкой и мы увидим, что по ней проходит множество электрических токов. Точно так же, если мы приложим провода гальванометра к вращающемуся медному шару около его оси и около его экватора, тогда мы заставим его развивать (давая возможность токам проходить) новый эффект, и токи будут в весьма большом количестве исходить из приложенных (к нему) проводов. Если быстро вращать медный шар C вокруг оси, перпендикулярной прямой SN , то с магнитной точки зрения он представит собой такую сильную и действственную среду, что полюсы N и S ,



Рис. 6.



Рис. 7.

если только они могут свободно двигаться, пойдут в том же направлении, что и ближайшие к ним участки шара. При этом они будут неудержимо удаляться друг от друга, несмотря на силу взаимного притяжения, которая непременно стремится их сблизить. Теперь я спрашиваю, можно ли представить себе, чтобы медь или ртуть проявляли такое действие в состоянии движения, если бы они ничем не были связаны с магнитной силой в состоянии покоя? Или чтобы они обладали таким действием в сплошном виде, если они не были ни в каком соотношении с магнитной силой, когда двигались в размельченном виде? Одно только добавление движения не могло бы ничего сделать, если бы не имела места первоначальная статическая взаимная зависимость магнита и металла. Мы хорошо знаем, что при движении взаимодействие вызывает или стремится вызвать электрические токи; но этот факт является дальнейшим доказательством того, что металлы уже ранее (чем дви-

гаться) связаны с магнитом. И поскольку в различных телах, вплоть до водных растворов, при тех же условиях развиваются электрические токи, мы имеем все основания утверждать, что все тела, помещенные в магнитном поле, находятся в таком же статическом состоянии как медь, когда они еще не приведены в движение. А если к этому добавить движение, они все должны были бы развивать электрические токи, если бы только не их плохая электропроводность.

3338. Как известно, эти действия движения тождественны с эффектами, наблюдаемыми в движущемся проводе (36, 55), или с эффектами гальванической индукции (6 и след.). Их напряжение и силу можно весьма наглядно показать на действующем магнито-электрическом приборе Элькингтона и индукционной катушке Румкорфа. Их возбуждение требует *времени*, и профессор Генри до известной степени доказал нам, что, если ток проходит по катушке, его поперечное магнитное действие временно прекращается или отклоняется (1730). Эти действия во всех случаях просты, т. е. силовая линия в данном полярном направлении вызывает или стремится вызвать в теле, движущемся поперек нее, ток *одинакового* направления, независимо от того, каково это тело: парамагнитное, нейтральное или диамагнитное (3146, 3162). Этот ток (одинакового направления), я полагаю, должен порождаться существующим заранее одинаковым *статическим* состоянием. Никогда в этих явлениях не было обнаружено чего-либо, хоть в малейшей степени похожего на существующие якобы противоположно-полярные состояния парамагнитных и диамагнитных тел. Поскольку я знаю, никто никогда не утверждал и не предполагал, чтобы эти два действия, т. е. магнитное и магнито-электрическое, были различны по своей основной природе, никто не отрицал, что они представляют собой два совместимых и согласных друг с другом и, я должен добавить, два взаимных действия одной и той же силы.

3339. То, что медь и т. д., находясь в магнитном поле, является действительной магнитной средой, можно доказать сле-

дующим образом. Пусть N (рис. 8)—магнитный полюс, а C — толстый диск или короткий цилиндр из меди. Как бы быстро медь ни вращалась вокруг своей оси, в ней не возникает электрических токов; и магнитное действие N на другие магниты будет совершенно такое же, как если бы металл был в покое или если бы его не было совсем. Если N удалять от C , то в C появляются токи, хотя он и не движется; и хотя действие N на другие магниты, насколько они нам известны, не меняется, однако между C и северным полюсом обнаруживается слабое притяжение. Если N приближать к C , получают

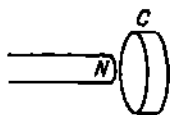


Рис. 8.

обратные токи и обратные действия. Если N приближать быстрее или медленнее, возбуждаемые токи и связанное с ним временное магнитное состояние оказываются сильнее (или слабее). Эти явления хорошо обнаруживаются цилиндрическим электро-

магнитом. Медь все время оставалась в покое, ей намеренно не сообщалось никакого движения; действие на нее оказывалось приближением и удалением полюса, и она переходила из одного состояния в другое, а состояния эти оставались неизменными, пока полюсы были неподвижны; медь обнаруживала все свойства среды, на которую действует магнитная сила. При помощи соответствующих приемов можно пропускать токи через медь и предотвращать их; но все равно, допустить их появление или нет—состояние, в которое приходит медная среда, будет одинаково. Если не допускать тока, в то время как магнит приближается, но допускать его при его удалении, тогда ток, вызываемый последним изменением, действительно возникает. Этот эффект легко показать с помощью магнита и катушки. Все это, как мне кажется, служит весьма убедительным доказательством того, что, когда медь находится под постоянным влиянием магнита, она сохраняет неизменное, статическое магнитное состояние; она является, значит, магнитной средой, через которую проходят силовые линии. Если бы C было из висмута, а не из меди, то имели бы место те же са-

мые токи и в том же самом направлении, только гораздо более слабые — как следует думать — только вследствие его малой проводимости.

3340. Нет сомнения, что в этих явлениях есть еще много такого, что остается совершенно неизвестно или известно очень мало; и результаты, полученные Маттеуччи, вероятно, поведут к весьма важным исследованиям и открытиям. Он утверждает,¹ что медь, при крайнем размельчении, дает весьма устойчивые явления, которые показывают, что мы вправе считать ее диамагнитным телом; но если взять ее в компактном виде, то все или почти все ее диамагнитные свойства исчезают. До сих пор мы ничего не знаем о том, каким именно образом простое различие состояния — сцепление или измельчение — может в такой степени влиять на диамагнитные свойства. Он находит также, что и в других случаях, как например при вращении Араго, частицы материи действуют не так, как это можно было бы предвидеть, руководствуясь нашим знанием о них, как о массах. Нужно надеяться и ожидать, что, когда эти опыты получат дальнейшее продолжение и развитие, мы составим себе лучшее суждение об истинной физической природе магнитного действия, чем можем это сделать в настоящее время.

Места, где нет магнитного действия

3341. Существенная связь и зависимость двух магнитных сил проявляется, мне кажется, весьма поразительным образом, когда мы пытаемся отделить северный или южный магнетизм и для этого концентрируем который-нибудь из них в одной (части) пространства или на одной порции вещества, а затем пробуем обнаружить их присутствие посредством каких-либо их действий — напряжения или чего-нибудь другого, что связано или не связано с полярностью. Вокруг стержня из многого железа, имеющего один квадратный дюйм в сече-

¹ Cours spécial sur l'induction etc., 1854, стр. 165, 269.

нии, 3—4 дюйма в длину, и закругленного на ребрах, было навито тридцать два оборота обмотанной медной проволоки, диаметром в 0.05 дюйма. Эта обмотка покрывала главным образом среднюю часть стержня; впрочем, в случае надобности ее можно было немного сдвигать к тому или другому концу стержня. Пропуская электрический ток по проволоке, можно было намагнитить такой стержень; передвигая железный стержень в его катушке, можно было в некоторой степени регулировать силу оконечностей N и S . Имея в распоряжении шесть

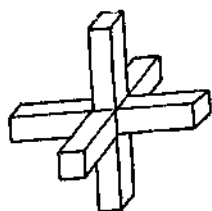


Рис. 9.

таких стержней, легко было уставить их одноименными полюсами друг к другу, так что получилось кубическое пространство или камера (рис. 9); в этом пространстве я производил опыты всеми средствами, которые были в моем распоряжении; чтобы в него можно было иметь доступ, у стержней на тех телесных углах, которые должны были быть обращены друг к другу, часть железа стачивалась; или же электромагниты несколько отодвигались друг от друга. Тогда в это пространство или через него можно было пропустить луч света; в нем можно было подвесить магнитные стрелки или кристаллы висмута; в нем можно было поместить и вращать кольцеобразную катушку; и все движения, происходящие внутри, можно было наблюдать (простым) глазом снаружи.

3342. Небольшая магнитная стрелка, подвешенная посреди такого пространства, не обнаруживала никакой магнитной силы; правда, вблизи сточенных краев и углов замечались колебания, но они были ничтожны сравнительно с теми сильными колебаниями, которые наблюдались вне камеры, даже если стрелка находилась на расстоянии во много дюймов. Кристалл висмута оставался совершенно безразличным. Кусок мягкого железа, подвешенный на припаянной к нему медной проволоке внутри камеры, не обнаруживал ни следа магнитной силы — ни при исследовании посредством маленькой стрелки, ни при

каком другом способе исследования. Железные опилки, насыпанные на картоне, помещенном поперек камеры, в середине камеры не испытывали никакого действия, а только вблизи частью сточенных углов. Кольцеобразная катушка из многих оборотов, окончания которой выходили из противоположных углов, была соединена с весьма чувствительным гальванометром и приведена во вращение; она не обнаружила ни следа индуктивного действия. Было произведено много других опытов, но всегда с отрицательными результатами. Были сделаны попытки (хотя и безнадежные) выяснить, не получают ли здесь какие-нибудь электрохимические явления, но безуспешно. Были поставлены всевозможные исследования, какие только я мог придумать; я производил испытания не только полярного характера, но и всякие другие, и все они давали те же отрицательные результаты.

3343. Конечно, нельзя было ожидать, чтобы в этом месте могло происходить какое-либо полярное действие, т. е. действие, связанное с двумя различными полюсами; но если бы полярности могли существовать без взаимной связи, то мы, несомненно, могли бы ожидать некоторых особых свойств, некоторого напряженного или статического состояния в камере, построенной таким образом и окруженной магнитной силой большой интенсивности, которая действует в большой концентрации в одном определенном месте или на одно определенное вещество. Однако это не так; камера представляет собою место, лишенное магнитного действия и свободное, в данных обстоятельствах, от магнитного влияния. Мы имеем здесь полную аналогию с пространством внутри глубокого металлического сосуда или шара,¹ заряженных электричеством (1174). Там внутри не может быть электричества, ибо отсутствует та необходимая связь и зависимость двух различных электрических сил, которая неотъемлемо присуща их природе. Точно так же не может быть и проявлений магнитной

¹ Phil. Mag., октябрь 1846, ХХІХ, стр. 257, примечание.

силы в кубической камере, ибо здесь не присутствуют одновременно две различные силы, а они не могут существовать одна без другой.

3344. Есть много способов исследовать более или менее безукоризненно эти нейтральные и в высокой степени поучительные магнитные пространства. Углубление в конце электромагнитного сердечника или постоянного магнита представляет пример подобных же явлений; в некоторых отношениях они здесь обнаруживаются даже в более совершенном виде. Правда, на дне углубления может появиться слабый след силы, но если сравнить сумму или общую величину с общим количеством силы на конце магнита, можно сразу убедиться, насколько велика аналогия между этим пространством и внутренней полостью металлического сосуда, заряженного положительным или отрицательным электричеством. В цилиндре из мягкого железа, в 9 дюймов длины и 1.6 диаметром, была на одном из концов сделана камера, концентричная с цилиндром в 0.9 диаметром и в 1 дюйм глубины; будучи помещен в мощную катушку из толстой медной проволоки и соединен с батареей Грова из десяти пар пластинок, он был готов к опытам. Можно изготовить такой магнит с камерой, если приложить к концу любого электромагнита или обыкновенного магнита соответствующей величины железное кольцо; он обнаружит все описываемые ниже явления. Если прикрепить к концу медной проволоки кусок мягкого железа не более чем в 0.3 дюйма в длину и толщину и поднести его к наружному краю возбужденного магнитного полюса, то он очень сильно притянется; но если приблизить его к дну камеры, он не обнаружит такого действия вовсе, а останется вполне безразличным. Если приблизить его к боковым стенкам камеры, он не обнаружит ни малейшего действия, пока не подойдет к наружному отверстию. Поставим магнит горизонтально и вырежем такой кусок картона, чтобы он входил в камеру и мог установиться по горизонтальному сечению полости; затем пошлем этот картон чистыми железными опилками; поставим его в указанное по-

ложение и на короткое время возбудим магнит, чтобы он мог распространить свое действие на камеру и опилки и придать им их характерное положение; тогда мы увидим, что только вблизи отверстия опилки примут новое положение (вокруг внешних углов полюса); четыре пятых опилок, находящихся на поверхности картона внутри камеры, по подиоргнутся влиянию магнита и останутся неподвижными. Наполним камеру железными опилками, закроем ее куском картона, поставим магнит вертикально, отверстием камеры вниз; ватом приведем магнит в действие и отнимем картон; тогда опилки высыплются наружу; но при падении они будут отклонены в сторону и образуют тонкую бахрому вокруг внешних углов полюса. Ни малейшей доли их не останется ни на дно камеры, ни вообще где-либо внутри ее, кроме как вблизи ее внешнего края. Но возьмем кусок железа такой длины, чтобы он выступал из камеры, например гвоздь, длиною в 2, 3 или 4 дюйма. Если он касается концом *дна* камеры, то он с силою притягивается и удерживается там и может поднять груз в несколько унций, если даже ему не давать касаться камеры ни в каком другом месте, например куском картона с отверстием, закрывающим выход из камеры.

3345. Если подносить к такому возбужденному магниту небольшую магнитную стрелку длиною около 0.1 дюйма, то действие на нее оказывается столь сильным, что с ней почти невозможно справиться. Но как только мы внесем ее в камеру, действие быстро уменьшается, и на дне (камеры) стрелка не испытывает никакого или почти никакого влияния.

3346. Вместо описанных сердечника и камеры можно взять железную трубку с достаточно толстыми стенками (например, часть ружейного ствола); при этом получают такие же явления. Если ввести в эту трубку магнитную стрелку, то действие на нее прекращается, когда она войдет вовнутрь дюйма на 1.5. Если некоторую часть трубки наполнить железными опилками, а затем намагнитить ее и привести в вертикальное положение, то все опилки высыплются наружу, кроме тех.

которые удержатся на внешних краях. Однако, если ввести (в трубку) длинный гвоздь или железный стержень так, чтобы он частью своей выступал из цилиндра, то он будет сильно притягиваться к внутренней точке, в которой он касается железа.

3347. Чрезвычайно интересные результаты получаются, когда мы добиваемся таких же действий, прикладывая друг к другу полюсы обыкновенных магнитов. У меня было четыре весьма твердых стальных магнита, каждый в 6 дюймов длины, 1 дюйм ширины и около 0.4 толщины. Когда четыре одноименных полюса сложены вместе (рис. 10), они образуют плоскую квадратную камеру в той же плоскости, в которой лежат магниты. Если взять кусок жесткой бумаги по размеру камеры, положить его на подставку толщиной в 0.2 дюйма, посыпать его железными опилками и затем равномерно сближать магниты, пока не образуется квадратная камера, то при легком постукивании по картону опилки расположатся по прямым, идущим от сторон квадратной камеры и к ее центру. Опилки тем самым обнаруживают направление силовых линий в этой серединной плоскости; при этом их больше у середины каждого из полюсов и меньше у внутренних углов; и если затем удалить опилки и проследить ход линий при помощи небольшой магнитной стрелки, то мы найдем, что линии поднимаются с этой плоскости вверх и спускаются с нее вниз, а затем поворачивают на своем пути в свободное пространство сверху и снизу всей этой системой к южным полюсам каждого из магнитов. Все это легко понять, если представить себе силовые сфендилоиды, принадлежащие отдельным магнитам (3271), и то, как они расположатся при сближении четырех одноименных полюсов.

3348. Если повернуть магниты краями вверх, то они образуют вертикальную камеру в 1 дюйм высоты и всего около 0.4 дюйма ширины (рис. 11); и в этом случае будут иметь место явления, подобные только что описанным, но только у входов в камеру. По мере того как небольшая стрелка продвигается

вглубь пространства, окруженного магнитами, действие последних становится все меньше и меньше, и в середине камеры от него не останется почти и следа. Это место, как и замкнутая камера, образуемая шестью полюсами (3341), или как дно камеры, сделанной в конце магнитного полюса, является нейтральным местом, или местом, где магнитного действия нет вовсе.

3349. Постепенный переход от заостренного конического полюса к замкнутой камере вполне очевиден из описанных результатов; очевидна и их связь с случаями, когда при обыч-

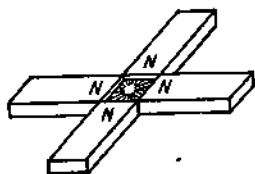


Рис. 10.

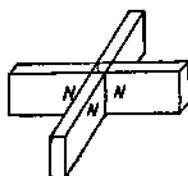


Рис. 11.

ных обстоятельствах наблюдаются многочисленные нейтральные места (3238, табл. V, 6, 10, 11, 15). Не возникает ни малейшего затруднения или неясности, когда мы изучаем и истолковываем эти результаты посредством изображающих их силовых линий; все изменения в величине и направлении магнитной силы выявляются сразу. Но самое главное заключается в том, что из них усматривается, как все эти результаты согласно приводят к необходимости полного и эквивалентного соотношения двух магнитных сил. Если что-нибудь его хоть немного нарушает или уменьшает, то в той же мере уменьшается действие в целом. И, наконец, оно полностью исчезает из данного места, хотя энергия самого мощного рода направляет, казалось бы, силу в это место, если только забыть, что один из двух видов силы может хоть до некоторой степени существовать без другого или независимо от него.

3350. Когда я ранее работал с висмутом и магнитами, я описал более или менее подробно некоторые результаты (2298, 2487, 2491), обусловленные принципом нейтральных магнитных мест. Если шарик или кубик из висмута подвешен на чувствительной вертикальной нити или на крутильных весах и к нему подносить полюс N (рис. 12), то висмут отталкивается и подвес отклоняется. Если поднести еще и второй полюс N' , как показано на чертеже, то висмут будет отклоняться (полюсом) N слабее, чем ранее, вновь подойдет к нему ближе, и все будет иметь такой вид, будто N' также его притягивает, ибо, приближаясь, висмут будет стремиться войти в угол, образуемый N и N' . Если поднести с противоположной стороны третий

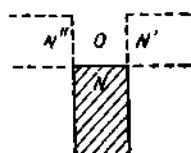


Рис. 12.

полюс N'' , то будет казаться, что висмут притягивается как им, так и первым полюсом; в действительности он вернется почти в то же положение, какое занимал бы, если бы все три магнита отсутствовали. Одно время я думал, что магнитная структура, возбуждаемая в висмуте вторым северным полюсом N' , может заставить его приближаться к N ; если это так, то он

должен был бы нейтрализоваться одноименным полюсом N'' с другой стороны; таким образом приближению висмута (если бы оно действительно было обусловлено этой причиной) было бы поставлено препятствие. Однако на деле оказалось что такой полюс, наоборот, не ослабляет, а усиливает притяжение; и если мы немного подумаем, то поймем, что такие полюсы образуют камеру ослабленного действия или отсутствия действия (3341, 3347); и нам станет ясно, что так и должно быть. Все движения висмута являются результатом свойственного ему стремления перейти из места более сильного магнитного действия в место более слабого действия (2418); и в настоящем случае они и указывают, где находится *это* слабое место; последнее при дальнейшем развитии окажется местом без всякого магнитного действия.

Движущийся проводник

3351. Я хочу сделать еще несколько замечаний (3336, 3337) относительно ценности подвижного проводника как средства исследования в учении о магнетизме. Чтобы напомнить его принципы, его могущество и надежность его показаний, достаточно сослаться на более ранние работы (3156, 3172, 3176, 3270). В настоящий момент я воспользуюсь им для прямого опыта по вопросу о предполагаемых противоположных полярностях в железе и висмуте (3309).

3352. Было изготовлено четыре металлических шарика: из меди, висмута, мягкого железа и твердой стали, диаметром в 0.8 дюйма; у каждого из них имеется медная ось, на которой насажен небольшой деревянный шкив, и, когда шарик установлен в своей раме, ему с помощью ремня и передач можно придавать более или менее быстрое вращение. На каждый из шариков надето по экватору плотно прилегающее к нему тонкое медное кольцо; на кольце сделан паз; в пазу к кольцу при вращении шара прижимается провод гальванометра; в то же время другой провод прижат к медной оси. Эти шарики в их рамке помещались по одному в магнитном поле сильного постоянного магнита Лоджмена и таким образом подвергались действию магнитной силы (рис. 13); затем они приводились во вращение, и индуцированные в них электрические токи передавались гальванометрам. Гальванометров было два: один — Румкорфа, с тонкой проволокой (2654), второй — с толстой проволокой, всего в четыре витка (3178). Последний был лучше, но оба давали хорошие показания. Расположение всех существенных частей установки не изменялось во все время опыта, а поэтому достаточно будет описать одно действие, которое и будет служить образцом; с ним можно будет сравнивать остальные действия. За этот образец можно принять ток, обнаруживаемый,

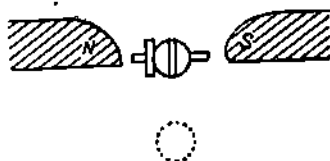


Рис. 13.

когда в магнитном поле находится *медный шарик*. Когда при этом токе верхняя часть шарика движется к западу, то южные концы стрелок гальванометра также отклоняются к западу; восемь или десять оборотов шарика заставили бы стрелки перейти за 80° или 90° .

3353. В магнитном поле помещался шарик из *мягкого железа*; он был настолько хорош по своим качествам, что, будучи удален из поля, сохранял лишь слабые следы магнетизма. При вращении он давал электрический ток того же направления, что и образцовый, т. е. медный шарик. Легко понять, что если шарик будет перемещаться параллельно самому себе, удаляясь от магнита по прямой, перпендикулярной магнитной оси (в положение, изображенное пунктиром, 3352, рис. 13), то он пройдет по местам более слабого магнитного действия. При таких перемещениях индуцированный ток оказывался слабее или сильнее, в зависимости от расстояния, но всегда был одного и того же направления. Если предположить, что вращающийся металл дает правильное указание на полярность или направление магнитной силы (3077), то этот результат показывает, что полярность силы, которая индуцирует эти токи и которая является магнитной силой действующего магнита, одинакова в меди и в железе. Относительно других случаев тока, возбуждаемого вращающимся железом, можно сослаться на Экспериментальные Исследования (3162).

3354. В магнитном поле был помещен *висмутный шарик*. Если его вращать долгое время и при этом прижимать проволоку гальванометра к медному экватору (3352), то последний нагревается от трения и возникает постоянный термоток; об этом упоминалось при другом случае (3168). Действие термотока легко исключается, если вращать шарик одно и то же число раз в двух противоположных направлениях; наблюдают отклонения в том и другом случае, их складывают и полусумму принимают за силу индуцированного тока в каждом из двух направлений; ибо если термоток прибавляется с одной стороны и вычитается с другой, то таким путем получается истинная

величина индуцированного тока. Если однако висмутовый шарик обращается всего пять или десять раз, то термоэффект оказывается настолько слабым, что отклонение гальванометра в одну сторону лишь очень немного превышает отклонение в другую. При достаточной тщательности (опыта) ток, индуцируемый вращением висмутового шарика, был совершенно того же направления, какое получалось для меди и железа; и таким образом направление полярности магнитной силы, которое обнаруживал шарик, было одинаковое — и для силы, действующей на шарик, и для силы, действующей внутри его.

3355. В магнитном поле был помещен шарик из *твердой стали*, причем он был предварительно исследован с помощью небольшой стрелки, и было найдено, что он не намагничен. Затем он был приведен во вращение и дал индуцированный ток *того же* направления, как при предыдущих токах. Он был удален (из поля) и вновь исследован магнитной стрелкой; оказалось, что он не получил заметного заряда магнетизма.

3356. Итак, все четыре металлических шарика указывают на одинаковую полярность магнитной силы, действующей на них и внутри них, когда их исследуют посредством электрического тока, порождаемого движением поперек силовых линий. На основании опытов, описанных в другом месте, известно, что все металлы и все тела, обладающие достаточной электропроводностью, вплоть до содержащих воду жидкостей, дают одно и то же направление магнитно-электрического тока: оно никогда не изменяется на противоположное без такого же изменения полярности; а при изменении полярности на противоположную всегда меняется и направление индуцируемого тока.

3357. Теперь шарик из твердой стали был *намагничен*, и хотя такая форма и не благоприятствует сохранению магнетизма, однако вследствие своей твердости он был способен его удерживать, будучи помещен в магнитном поле в таком положении, что его полярность была противоположна полярности поля. При этом он все же сохранил свою собственную полярность,

ибо, когда я выводил его из поля и исследовал с помощью магнитной стрелки, его полярность оказывалась прежнего направления. Раз это так, я подумал, что этот магнит может служить моделью и *железа*, и *висмута*, если стать на точку зрения тех, кто полагает, что железо и висмут поляризуются в магнитном поле в двух противоположных направлениях. В самом деле, его ведь можно было поместить в поле в том полярном состоянии, какое, по предположению, соответственно должны были приобрести железо и висмут. Итак, шаровой магнит был помещен в магнитном поле в положение, согласное с положением действующего магнита, т. е. так, что его полюс *N* был обращен к полюсу *S* магнита, и т. д.; при вращении он давал индуцированный магнито-электрический ток, подобный току, какой получался от шарика, взятого за образец, и от железа (3352, 3353). Затем действующий магнит был удален на некоторое расстояние (3353), и шарик вращался в его отсутствии; он дал, как и должен был дать, тот же ток, что и раньше, ибо, благодаря своей коэрцитивной силе, он мог все время сохранять то полярное состояние, которое железо могло приобрести лишь временно, пока находилось в магнитном поле. Когда затем шаровой магнит был повернут на 180° в горизонтальном направлении, он принял противоположное положение по отношению к действующему магниту (хотя последний по-прежнему находился на расстоянии), и теперь шаровой магнит дал ток, *противоположный* прежнему, или тому, который получался в шарике-образце. Однако это был ток, который вполне соответствовал его собственной полярности.

3358. Теперь я начал постепенно приближать действующий магнит и наблюдать его действие на перевернутый шаровой магнит. Ток от последнего становился все слабее и слабее и в конце концов изменился на противоположный, т. е. принял то же направление, что и ток в шарике-образце. Этому не приходится удивляться, если мы примем во внимание, что главный магнит был самым большим из доставленных Лоджменом на Большую выставку и мог удерживать груза в 430 фунтов, а ша-

ровой магнит имел всего 0.8 дюйма в диаметре и был весьма несовершенно закален внутри. Но, когда основной магнит был удален на небольшое расстояние, вскоре можно было найти такое место, где вращение шарового магнита ни в том, ни в другом направлении не возбуждало никакого электрического тока. Вне этого места вращающийся шарик давал ток, противоположный принятому за образец; между тем железный и висмутовый шарик, будучи помещены в то же самое место, давали токи одинакового направления, и притом того же, что и для шарика-образца. Но эта область ничем не отличается от всего магнитного поля многих меньших, но все же весьма сильных магнитов. И вот что отсюда следует: если мы представим висмут магнитом с противоположной полярностью (так это и предполагается для висмута), то мы получим магнитно-электрические токи не того направления как в висмуте, а противоположные. Если же мы перевернем наш исследуемый магнит кругом, т. е. придадим ему положение, в котором вызываемые им токи одинаковы с токами висмута, то его полярность будет противоречить, т. е. будет противоположна той, которая предполагается у висмута.

3359. Но полярность или направление магнитной силы, которая определяет направление индуцируемых магнитно-электрических токов, возникающих по всяком движущемся проводнике, необходимо строго отличать от той полярности, или направления, которое связано с движением тел, находящихся под действием той же самой силы; пока этого не сделано, каким образом предположение, что висмутовый шарик находится в том же самом полярном состоянии, что и перевернутый шаровой магнит, может помочь объяснению явлений? Перевернутый магнит фактически представляет *противоположность* висмуту и железу; тогда висмут и железо должны быть одинаковы. Прямой магнит — то же, что висмут, если иметь в виду ту полярность, которая индуцирует токи; но тогда висмут и магнит одинаковы. Как легко представить все эти результаты в полном согласии друг с другом, если рассматривать их с точки

зрения принципа, представляющего явления помощью силовых линий! Перевернутый шаровой магнит, помещенный на некотором расстоянии от основного, обнаруживает при вращении действие силовых линий внутри него (3116); когда магнит приближается, его внешний силовой сфендилоид сжимается внутрь (3238, табл. V, 15), и, наконец, магнит уходит в себя, его собственные силы уравниваются, а отсюда — отсутствие внутри него всякого действия главного магнита. Поэтому он не дает индуцированных токов даже и в том месте, где висмут и железо свободно их дали бы. В пределах этого расстояния сказывается влияние превышающей и перевешивающей силы большого магнита (3358); хотя последний и может временно подчинить себе шаровой магнитик, но когда мы удаляем его от магнитика, он позволяет последнему вновь развить свою силу и обнаружить тот же ряд явлений, что и ранее.

3360. Ван Рис допускает, как мне кажется, что движущаяся проволока дает правильное представление о наличии, направлении и природе магнитной силы или магнитных сил; и весьма важно знать, что как установка магнитной стрелки или кристалла висмута, так и возбуждение электрического тока в движущемся проводнике суть взаимосвязанные и необходимые действия магнитной силы. Действия, производящие то или другое из этих явлений, в точности одинаковы. Ученые должны или согласиться, или определенно разойтись в этом пункте; если они разойдутся, то они должны резко разделить с физической точки зрения эти явления, и если разделение будет установлено, то это должно повести к многим важным открытиям. Независимо от того, каков движущийся проводник сам по себе: парамагнитен или диамагнитен, или он — только проводник, который движется среди таких тел, отдельно или вместе с ними, направление полярности, обнаруживаемое этим проводником, *всегда одно и то же*. Возбуждаемый при этом электрический ток никогда не указывает изменения в направлении полярности сравнительно с направлением, зависящим от *первого* источника или очага силы, все равно магнит это

или соленоид, или источник еще какой-либо другой природы. Единственное различие заключается в силе возбуждаемого электрического тока, а это различие непосредственно зависит от электропроводности (3143, 3152, 3163). Если такова истинная природа, то каким образом два способа представления могут дать противоположные результаты? Если нам кажется, что результаты противоположны, притом лишь в некоторых случаях, то в чем мы должны сомневаться: в методе индукции, который один дает согласные результаты, или в методе, который представляется внутренне несовместимым? В особенности, если мы анаем, что тела, обладающие одинаковой полярностью, производят во множестве подобные противоречивые явления (3316); и если для их объяснения сами собой напрашиваются физические соображения, основанные на дифференциальном действии. Есть достаточно причин для того, чтобы не считать магнитную стрелку способной давать всегда правильные и прямые указания величины и направления магнитного действия (2868, 2870, 3156, 3293). Не следует ли нам поэтому для данного момента сделать относительно описанных явлений заключение, что простые и единообразные результаты, получаемые при действии по одному способу, являются правильными; и что там, где при другом способе явления оказываются то одного, то другого направления и идут то так, то иначе, часть из них является по своей природе сложными? В заключение я хочу заметить, что явления движения и явления, обнаруживающиеся в действии магнетизма на свет, ни в каком случае не переходят в противоположные, какова бы ни была среда, в которой они наблюдаются; направление полярности, которое указывают и те и другие, одно и то же, а именно, направление главного источника магнетизма.

3361. Я закончу эти весьма несовершенные рассуждения кратким изложением того, что, согласно моим предположениям, является для магнита существенным; а также заявлением, что многие пункты дальнейшего я вовсе не рассматриваю как выражение твердого убеждения в справедливости сделанного

мною предположения, которое должно лишь послужить толчком к исследованию. Рассматривая стержневой магнит как таковой, я вижу в нем источник двойственной силы. Я считаю, что его две силы необходимо связаны друг с другом и могут существовать только благодаря этой связи. Я полагаю, что хотя они и связаны через магнит поддерживающей силой, они не связаны таким же образом силой разряда или индукции — силой, которая равна по величине коэрцитивной или поддерживающей силе. Внешне, как мне представляется, эта связь осуществляется через пространство вокруг магнита, в котором имеется силовой сфендилоид, состоящий из замкнутых кривых линий магнитной силы. Что пространство не является темным в отношении магнетизма (3305), вытекает, по-моему, из следующего: когда это пространство занимают такие тела, как медь, ртуть и т. п., которые, согласно известным нам явлениям, стоят в том же отношении к силе, что и это пустое пространство, то при движении они производят магнитно-электрические токи. Если тела (среды) занимают пространство вокруг магнита, то они изменяют его способность передавать и связывать двойственные силы магнита, и в зависимости от того, увеличивают они или уменьшают эту способность, они являются парамагнитными или диамагнитными по своей природе; они дают начало тем явлениям, которые входят в понятие магнитной проводимости (2797). Один и тот же магнит может нести на себе различные заряды, если изменяется среда, соединяющая его полюсы; таким образом, магнит, полностью заряженный, когда между его полюсами находится благопринтная среда, как например железо, уменьшается в силе, если заменить железо воздухом, или (пустым) пространством, или висмутом. Соответствующие явления наблюдаются и для более длинных и более коротких магнитов (3290) и для магнитов, которым мы придали большую толщину, прикладывая несколько магнитов друг к другу сторонами (3287). Среда, окружающая магнит, может быть смешанной по природе, и тогда большая часть двойственного действия проходит

через лучший проводник, а меньшая — через худший, но общая величина силы остается без изменения. Сила и выгодные качества среды и самой пустоты исчезают, если прекращается двойственная сила или полярное действие. Магнит не мог бы существовать без окружающей среды или пустоты; его магнетизм уничтожился бы, если бы их не было; он уничтожается также и тогда, когда окружающее пространство начинает занимать противоположно направленная двойственная сила достаточно сильного основного магнита. Полярность каждой силовой линии сохраняет одно и то же направление на протяжении всего ее замкнутого пути. То, что стрелка устанавливается в том или другом направлении, есть проявление дифференциального действия, зависящего от схождения или расхождения силовых линий у вещества, смотря по тому, что оно представляет собой: лучший или худший проводник магнитной силы.

3362. Но, хотя такова моя точка зрения, я высказываю ее со всеми оговорками, сделанными мною ранее (3244, 3299). Я не претендую на то, чтобы разъяснить все трудности. У меня нет ясного представления о физических условиях, которые создают состояние магнитного заряда, т. е. состояние источника магнитного действия; ни о коэрцитивной силе, которая или затрудняет достижение этого состояния, или поддерживает его постоянным; ибо предложенные до сих пор гипотезы не дают моему уму должного удовлетворения. Моя цель состоит в том, чтобы выявить трудности, на которые наталкиваются различные взгляды, порою слишком легко принимаемые сейчас, и поколебать у ученых привычную веру в них. Ибо, наряду с расширением и углублением нашего знания, это представляется мне наиболее полезным и эффективным способом действительно подвинуть его вперед: лучше отдавать себе отчет или даже подозревать, что мы неправы, чем бессознательно или легкомысленно принимать заблуждение за истину.

Королевский институт.

20 декабря 1854 г.

49 М. Фарадей. т. III

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ УЧЕНИЯ О МАГНЕТИЗМЕ¹ И О ПРИРОДЕ СИЛ¹

Магнитная и электрическая формы силы, двойственные по своим свойствам и способные действовать на расстоянии, будут, вероятно, в значительной мере содействовать выяснению физических сил природы вообще. Всегда необходимо, как я предполагаю, одновременное существование двух сил, всегда равных и эквивалентных друг другу и связанных такой взаимной зависимостью, что ни одна из них не может проявиться и даже существовать без другой; но если это так, то доказательство истинности этих положений пришло бы ко многим выводам величайшей важности для учения о силе вообще. Несколько простых опытов с электрической силой дают мыслящему уму ряд примеров такой двойственности. Пусть металлический сосуд, например мороженница, изолирован и соединен с чувствительным электрометром с золотыми листочками или с другим подобным прибором. Возьмем изолированный металлический шар с диаметром, равным половине диаметра мороженницы, зарядим его положительным электричеством и введем в середину мороженницы. Если мы на момент нарушим изоляцию последней, прикоснувшись к ней снаружи, а затем вновь ее изолируем, то вся система не будет обнаруживать вне сосуда никаких признаков электричества, и электрометр также останется в покое. Однако, если мы поднесем пробный шарик к шарiku внутри сосуда, он снимет с него положительное электричество, обнаруживая тем самым определенный вид его заряда; если же мы поднесем его к нижней внутренней поверхности сосуда, то он снимет отрицательное электричество, доказывая тем самым, что эта поверхность обладает противоположным зарядом. Двойственность может быть доказана также, если мы вынем из сосуда шар: тогда электрометр покажет, что сосуд имеет отрицательный заряд, а шар

¹ Proceedings of the Royal Institution, 19 января 1855.

окажется заряженным положительно. Можно показать, далее, что эти парные заряды одинаковы; для этого вновь введем шар в сосуд, посмотрим на электрометр, приведем шарик и сосуд в соприкосновение и опять посмотрим на электрометр, который останется в том же положении; наконец, вынем шар; он выйдет наружу без всякого заряда, а сосуд останется с внешней стороны в неизменном первоначальном состоянии. Итак, две парные электрические силы равны, эквивалентны и взаимно поддерживают друг друга. Чтобы показать, что ни одна из них не может существовать отдельно, изолируем металлический сосуд, дадим ему сильный заряд, прикоснувшись им к машине или Лейденской банке, и опустим в него изолированный шар; затем, коснувшись шаром дна сосуда, вынем его, не дотрагиваясь до стенок; он окажется совершенно лишенным заряда, каково бы ни было его первоначальное состояние; ибо на дне такого металлического сосуда могло бы существовать только какое-нибудь одно состояние, а такое одиночное состояние, т. е. сила, не связанная со своей парной, существовать не может.

Соответствующие две части магнитной силы, т. е. северный и южный магнетизм, хорошо известны. Было произведено много опытов с целью, если возможно, изолировать один из них или хоть в какой-нибудь степени отделить один от другого. Так, шесть одинаковых электромагнитов, изготовленных из шести квадратных брусков, были сложены вместе по направлению трех взаимно перпендикулярных прямых, так что их внутренние концы, имевшие все одинаковую полярность, образовали кубическое пространство, которое и служило экспериментальной камерой. Когда эти магниты были возбуждены, они сильно действовали в направлении наружу, что можно было установить посредством гвоздей, опилок, катушек и стрелок; но в самой камере, внутренность которой была отгорожена со всех сторон сильными северными полюсами, не было никакой силы: опилки не принимали определенного расположения; яебольшие стрелки не испытывали на себе ни-

какого действия, и только их собственная индуцирующая сила вызвала определенное распределение силы внутри; во вращающихся проволочных катушках не возникало токов; камера была местом без магнитного действия. Обыкновенные магнитные одноименные полюсы давали соответствующие результаты. Отдельный полюс обнаруживал свои обычные свойства: притягивал железо, отталкивал висмут. Одноименный полюс под прямым углом к нему образовал входящий угол, и там получалось место слабого магнитного действия; железо притягивалось из этого места к выступающим углам; висмут втягивался в него; от присоединения третьего-такого же полюса с противоположной стороны место слабого действия стало еще слабее и больше; прибавление еще полюса или двух делали его совсем слабым; при шести полюсах оно приводилось в состояние, описанное выше. Даже четыре полюса, сложенные вместе своими более длинными ребрами, образовали удлиненную камеру с двумя входами; и небольшая стрелка, внесенная в нее через который-нибудь из этих входов, быстро проходила через области все более и более слабого действия и, наконец, попадала в такое место в середине, где магнитное действие было совершенно неощутимо.

Другие, весьма интересные результаты можно было получить, устраивая камеру в полюсных оконечностях электромагнитов. В оконечности цилиндрического магнита, сердечник которого имел 1.5 дюйма в диаметре, была сделана концентрическая камера диаметром в 0.7 дюйма и глубиной в 1.3 дюйма. Когда этот полюс был возбужден и к нему были поднесены железные опилки, они повисли кругом с наружной стороны, но совершенно не входили в полость, за исключением весьма небольшого количества у ее наружного края. Когда я нарочно ввел их внутрь на куске картона, они проявили полное безразличие к возбужденному полюсу, и только несколько из них, ближайших к отверстию камеры, выпли из нее и притянулись к наружным краям. Кусок мягкого железа на конце медной проволоки сильно притягивался к внешним частям полюса, но

не испытывал никакого действия внутри ее полости. Я возбуждал магнит, наполнял камеру жолозными опилками и опрокинул ее; тогда все опилки, находившиеся на дне камеры и внутри ее, выпали из нее; правда, некоторые из них при этом были уловлены внешними частями полюса. Затем я приводил в соприкосновение с той же точкой на дне опрокидываемой камеры куски железа, величина которых постепенно возрастали от размера опилок до гвоздя и т. д. до длинного бруска. Опилки не удерживались там силой притяжения так же, как и было мелкие куски железа; но когда были взяты такие куски, которые доходили до отверстия камеры или даже выступали из него, притяжение дало себя знать, а для кусков больших размеров оно возросло настолько, что брусок весом в несколько фунтов оставался на весу в том же месте, где действие было недостаточно для того, чтоб удержать железные опилки.

Эти и многие другие результаты доказывают на опыте, что две магнитные силы не могут проявляться по одиночке и что когда они возникают, то возникают в одинаковых количествах и в существенной связи друг с другом. Ибо, если бы они не были существенным образом связаны, как мог бы магнит существовать один? Его сила, которая проявляется с очевидностью тогда, когда вблизи него находятся другие магниты или железа или висмут, должна при их удалении принять какую-либо *новую форму* или *существовать без действия*. Первое никогда не было доказано и даже не предполагалось; второе невозможно, ибо несовместимо с принципом сохранения силы. Но если две силы отдельного магнита устремляются одна на другую и таким образом оказываются взаимно связанными, то, как осуществляется эта связь: по прямым линиям через магнит или по кривым — через окружающее пространство? Что это происходит не по прямым линиям через магнит (все равно, прямой, стержневый или шаровой), доказывается с помощью катушки, навитой на магнит: *внутреннее* распределение силы (коэрцитивной или иной) остается неизменным, независимо от того, обращено действие магнита на другие магниты, или он остается

один (Экспериментальные исследования 3119, 3121, 3215 и т. д.). Те же способы показывают, что *внешнее* распределение силы при этом меняется. Таким образом, сила, направленная по прямым линиям через магнит, не подвергается изменениям при этих обстоятельствах, тогда как сила, направленная по внешним (и обязательно) кривым линиям — подвергается.

Полярность висмута или фосфора в магнитном поле представляет собою явление, которое в числе многих других существенно зависит от магнитной силы и весьма показательно для ее природы. Предположение, что полярность, которой они обладают, противоположна полярности парамагнитных тел, влечет за собою следствие, что северный магнетизм не всегда отталкивает северный или притягивает южный. Иными словами, оно приводит к предположению, что существует два северных и два южных магнетизма, и они сочетаются попарно иногда одним образом, а иногда противоположным. Но оставим область предположений и обратимся к опыту; можно надеяться, что если искусственно воспроизвести воображаемое состояние висмута в магнитном поле, то это поможет нам выяснить его действительное состояние; для этой цели я прибег к указаниям, которыми нас снабжает движущийся проводник. Было изготовлено четыре шарика из меди, железа, висмута и твердой стали; они приводились в вращение вокруг оси, совпадающей с осью сильного подковообразного магнита. На экваторе каждого из шариков было приделано медное кольцо, и концы проводов гальванометра были соединены с осью и с экватором вращающегося шарика. При таком расположении электрический ток, возбуждаемый во вращающемся шарике, сообщался гальванометру и служил показателем магнитной полярности каждого из шариков; направление вращения и полюсы магнита были во всех случаях одни и те же. Когда вращался медный шарик, принятый за образец для сравнения, отклонение гальванометра происходило в некотором определенном направлении. Когда медный шарик был заменен железным и последний был приве-

ден во вращение, отклонение гальванометра было то же самое. Когда был взят висмутовый шарик, отклонение было все то же; и оно осталось таким же, когда в магнитном поле приводился в вращение стальной шарик. Итак, судя по этому действию, которое, по моему убеждению, является надежным и неизменным показателем полярности, состоянием всех шариков было одно и то же, а следовательно, и полярность магнитной силы в железе, меди, висмуте во всех случаях одинакова (Экспериментальные исследования 3164 и т. д.). Затем стальной шарик был намагничен в направлении своей оси, и сталь оказалась настолько твердой, что сохранила свое магнитное состояние, когда шарик был помещен в противоположном положении между полюсами основного магнита; после того, как он был вынут оттуда, его магнетизм оказался неизменным. Далее, были произведены опыты при разных положениях (шарика), когда действующая магнитная сила была не слишком велика (был взят магнит, способный поднять 430 ф.); и оказалось, что когда стальной магнит был установлен одинаково с основным магнитом, т. е. так, что его северный полюс стоял лицом к южному полюсу основного магнита, то отклонение (гальванометра) происходило в ту же сторону, как для висмутового шарика; когда же положение стального шарика было изменено так, что он оказался в том магнитном состоянии, которое некоторые приписывают висмуту (т. е. так, что были обращены в противоположную сторону); то он обнаружил отличие от висмута и давал противоположное отклонение. Для получения более подробных сведений об этих соображениях и исследованиях я могу указать на статью, которая имеет появиться в *Philosophical Magazine*.¹

Мне кажется весьма важным, чтобы наша мысль в настоящее время была направлена на пересмотр теорий, относящихся к общей физической природе силы, и особенно тех ее форм, которые замешаны в действии на расстоянии. Они, благодаря двойственности действия, очень тесно связаны с силами, кото-

¹ См. выше, стр. 719, или *Philosophical Magazine*, 1855, IX, стр. 81.

рые проявляются на ничтожно малых расстояниях; и можно ожидать, что успехи физики за последнее время позволят нам подойти к этому глубокому и трудному вопросу с большими возможностями, чем те, которые были в распоряжении ученых в прежнее время. Теперь мы привыкли допускать действия на значительных расстояниях, как действие одного магнита на другой, или Солнца на Землю, как будто бы такое допущение само по себе уже является исчерпывающим ответом на любую попытку проникнуть в природу физических средств, которыми удаленные тела действуют друг на друга. Тот, кто колеблется признать удовлетворительность этого ответа или допущения, на котором он основан, и ищет более удовлетворительного объяснения, до известной степени рискует прослыть смешным или невежественным в глазах ученого мира. Однако Ньютон, который сделал более чем кто-либо для доказательства закона взаимодействия удаленных тел, включая Солнце и Сатурн, отстоящие друг от друга на 900 миллионов миль, нашел нужным заключить свои соображения по этому вопросу зрело обдуманном суждением, что простое притяжение отдаленных друг от друга частей материи еще не является для ученого достаточным или удовлетворительным объяснением. Чтобы тяготение было чем-то врожденным, присущим материи и существенно необходимым для нее, и чтобы вследствие этого одно тело могло действовать на другое на расстоянии через пустоту, без какой-либо промежуточной среды, посредством которой и через которую их действие и сила могли бы передаваться от одного к другому — это, говорит он, представляется ему величайшей нелепостью. Причиной тяготения должен быть некоторый агент, действующий постоянно, согласно определенным законам; но материала или не материален этот агент, он предоставляет судить своим читателям. Это — глубокое провидение человека, который, благодаря своему знанию и высокому уму, усмотрел в алмазе сгустившееся маслянистое вещество, тогда как до него его считали просто прозрачным камнем, и предсказал присутствие в воде горючего вещества

за столетие до разложения воды и открытия водорода. И не могу не верить, что совсем близко время, когда его мысль о тяготении принесет свои плоды; и под этим впечатлением я решаюсь высказать кое-какие соображения по поводу того, что я считаю неудовлетворительным в обычно принимаемых представлениях о тяготении и вообще о тех силах, которые, как предполагается, действуют на расстоянии. Эти соображения находятся в связи с современным научным представлением о сохранении и неуничтожаемости силы.

Для тех, кто принимает Ньютоновский закон тяготения, но не идет за ним, понятие тяготения заключается в том, что материя притягивает материю с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния. Рассмотрим какую-нибудь массу материи (или частицу); пусть, для примера это будет Солнце; рассмотрим шар вроде одной из планет, скажем — нашу Землю; пусть она там, где она сейчас находится или взята из отдаленной части пространства и перенесена сюда ближе к Солнцу. Тогда начинает действовать притяжение, обусловленное тяготением, и мы говорим, что Солнце притягивает Землю, а Земля также притягивает Солнце. Но если Солнце притягивает Землю, эта сила притяжения должна или возникнуть *вследствие* присутствия Земли близ Солнца, или она должна была *первоначально существовать* в Солнце, когда Земли близ него еще не было. Если мы примем первое положение, то, мне кажется, будет чрезвычайно трудно представить себе, чтобы внезапное появление Земли на расстоянии 95 миллионов миль от Солнца, причем Земля не имела с ним никакой физической связи ранее и никакой физической связи, обусловленной только их сближением, могло вызвать в Солнце силу, прежде не существовавшую. В отношении тяготения Землю нужно рассматривать как первоначально инертную, так же как и Солнце; она может оказывать на Солнце какое-либо влияющее или возбуждающее действие не в большей степени, чем Солнце на нее. Предполагается, что они оба *лишены* действия в начале рассматриваемого примера; так каким же образом это действие может воз-

никнуть только благодаря их сближению или сосуществованию? Крайне трудно представить себе, чтобы тело, лишенное силы, могло вызвать эту силу в теле, находящемся на расстоянии от него; но еще труднее, если только это вообще возможно, допустить такое представление, если мы отдадим себе отчет, что оно заключает в себе *создание силы*. Сила может противодействовать силе, может ее отклонить, изменить ее направление отчасти или полностью, может, насколько мы способны судить об этом, видоизменить ее, так что она исчезнет в одной форме, чтобы возродиться в другой. Но сила не может быть создана или уничтожена или по настоящему приостановлена, т. е. оставлена существующей, но без действия или без эквивалентного ей действия. Сохранение силы, это — представление, глубоко вошедшее в мысль ученых; и мне кажется, что они все единодушно считают создание и уничтожение силы столь же невозможным, как и создание и уничтожение материи. Но если мы предполагаем, что Солнце существует одно в пространстве, совсем не проявляя во вне силы тяготения, что в пространстве существует, далее, второй шар, находящийся в таких же условиях, и что оба они затем сближены друг с другом; если мы допускаем, что одно только их обоюдное присутствие заставляет каждый из этих шаров действовать на другой, то это значит допускать не только создание силы, а *двойное создание*, ибо тем самым мы предполагаем, что они оба перешли из первоначального инертного в действительное состояние. При их сближении они, согласно предположению, вновь переходят в бездейственное состояние, а это равносильно *уничтожению* силы. Легко понять, что случай Солнца или Земли или любых двух или нескольких действующих тел соединен с взаимностью, а также, что изменение притяжения при каком угодно сближении или удалении тел влечет за собою тот же результат создания или уничтожения силы, а это равносильно созданию или уничтожению (причем последнее является полным исчезновением) обоих действующих тел.

Таково, по-моему, должно быть наше заключение, если предположить, что притяжение Земли Солнцем возникает *вследствие* присутствия Земли, а притяжение Солнца Землей вследствие присутствия Солнца. Остается вторая возможность — что действие, или активный источник действия, существовал первично в Солнце (или и Землю) *ранее* присутствия Земли (или Солнца). Мне кажется, что в этом случае, в соответствии с законом сохранения силы, нужно различать три возможности. Первая: когда сила тяготения от Солнца направляется на Землю, то она в той же мере отнимается от других тел, а если она отнимается от Земли (вследствие ее исчезновения), то она должна распределиться на другие тела; вторая: переставая быть тяготением, она должна принять какую-либо *новую* форму силы, а развиваясь, как тяготение, должна поглотить какую-либо иную форму силы; третья: она должна *всегда* существовать вокруг Солнца во всем бесконечном пространстве. Первая возможность не предполагается обычной гипотезой тяготения, да вряд ли и можно считать ее правдоподобной; ибо, если бы она соответствовала действительности, вряд ли возможно, чтобы ее следствия не наблюдались астрономами при изучении движения планет в различных положениях одной относительно другой и относительно Солнца. Кроме того, тяготение не считается двойственной силой, а до сих пор только для этих сил подобные неременции наблюдались на опыте или преследовались мысленно. Вторая возможность, появление некоторой новой или иной формы действия, также никогда не возникала в чем-либо воображении в связи с теорией тяготения. Я сделал несколько попыток связать экспериментально тяготение и электричество, имея в виду именно этот вопрос (Phil. Trans., 1851, стр. 1); но результаты получились решительно отрицательные. Если бы хоть на минуту встать на эту точку зрения, то нужно было бы признать, что не только в Солнце, но и во всякой материи, каково бы ни было ее состояние, должны возникать особые силы, если они в какой-либо мере изымаются из действия тяготения. Характер

частиц кометы в перигелии заменился бы вследствие перехода некоторого количества их молекулярной силы в избыток силы тяготения, которую они тогда оказывали бы; а в афелии этот избыток силы тяготения перешел бы опять в молекулярную силу какого-либо иного рода, обладающую либо прежними, либо новыми свойствами; и то и другое превращение должны были бы быть вполне эквивалентны. Нельзя было бы даже представить себе рассеяние облака пыли, или его концентрацию в камень, не предполагая при этом явлений подобного же рода; а я думаю, что никто не счел бы такое предположение возможным. Остается третья возможность, а именно, что действие всегда существует вокруг Солнца и во всем бесконечном пространстве, независимо от того, имеются там вторичные тела, на которые действует тяготение, или нет; и не только вокруг Солнца, но и вокруг любой существующей частицы материи. При этом постоянное состояние необходимости действия в пространстве имеется и тогда, когда Земли *нет* на ее месте (по отношению к Солнцу); это существующее заранее состояние имеет результатом притягательное действие, когда Земля там *находится*.

Вот это третье представление я могу допустить, и, как мне кажется, оно совместимо с законом сохранения силы. Я полагаю, что Ньютон имел в виду именно это представление, когда рассматривал тяготение; что, в научном смысле, мы все допускаем именно его по отношению к свету, теплу и явлениям излучения; и (в смысле еще более широком и общем) именно это представление с особой настоятельностью и ясностью останавливает на себе наше внимание благодаря явлениям электричества и магнетизма с их двойственными формами силы.

22 января 1855 г.

ДАЛЬНЕЙШИЕ СООБРАЖЕНИЯ ОБ ОДНОВРЕМЕННЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ И СТАТИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЯХ
В ЯВЛЕНИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ¹

Меллони, утрату которого должна глубоко переживать наука, был занят в последнее время своей жизни исследованиями по вопросам статического электричества, в частности индукции, проводимости и т. п. В связи с этим и с теми работами, которые я опубликовал относительно заряда подземных и подводных изолированных проводов² и их проводимости, он пожелал знать, имеется ли какая-либо разница во времени при передаче по таким проводам токов большего или меньшего напряжения, т. е. токов от батарей с различным числом пластинок. Я обратился по этому поводу к м-ру Латимору Кларку, и он с той же серьезностью, как и в предшествующих случаях, стал искать возможности произвести подобные опыты; он произвел их и сообщил мне результаты, которые я послал Меллони. Последний опубликовал их, с несколькими замечаниями, в одном из итальянских журналов (его названия нет в оттиске, который он мне прислал), и вскоре после этого смерть внезапно похитила его у нас. Поскольку результаты м-ра Кларка в Англии еще неизвестны, я полагаю, что краткий отчет о них мог бы представить интерес. Его метод заключается в записи, посредством печатающего телеграфа Бэна, результатов, полученных с 768 милями медной проволоки, покрытой гуттаперчей и проложенной под землей в виде четырех линий между Лондоном и Манчестером. При этом соединение было сделано так, что начало и конец всей проводки находились в Лондоне. Приводим его собственные слова, датированные 31 мая 1854:

¹ Из *Philosophical Magazine* за март, 1855.

² См. выше, стр. 695; также *Royal Institution Proceedings*, I, 345; или *Phil. Mag.*, 1854, VII, стр. 197.

«Я попытался произвести несколько опытов по относительной скорости передачи токов различного напряжения и посылаю Вам несколько полосок бумаги, содержащих их результаты. Мне не удалось уравнять отклонения гальванометра при токах (большого) напряжения от малых пластинок с отклонениями при токах от нескольких больших пластинок, ибо никакие размеры пластинок не могли перевесить недостаточность напряжения. Я имею здесь в виду форму опыта, предложенную Меллони; но я думаю, что эти результаты будут для него интересны.

«Опыты были произведены на 768-мильном, покрытом гуттаперчей проводе, т. е. на проводе, проходящем дважды от Лондона до Манчестера и дважды назад, с нашими обыкновенными батареями из медного купороса, пластинки которых были площадью в 3 дюйма в квадрате, а напряжение колебалось от 31 элемента до 31×16 элементов, т. е. 500 элементов.

«На прилагаемых полосах верхняя линия обозначает время, в течение которого (через провод) пропускался ток, замыкание которого производилось при помощи некоторого приспособления тут же на месте.

«Вторая линия (из точек) обозначает *время в секундах*, отмечаемое маятником, с периодом колебания в одну секунду; он ударяется о легкую пружину в середине дуги, описываемой им при колебании.

«Третья линия показывает время, когда ток появляется на (так называемом) отдаленном конце провода, на расстоянии 768 миль.

«Четвертая линия представляет просто остаточный разряд от ближнего конца проволоки, которая соединялась с землей, как только батареи были выключены; она не имеет отношения к предмету наших исследований.

«По *третьей линии* можно видеть, что в каждом случае проходило около двух третей секунды, пока ток обнаруживался на расстоянии 768 миль, что дает скорость около 1000 миль

в секунду; но интереснее всего то, что эта скорость *в основном одинакова для всех напряжений от 31 элемента до 500*».

Меллони дал затем копию записей, сделанных для 31 пары и для 500 пар. К сожалению, его отпечаток не точен, так как на нем четвертая линия начинается у окончания третьей, тогда как она должна начинаться у окончания первой; кроме того, и третья линия должна кончаться не там, где она кончается на отпечатке. Ниже дан отпечаток с других полос, записанных на печатающем телеграфе Бэна. Опыты с 62, 125 и 250 элементами дали те же результаты, как опыты с 31 и 500.

31 элемент



После некоторых замечаний, относящихся главным образом к методике опытов и к тому, как избежать некоторых практических трудностей, Меллони говорит: «Итак, по-видимому, если электрический ток обладает достаточной силой для преодоления суммы сопротивлений, представляемых данным проводником, какова бы ни была его длина, то увеличение его напряжения в десять или двадцать раз не влияет на скорость его распространения. Этот факт явно противоречит тому смыслу, который вообще приписывается терминам *количество* и *напряжение*, ибо первое сраенивает массу электричества с массой жидкости, а второе выражает его упругость или стремление к движению. Одинаковая скорость токов различного напряжения является, наоборот, веским аргументом в пользу мнения тех, кто считает электрический ток аналогичным колебаниям воздуха под влиянием звучащих тел. Подобно тому, как звук, более высокого или более низкого тона, проходит в воздухе одинаковое пространство за одинаковое время, какова бы ни была длина или интенсивность воздушной волны, образуемой колебаниями звучащего тела, так и более или менее быстрые

или более или менее мощные колебания электрической жидкости, возбужденные действием батареи из большего или меньшего числа пластинок, распространяются в проводниках с одинаковой скоростью. Каждый может видеть, как гипотезы, придуманные нами для объяснения естественных явлений, приводят нас к определенным экспериментальным исследованиям, результатами которых проверяется правильность или несостоятельность этих гипотез».

Меллон говорит далее, что вскоре он будет иметь случай опубликовать факты, которые ясно обнаружат ошибочность некоторых принятых до сих пор взглядов на электростатическую индукцию; и я знаю из моей переписки с ним, что он считал результаты, полученные Кулоном, Пуассоном и другими позднейшими исследователями, не соответствующими фактической истине.¹ Но за это время он умер, и я не знаю, были ли его исследования доведены до той законченности, чтоб их можно было обнаружить.

Одинаковость времени, за которое токи различного напряжения появляются на другом конце того же провода в одном и том же индуктивном состоянии, это — весьма замечательный результат. С первого взгляда можно думать, что он противоречит взглядам на индукцию и проводимость, высказанным мною некоторое время назад, и моим более недавним утверждениям относительно *времени*. Но мне кажется, что это не так,

¹ Он говорит: «Или я глубоко заблуждаюсь, или основная теорема электрической индукции, как она обычно формулируется, должна быть изменена, чтобы не получалось смешения двух совершенно различных действий — электрического состояния во время индукции и (состояния) после соприкосновения или разъединения с индуцирующим телом. Мы вполне хорошо знаем, что происходит во втором случае, но не в первом», и т. д. И далее: «В моем последнем письме я выразил сомнение в отношении следствий, которые выводились до настоящего времени из опытов, служащих основой для фундаментальной теоремы электростатической индукции. Эти сомнения укрепилась в моем уме до состояния уверенности..., и в настоящее время я вполне убежден, что формулировка этой теоремы должна быть коренным образом изменена» (июль 1854).

на что, вероятно, могут указать два-три соображения по поводу новейших опытов м-ра Кларка. Когда мы пользуемся меньшей батареей, то в проволоку за данное время проходит вначительнее меньше электричества, чем если взята большая. Предположим, что различие между этими батареями настолько велико, что количества (электричества) относятся как 1 к 10; если даже сигнал от каждой из батарей потребовал одинакового времени для передачи через проволоку, то все же очевидно, что проволока для слабого тока была в десять раз лучшим проводником, чем для сильного. Иными словами, для более слабого тока нужно было бы взять проволоку с массой, равной всего одной десятой той массы, которая берется для более сильного тока, если мы имеем в виду уравнивать сопротивления для *равных количеств* электричества при различных напряжениях последнего.

Мои воззрения связывают запаздывание при передаче тока с мгновенной индукцией, которая устремляется вбок от изолированной и имеющей наружную обкладку проволоки. Индукция будет пропорциональна напряжению, и поэтому ее характерное влияние на время запаздывания будет пропорционально уменьшаться при менее сильных токах — действие, в результате которого время запаздывания двух токов делается одинаковым.

Различие *во времени*, наблюдавшееся в предыдущих опытах для воздушных проводов (с одной стороны) и подземных или подводных (с другой), вполне очевидно зависит от разности направленной вбок индукции; запаздывание, обнаруживаемое в воздушном проводе еле заметно, в подземном проводе доходит почти до двух секунд. Если бы можно было уменьшить изолирующий слой гуттаперчи с 0.1 до 0.01 дюйма в толщину и окружить провод не водой или землей, а ртутью, то я не сомневаюсь, что время еще возросло бы. Тем не менее есть все основания предполагать, что в каждом из этих различных случаев электрические токи высокого и низкого напряжения дошли бы до конца одной и той же длинной проволоки через одинаковые промежутки времени.

Результаты м-ра Кларка можно формулировать так: данное количество электричества при высоком напряжении и меньшее количество при соответственно более низком напряжении достигают отдаленного конца одной и той же проволоки по прошествии одного и того же периода времени. В моей формулировке имелся в виду разряд через *одну и ту же* проволоку *одного и того же* количества при различном напряжении, а количества в опытах, относящихся к этому явлению, измерялись посредством Лейденской банки. При изучении и дальнейшем развитии этих результатов нужно помнить, что дело идет здесь не о различии во времени, скорости или условиях передачи для *постоянного* тока, ибо они одни и те же в случае как воздушного, так и подземного провода. Здесь подразумевается различие только в *первом появлении* того же самого тока, если мы рассматриваем такие провода, находящиеся в различных условиях. После этого первого появления действие в обоих проводах одинаково вплоть до исчезновения тока, а в этот момент вновь появляется различие, которое оказывается дополнительным к первому.

Для желающих по возможности произвести такие опыты имеется много их видоизменений, и, вероятно, эта возможность постепенно представится или будут произведены равнозначные опыты в других формах. Вероятно, при замене цилиндрических проводов плоскими лентами, имеющими тот же вес, или несколькими небольшими проволоками, одинаково покрытыми гуттаперчей и погруженными в воду, должны получиться различия во времени запаздывания для одного и того же тока. Я полагаю, что для ленты, у которой поверхность индукции больше, чем у цилиндра, будет больше и запаздывание; но, вероятно, эти провода и различные их видоизменения дали бы *одинаковое* запаздывание для токов различного напряжения. С другой стороны, вряд ли можно сомневаться в том, что в случае различных проводящих веществ, как железо и медь, (время) запаздывания изменилось бы, как это имеет место при передаче звука и света. Можно, как и ранее, ожидать, что и в этих слу-

чаях для одной и той же проволоки запаздывание токов высокого и низкого напряжения будет одинаково; но было бы весьма интересно *знать*, будет ли это действительно так.

Если мы пожелаем проследить эти результаты и обусловливающие их причины в тех различных формах, в каких они проявляются в связи с изменениями как проводников, так и токов, то, как заметил Меллони, перед нами откроется обширное и интересное поле исследования. Оно охватывает даже свойство тока индуцировать ток в соседних проволоках и проводниках, а также и многие явления и законы магнитно-электрической индукции.

Королевский институт.

7 февраля 1855 г.

П Р И Л О Ж Е Н И Я



О ТРЕТЬЕМ ТОМЕ «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ» М. ФАРАДЕЯ



Комментатором и редактором настоящего тома, как и двух предыдущих томов, являлся ныне покойный член-корреспондент АН СССР Торичан Павлович Кравец.

Им был составлен план этого тома, отредактирован весь текст перевода и написаны примечания к сериям с XIX по XXVI включительно.

Неожиданная смерть оборвала эту работу.

Мы взяли на себя задачу подготовки рукописи этого тома к печати. Нами написан краткий обзор его содержания. Мы ограничились самыми необходимыми примечаниями, начиная с XXVII серии до конца тома.

Третий том «Экспериментальных исследований» содержит «серии» от XIX до XXIX включительно и ряд самостоятельных статей. В этом томе содержится материал, имеющий очень крупное научное и историческое значение, относящийся к периоду с ноября 1845 г. по февраль 1855 г.

А. СЕРИЯ ДЕВЯТНАДЦАТАЯ

Девятнадцатая серия посвящена, как сказано в заглавии, «намагничиванию света и освещению магнитных силовых линий». Из подстрочного примечания автора следует, что «освещение силовых линий» надо понимать как своего рода проявление линий.

Здесь сначала рассматривается «действие магнитов на свет». При этом Фарадей формулирует свое понятие «диамагнитного» тела. «Диамагнитным» он здесь называет тело, через которое магнитная сила проходит, не вызывая в нем обычной намагниченности, подобной намагниченности железа. Иными словами, диамагнетизм еще не отличается от парамагнетизма. Далее описываются опыты по вращению плоскости поляризации под действием магнитного поля в «диамагнитных» (в указанном смысле этого слова) веществах. Поле в этих опытах создается электромагнитами различного вида с железным сердечником. Затем примерно те же опыты проводятся с безжелезными соленоидами. «Вданном опыте — по мнению Фарадея — луч света электризуется и электрические силы освещаются» (п. 2195). «Таким образом, впервые, как я полагаю, — говорит Фарадей, — установлена подлинная непосредственная связь и зависимость между светом и магнитными и электрическими силами, и, таким образом, сделано большое добавление к фактам и соображениям, служащим для доказательства того, что все естественные силы связаны друг с другом и имеют одно общее происхождение» (п. 2221). ■ Анализируя это явление, Фарадей приходит к выводу, что магнитное поле должно действовать на все изученные им тела, приводя их в «новое магнитное состояние», «отличное от намагниченности железа».

В. СЕРИИ ДВАДЦАТАЯ — ДВАДЦАТЬ СЕДЬМАЯ

Исследования, описанные в «сериях» с XX по XXVII, посвящены непосредственному изучению этого нового магнитного состояния, отличного от ферромагнетизма, и выяснению вопроса о магнетизме всей материи. Здесь впервые описываются методы исследования магнетизма слабомагнитных тел, ставшие впоследствии классическими (п.п. 2245—2252). Фарадей впервые обнаруживает, что есть большое число веществ, которые не притягиваются магнитом, а отталкиваются от него. Особое внимание уделяет Фарадей металлам, полагая, что их

особые электрические свойства должны быть связаны с особыми магнитными свойствами. Однако это предположение не оправдалось. Фарадей обнаруживает значительный диамагнетизм висмута. Впоследствии он узнает, что диамагнетизм был уже открыт за 16 лет до того (в 1829 г.) французским физиком Ла Байи, но это открытие не привлекло к себе внимания.

В серии двадцать первой продолжают исследования различных веществ и они распространяются на газы. Попутно опыты опровергают одно предположение Фарадея, высказанное им во II томе. Он полагал, что все металлы становятся ферромагнитными, если их достаточно охладить. Однако исследование показало, что никель, нагретый выше (как мы бы теперь сказали) точки Кюри, сохраняет некоторую слабую долю своих ферромагнитных свойств и тем решительно отличается от многих других металлов.

В результате многочисленных измерений Фарадей формулирует свои замечательные выводы о том, что «всякое вещество, по-видимому, подвержено действию магнитной силы; это столь же универсальное явление, как то, что оно подвержено тяготению, силам электрической, химической и сцеплению» (п. 2420). Впрочем, в этих опытах Фарадея газы (кроме воздуха) не дали заметного магнитного эффекта.

Рассматривая магнитные свойства с точки зрения теории Амперовых токов, Фарадей впервые пришел к выводу, что в диамагнитных телах эти токи соответствуют по направлению индуцированным токам, возникающим при включении поля.

Двадцать вторая серия посвящена обширному исследованию магнитной анизотропии, впервые открытой Фарадеем. В двадцать третьей серии описываются исследования, выясняющие полярность диамагнитных тел. В двадцать четвертой серии сообщается о неудачной попытке Фарадея найти связь между тяготением и электричеством.

Двадцать пятая серия посвящена новым попыткам выяснения магнитных свойств газов; однако Фарадею удается обна-

ружить лишь магнетизм газообразного кислорода. Здесь впервые Фарадей вводит новую классификацию магнитных свойств. Он предлагает называть все тела, намагничивающиеся подобно железу, никелю или кислороду — «парамагнитными» (ранее он их именовал просто «магнитными»), а тела, намагничивающиеся противоположно (подобно висмуту), Фарадей называет «диамагнитными».

В двадцать шестой серии рассматривается прежде всего вопрос о способности различных тел «проводить» магнитные силовые линии, и Фарадей впервые показывает, что парамагнитные тела сгущают в себе магнитные силовые линии, а диамагнитные тела, напротив, их разрежают. Большая работа Фарадея, охватывающая конец двадцать шестой и двадцать седьмую серии, озаглавлена «Атмосферный магнетизм». В этой работе Фарадей пытается объяснить суточные и другие вариации земного магнитного поля влиянием магнетизма атмосферы, изменением ее пропускной способности для линий магнитного поля земного шара. Поскольку Фарадей не подвергал этих соображений математической обработке, он не смог заметить глубокой ошибочности всей этой теории. Как известно, современная теория земного магнетизма считает, что суточные вариации земного поля обусловлены ионными токами в верхних слоях атмосферы. Таким образом, Фарадей справедливо искал источник вариаций в атмосфере.

Двадцать восьмая серия посвящена опытному изучению распределения магнитных силовых линий снаружи и внутри постоянного магнита. В двадцать девятой серии исследуется применимость индукционных токов для измерения магнитных сил. Здесь также подробно изучаются конфигурации различных магнитных полей с помощью опилок. Здесь также (п. 3241) описывается важный опыт, из которого следует, что магнитные свойства как никеля, так и кислорода падают с ростом температуры.

На этом кончаются серии. Далее идут 15 статей на различные темы.

Три первые статьи рассматривают природу магнитных силовых линий. Фарадею обычно приписывают гипотезу о том, что силовые линии представляют собою линии натяжения эфира. Однако Фарадей отнюдь не считал эту гипотезу единственно возможной. В п. 3263 он говорит следующее: «Если же допустить действие по кривым линиям, то, по-моему, это значит признать тем самым, что линии имеют физическое существование. Может быть это — колебания воображаемого эфира или состояние натяжения этого эфира, отвечающее динамическим или статическим условиям; или это еще какое-нибудь другое *состояние*, которое трудно себе представить, но которое может быть в равной мере отлично и от предполагаемого несуществования силовой линии тяготения и от самостоятельного и отдельного существования силовой линии излучения». «Каково это состояние и от чего оно зависит, мы сейчас еще не можем сказать — пишет Фарадей в статье „Физические линии магнитной силы“, — может быть оно обусловлено эфиром, подобно световому лучу. . . Необходимо ли для поддержания этого состояния присутствие материи, зависит от того, что понимать под словом „материя“. Если понятие о материи ограничить восточными или тяготеющими веществами, тогда присутствие материи столь же мало существенно для физических линий магнитной силы, как и для лучей света и теплоты. Но если, допуская эфир, мы примем, что это — род материи, тогда силовые линии могут зависеть от каких-либо ее действий. С экспериментальной точки зрения пустое пространство магнитно; но ведь представление о пустом пространстве должно заключать в себе представление об эфире, если исходить из этой точки зрения. Если впоследствии возникнут какие-либо другие взгляды на состояние или свойства пространства, то их нужно будет увязать со свойствами того, что мы называем пустым пространством сейчас в соответствии с данными опыта».

Мы видим, таким образом, что Фарадей в своих воззрениях и предположениях о природе поля был гораздо более глубоким мыслителем, чем его однобокие сторонники и продолжатели.

Эти идеи развиты Фарадеем в его статье под заглавием «Мысли о лучевых колебаниях» (стр. 618).

Исследования в области магнетизма, изложенные в этом томе, заканчиваются тремя статьями: «Гипотезы о магнетизме», «О некоторых вопросах учения о магнетизме», «О некоторых вопросах учения о магнетизме и о природе силы», содержащими критику различных гипотез о строении и природе магнитов и магнитного поля. Фарадей указывает, что в этих статьях он хотел главным образом (п. 3362) выявить трудности, на которые наталкиваются различные взгляды, порою слишком легко принимаемые сейчас, и поколебать у ученых привычную веру в них. «Ибо наряду с расширением и углублением нашего знания, — говорит Фарадей, — это представляется мне наиболее полезным и эффективным способом действительно подвинуть его вперед: лучше отдавать себе отчет, или даже подозревать, что мы неправы, чем бессознательно и легкомысленно принимать заблуждение за истину».

Наконец, в данном томе рассматриваются некоторые вопросы, связанные с запаздыванием электрического тока в телеграфном кабеле.

Я. Г. Дорфман.

ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРОВ



ПРЕДИСЛОВИЕ

Тиндаль (Tyndall John, 1820—1893) — знаменитый популяризатор. Преемник Фарадея после 1853 г. по Королевскому институту.

Кноблаух (Knoblauch Karl Herman, 1820—1895) — профессор в Марбурге и Галле; много трудов по лучистой теплоте.

Маршан (Marchand Richard Felix, 1813—1850) — профессор в Галле (1843—1850).

Щеерер (Scheerer Karl Johan August Theodor, 1813—1875) — с 1848 г. профессор Горной Академии во Фрейбурге.

Томсон (Thomson William, Лорд Кельвин, 1824—1903) — знаменитый физик (механика, молекулярная физика, 2-й закон термодинамики, явление Джоуля—Томсона, «формула Томсона», распространение электричества по кабелю и др.).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

Деятнадцатая серия

2147.¹ Вартман (Wartmann Elie François, род. 1817) — профессор в Лозанне, академик в Женеве; работы главным образом по атмосферной оптике. Цитируемая работа относится к 1842 г.

2148. Назлектризовать луч света — подвергнуть его магнитному действию электрического тока.

¹ Число, стоящее перед каждым примечанием к сериям XIX—XXIX, указывает параграф (сокращенно: п.) «Исследований», к которому оно сделано.

2149. Здесь «диамагнитными» Фарадей называет покуда все тела, не имеющие ферромагнитных свойств.

2150. Аргандова лампа (1783) — лампа с поддувалом и стеклянным цилиндром для тяги. Арганд (Argand Aimé, 1755—1803) — соучастник изобретения гидравлического тарана.

Николев окуляр — призма Ниволя (1828). Николь (Nichol William, 1768—1851) — учитель физики в Эдинбурге.

2153. Гров (Groves William Robert, 1811—1896) — сослуживец Фарадея по Лондонскому королевскому институту; известна его книга «О соотношении физических сил». Элемент Грова (1839) — платина в азотной кислоте (+) и цинк в серной (—) отделены друг от друга пористым сосудом; цинк обертывает сосуд с двух сторон.

2154. Диамагнитное — не ферромагнитное, см. прим. ред. к п. 2149.

2155. Полюс с меткой — северный.

2156. Диамагнитное — см. прим. ред. к п. 2149.

2157. Диамагнитное — см. прим. ред. к п. 2149.

2160. В той мере, в какой они ему параллельны — пропорционально той слагающей магнитной напряженности, которая параллельна лучу. Диамагнитные тела — см. прим. ред. к п. 2149.

2161. Диамагнитное тело — см. прим. ред. к п. 2149.

2163. Диамагнитное тело — см. прим. ред. к п. 2149.

2170. Указываемые в конце этого п. явления зависят, конечно, от увеличения коэффициента самоиндукции при внесении железа в катушку.

2175. Аномальная дисперсия вращательной способности открыта значительно позже (в 1858 г.).

2177. Диамагнитные вещества — см. прим. ред. к п. 2149. Теннант Чарльз — владелец химической фабрики; изобрел способ белины с помощью хлорной извести.

2186. Маслородный газ — этилен.

2189. Диамагнитных тел — см. прим. ред. к п. 2149.

2192. Сэбайн — о нем неоднократно будет речь в сер. XXVI и XXVII.

2193. Гров — см. прим. ред. к п. 2153.

2195. Мы бы теперь никак не сказали, что в опыте с катушками (без железного сердечника) мы имеем дело с электрическими линиями силы.

2201. Диамагнитного тела — см. прим. ред. к п. 2149.

2203. Как известно, впоследствии Клаузаус показал, что внутри достаточно длинной (по сравнению с диаметром витков) катушки магнитное поле вполне равномерно.

2219, 2220. Фарадей показывает здесь, что ток, как таковой, не производит вдоль своего направления добавочного вращения плоскости поляризации света.

2221. Дэйви (Гэмфри) — учитель Фарадея. См. о нем прим. ред. к п. 265 (т. I «Эксп. иссл.»). Морикиви Доменико Пяти (1773—1813). Его мнимое открытие магнитного действия ультрафиолетовых лучей относится к 1812 г. Кристи — см. прим. ред. к п. 44 (т. I «Эксп. иссл.»). Электрическими силами — см. прим. ред. к п. 2195. Фарадей ссылается здесь на свои неоднократные высказывания о «единстве сил». Однако именно в настоящем случае современная физика не усматривает превращения, скажем, магнитной энергии в световую: магнитное поле создает в *телез* дополнительную силу — силу Лорентца, причем энергии не затрачивается.

2224. Магнитные силы... действуют на световой луч... при посредстве вещества — это совершенно правильное утверждение; магнитные силы действуют на *движущиеся заряды* (ионы, электроны), которых в пустоте нет. Магнитная сила действует одинаковым образом — см. прим. ред. к п. 2175.

2225. Фарадей ссылается на последнюю статью II тома «Эксп. иссл.», где он становится на путь отрицания атомов или признания атома Босковича — исключительно «центра сил». См. также статью ред. II т., стр. 421, 422.

2226. Диамагнитного тела — см. прим. ред. к п. 2149.

2227. Вращающее плоскость поляризации вещество находится, по Фарадею, в особом «магнитном состоянии». Мы теперь этого не думаем.

2229. Это «состояние» есть состояние электрического напряжения, стремящегося перейти в электрический ток, подобно тому, как в магнитах, согласно теории Ампера, это... состояние тока. Мы думаем, что замкнутые токи электронов в атомах под влиянием магнитного поля при равных направлениях вращения либо замедляются, либо ускоряются. Диамагнитное тело — см. прим. ред. к п. 2149. Ампер — см. прим. ред. к п. 2.

2237. Новое магнитное состояние. См. прим. ред. к п. 2227.

2240. Диамагнитное тело — см. прим. ред. к п. 2149.

2241. Действие магнитных и *электрических* сил на обыкновенные (т. е. не поляризованные) лучи — см. прим. ред. к п. 2195; до сих пор таких опытов не произведено.

Двадцатая серия

2243. Новое магнитное состояние — см. прим. ред. к предыдущей серии, п.п. 2227, 2229, 2237. Магнитных и электрических сил — см. прим. ред. к п.п. 2195, 2221, 2241. Уитстон — см. прим. ред. к п. 853; Беккерель — см. прим. ред. к п. 2349; Кулон (Coulomb Charles Augustin, 1736—1806) — знаменитый механик и физик; знамениты работы по трению; «закон Кулона».

2246. Гров — см. прим. ред. к п. 2153.

2270, 2272. Диамагнитные кривые, диамагнитные вещества — см. прим. ред. к п. 2149.

2274. Кобальт здесь упоминается как магнитное тело, в противоположность утверждениям во II т. (стр. 306, 314). — Диамагнетизм тяжелого стекла здесь сближается, как в дальнейшем выясняется, неправильно — с его свойством магнитного вращения плоскости поляризации.

2275. Магнитных или электрических сил — см. прим. ред. к п. 2195.

2280. Рвотный камень — сурьмяноислый калий; белый мышьяк — мышьяковистый ангидрид (As_2O_3); кислый пиродинхонин — алкалоид, сопровождающий хинин; хим. состав $C_{19}H_{22}N_2O$; гагат — твердый уголь, поддающийся шлифовке.

2281. Дюфе (Du Fay Charles François, 1698—1739) — знаменитый автор гипотезы о двух электричествах.

2285, 2290, 2293. Неожиданное высказывание, заставляющее предполагать, что диамагнетизм, по Фарадею, сосуществует в магнитных телах рядом с их магнетизмом.

2308. Прим. Де ла Рив Огюст Артур — см. прим. ред. к п. 77 (т. I); Ла Байи — данных не имеется.

2309, 2331. Здесь речь пойдет об индукционных явлениях, задерживающих движение *хороших* проводников в магнитном поле.

2329. Южно-магнитное состояние и т. п. — южный магнетизм.

2332. Как и в п. 2170, на который ссылается Фарадей, правильное объяснение заключается в учете «времени релаксации» тока в катушке при его замыкании и размыкании; при этом магнетизм следует изменениям тока мгновенно. См. об этом превосходную работу нашего соотечественника Э. Х. Левца (Избранные труды. Изд. АН СССР, М.—Л., 1950, стр. 159—239).

2333. Сообщают полярность... поверхности медного стержня — наводят токи в стержне, производящие магнитный полюс.

2335. Полярности — полюсы.

2341. Араго — см. прим. ред. к п. 2 (I т. «Эксп. иссл.»). Араго ранее открытия электромагнитной индукции Фарадеем открыл явление увлечения диска вращающимся около него магнитным полем. Много времени Фарадей отдал выяснению этого явления (т. I, п.п. 81 и сл.), а также полемике с неправильными взглядами на тот же предмет итальянских ученых Нобили и Антиворы (т. II, стр. 235—281). Там же (т. I, п. 80 и в прим. ред. к нему) находятся данные о Дж. Гершеле и о Баббедже; об Ампере см. прим. ред. к п. 2; упоминаемые там его сочинения с тех пор вышли на русском языке в серии «Классики наук» под ред. проф. Я. Г. Дорфмана (А.-М. Ампер. Электродинамика. Изд. АН СССР, М.—Л., 1954).

Двадцать первая серия

2343. Диамагнитных тел — см. прим. ред. к п. 2149.

2348. Диамагнитное состояние — то же.

2349. Беккерель — здесь речь идет о двух представителях этой научной «династии»; о первом, Антуан-Созаре, см. прим. ред. к п. 477 (т. I «Эксп. иссл.»); второй, его сын Эдмонд (1820—1891), физик с большими заслугами в области люминесценции, вел с Фарадеом полемичку по вопросу о приоритете своего отца в открытии диамагнетизма; (см. вторую часть помещенной в этом томе статьи Фараден (сент. 1846) «О влиянии магнетизма на свет и о различиях между ферромагнитным и диамагнитным состояниями материи», стр. 626—644). Внук — Анри Беккерель — открыл радиоактивность.

2352, 2353. Протосульфат железа — железный купорос.

Протохлорид — FeCl_2

Перхлорид FeCl_4

Персульфат — FeSO_4

Протофосфат — вероятно $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Перфосфат — FePO_4

Бурый железняк — Fe_2O_3 с содержанием кристаллизационной воды

Гематит — Fe_2O_3

Хромат железа — FeOCr_2O_7

Железный колчедан — FeS_2

Мышьяковый колчедан FeSAs

Медный колчедан — FeCuS_2

2356. Муриат — солинокислая соль.

2358. Аскин — данных не имеется.

2363, 2366, 2368, 2370. Диамагнитные среды — см. прим. ред. к п. 2149.

2371. Волластон — см. прим. ред. к п. 76 «Эксп. иссл.» (т. I). Джовансон упоминался уже в п.п. 1547 и 1632 (т. I), но данных о нем в распоряжении ред. не оказалось. См. также т. II, стр. 510.

2372. О Бертье и магнетизме марганца см. прим. ред. к стр. 311 и 312 II тома «Эксп. иссл.».

2374. Уаррингтон (Warrington Robert) — химик Фармац. об-ва в Лондоне. Во II томе «Эксп. иссл.» Фарадей считает хром не магнитным (см. стр. 306, 313).

2378. Неполные соли — у Фарадея собственно «подсоли» (subsalts). Диамагнитность свинца — см. прим. ред. к п. 2149.

2379. Д-р Джонсон впервые упоминается в п. 1547 (т. I «дисс. иссл.»).

2380. Платина также фигурирует в более ранних работах Фарадея по магнетизму (стр. 306 и 313, т. II).

2381. Здесь Фарадей под «диамагнитными» свойствами разумеет то самое, что и мы ныне.

2382. Джонсон — см. прим. ред. к п. 2379. Волластон — см. прим. ред. к п. 76 (т. I). Палладий в упомянутых выше (прим. ред. к п. 2380), более ранних работах Фарадея (т. II, стр. 306, 313) также фигурирует, как не магнитный металл.

2383. Белый мышьяк — As_2O_3 .

2385, 2386, 2387. Джонсон — см. прим. ред. к п. 2379, 2382.

2387. Волластон — см. прим. ред. к п. 76 (т. I).

2400. В этом и следующих параграфах (включительно по 2416) Фарадей стоит на точке зрения, что газы лишены магнитных свойств. Ср. соответственные его высказывания о диэлектрических свойствах газов (т. I, п.п. 1283—1294, с некоторой оговоркой в п. 1293).

2402—2404. Ныне принимается, что $\mu = 1 + 4\pi\kappa$, причем κ для всех тел, кроме ферромагнитных, весьма мало по сравнению с 1; поэтому там, где измеряется μ , а не $(\mu - 1)$, никакого различия μ установить невозможно. В особенности это относится к газам.

2416. Газы и пары неизменно занимают положение, среднее между магнитным и диамагнитным разрядами вещества. . . и, видимо, не отличаются от совершенного вакуума. От этого утверждения Фарадей в одной из следующих серий решительно отказывается (см. сер. XXV).

2420. Если только материя находится в это время в твердом или жидком состоянии — см., однако, предыдущее прим. ред. к сер. XXV.

2427. Хотим мы или не хотим — атомист Фарадей неохотно пользуется молекулярными представлениями.

2432. Обратим внимание на то, что здесь Фарадей не противопоставляет друг другу азот и кислород. См., однако, сер. XXVI и XXVII об атмосферном магнетизме. В отношении остального содержания этого и следующих параграфов (п.п. 2432—2434) см. прим. ред. к п. 2416.

2435. Связаны ли отрицательные результаты . . . с меньшим количеством вещества — изумительно правильное предвидение Фарадея. Каньер де ла Тур — его опыты по критическому состоянию произвели большое впечатление на Фарадея (см. т. I, п.п. 441, 1336; т. II, стр. 401, 436). О самом авторе см. прим. ред. к п. 441 (т. I).

2437. Здесь в первой фразе ударение стоит на слове «безусловно» что видно из начала п. 2438.

2439. Главное затруднение при правильном объяснении диамагнитных явлений, даваемом в предыдущем параграфе, оказывается в мепра-

важном заключении из опыта, что магнитность воздуха не зависит от его плотности. См. 2435 и прим. ред. к нему же.

2443. Относительно «действия смежных частей» и ссылки Фарадея на п. 1161 (т. I) см. в том же томе сер. XIV, особенно п.п. 1680, 1683; в сер. XI прим. к 1164; см. также статью ред. т. I, стр. 762, последний раздел.

Добавление после п. 2453. Бругманс (Brugmans Ant., 1732—1789) — профессор в Гронингене (Голландия); Сэжей (Saigeu Jacques Frederick, 1797—1871) — фабрикант физических приборов (Париж); Зеебен — см. прим. ред. к п. 349.

Двадцать вторая серия

К заглавию, прим. Памяти Бэкера — см. прим. ред. к стр. 241, т. II. Это — вторая лекция памяти Бэкера, прочитанная Фарадеем; первая — см. т. I, серия 2-я.

2456. Здесь Фарадей, очевидно, противопоставляет монокристаллические палочки висмута; во всем последующем «правильно кристаллизованный» означает «монокристаллический».

2464. Здесь и во всем последующем изложении мы пользуемся термином самого Фарадея «магнесталлический». См. об этом ниже, п. 2585.

2467. Силу магнитного поля Фарадей правильно оценивает по периоду колебания в нем магнитной системы; тем же принципом мы пользуемся при магнитометрических измерениях по способу Гаусса.

2469. Плюккер (Pflücker Julius, 1801—1868) — профессор в Галле и Бонне. Его работы по отталкиванию кристаллов относятся к 1847 и сл. годам.

2497. Рейх (Reich Ferdinand, 1799—1882) — одно время профессор в Фрейберге, ранее и позднее — горный администратор, магнитолог.

2503. Позднее Фарадей возвратился к этому опыту и показал, что никакого положительного результата и нельзя было ожидать (см. ниже п. 2572), так как потеря диамагнитных свойств висмутом происходит при температуре, лежащей ниже точки плавления.

2504. Мы бы теперь сказали, что не существует магнито-кристаллического остаточного действия.

2507. Здесь мы видим отголосок некоторого недоверия к единству магнитных явлений, чем бы они ни обуславливались.

2530. Ритчи — см. прим. ред. к п. 265 (т. I). См. там же подстр. прим. к п. 367 и п. 1180. Стекланная нить, как впоследствии выяснилось, обладает некоторым, хотя и слабым, упругим последствием и была в конце XIX века заменена кварцовой по Бойсу.

2532. По поводу поведения висмута и значения отверстий и поверхности полюсов см. п. 2463.

2536. Подстр. прим. Де ла Бич сэр Генри Томас (1796—1855) — геолог, начальник геологической службы в Англии.

2543. Ссылка на п. 2457 ошибочна — там нет речи о легкоплавном металле.

2545. Гален — серпигное железо; лейцит — силикат состава $KAlSi_3O_8$; борацит — минерал сложного состава, с содержанием борной кислоты, магнезии и хлористого магния.

2549. В п. 2290 у некоторых веществ были обнаружены диамагнитные установки, появление которых Фарадей теперь относит к магнекристаллическим свойствам этих веществ; в п. 2383 диамагнитные свойства — тоже, может быть, неправильно — приписывались мышьяку.

2550. Мы теперь не говорим ни о магнитных, ни о диамагнитных, ни о магнекристаллических *силах*, а о соответствующих *свойствах*.

2558. С меткой — метка часто делалась во время Фарадея на северном полюсе магнита. См. в I т. прим. ред. к п.п. 38, 41 и др. и в особенности собственное примечание Фарадея к п. 44.

2563. Диаметрально — мы бы сказали некоторое определенное или диаметрально ему противоположное. — В кристалле молекулы обращены друг к другу полюсами одинаковой природы — здесь Фарадей, по-видимому, хочет сказать, что кристаллы вообще имеют не ионный, а молекулярный характер.

2568. Можно не согласиться с окончательным заключением этого параграфа.

2577—2582. Магнекристаллические свойства могут, с современной точки зрения, обуславливаться либо а) однообразной ориентацией частиц, которые должны в различных направлениях иметь различные свойства, либо б) различной плотностью расположения частиц в разных направлениях. О «силах» мы при этом не говорим.

2582. Конечно, магнекристаллические свойства проявляются в виде ориентационных движений только в магнитном поле. Сами они не дают начала какому-либо магнитному полю.

2586, 2587. Поляризация в направлении магнекристаллической оси, конечно, имеется, и притом более сильная, чем в других направлениях; однако и ее величина настолько мала, что не вызывает заметного притяжения. См. 2588, 2591.

2590. Силы магнитные и электрические — по поводу последних см. прим. ред. к п. 2195.

2591. Здесь предлагается совершенно правильное, с современной точки зрения, объяснение магнекристаллической ориентации. Аналогии со светом не точна; впоследствии Фарадей охотно пользуется термином «магнитная проводимость», которая была бы уместна и в данном

случае. — Инерция и количество движения; Фарадей совершенно правильно указывает, что электромагнитные силы («сила Лорентца») не имеют характера центральных и потому не удовлетворяют по своему направлению 2-му закону Ньютона.

2594. Ставролит — минерал, содержащий железо.

2609. Или электрических — см. прим. ред. к п. 2195.

2614. Даже с тяготением — см. ниже; сер. XXIV.

2624. Полярность частиц, находящихся на концах, усиливается — увеличивается магнитный момент всего тела. Относительно полярности вдоль магнетинокристаллической оси см. прим. ред. к п.п. 2586, 2587.

2625. Опыты этого параграфа внушают сомнение: в совершенно равномерном поле и железный стержень не должен поворачиваться; поскольку он поворачивается, так же должен себя вести и висмутовый стержень — в другом направлении и с гораздо меньшей силой.

2626, 2627. См. прим. ред. к п. 2624 (в начале). — Висмут также влияет на расположение силовых линий, но во много раз слабее. Впоследствии Фарадей пришел к тому же заключению (см., напр., п. 2831 и особенно рис. 202).

Двадцать третья серия

2640. Вебер (Weber Wilhelm Eduard, 1804—1891) — профессор в Геттингене, большой специалист по электрическим измерениям.

2650. Времени — см. прим. ред. к п. 2332.

2651. Румкорф (собственно Ромкорф) (Ruhmkorff, 1812—1877) — известный механик и фабрикант физических приборов («катушка Румкорфа»).

2658—2663. Подробное исследование влияния подразделения сердечника на возникающие в нем индукционные токи — первое указание на столь обыкновенно применяемый теперь прием в альтернаторах, трансформаторах и т. п.

2662. Дове (Dove Heinrich Wilhelm, 1803—1879) — физик и метеоролог в Берлине, директор Прусской метеорологической сети. Цитируемая работа относится к 1841 году.

2669. Несомненное предвидение установленного аналогично позже факта, что в течение первых альтернаций тока вокруг железного сердечника кривая гистерезиса постепенно изменяется до некоторой оковчателной формы.

2672 и сл. Вопросу о правильном положении коммутатора и о том, что мы ныне называем реакцией якоря, посвящено обстоятельное исследование Э. Х. Ленца (см. его «Избранные труды». Изд. АН СССР, М.—Л., 1950, стр. 159).

Двадцать четвертая серия

2703. Двойственной, или антитетической природы — Фарадей имеет в виду существование в электричестве и магнетизме двух противоположных полярностей. — Более отчетливо основное предположение Фарадея изложено в п. 2704.

2705. Способ. . . не содержал в себе, по-видимому, никакого источника ошибки — можно было представить себе, что при малости ожидаемого эффекта уже могло бы проявиться изменение магнитного поля от точки к точке.

Двадцать пятая серия

2720. Банкалари (Bancalari Michele Alberto, род. 1805) — профессор в Генуе. — См. упоминание о нем и о диамагнетизме газов в более ранней статье Фарадея (дек. 1847 г.) о диамагнитных свойствах пламени и газов (наст. том, стр. 644) и в статье Дзантедески (наст. том, стр. 674), относящейся к октябрю 1847 г.

2722. Что такое истинная нулевая точка — напоминаем, что в XXI серии Фарадей очень беспоконила мысль о том, какому веществу следует приписать полное отсутствие магнитных свойств. Догадка о том, что им должна отличаться пустота, казалась ему недостаточно обоснованной. См., однако, п. 2435 и прим. ред. к нему.

2723. Саут (South James, 1785—1867) — хирург; занимался наукой как частный человек.

2724. Вследствие отклонения — по всей вероятности, Фарадей имеет в виду диффракцию.

2738. Пламя, дым, висмут и другие диамагнитные вещества — Фарадей прежде отрицал наличие магнитных свойств у газов, но после работ Банкалари, Дзантедески и своих дополнительных исследований изменил свое мнение (см. прим. ред. к п. 2722).

2739. Ключи. . . были сделаны из дерева — чтобы при прикосновении к ним рук теплота последних не передавалась теплопроводностью камере.

2747. Рэдвуд (Redwood Theophilus, род. 1808) — химик при Великобританском фармацевтическом об-ве. Судя по описанию, магнитная цепь у этого прибора была устроена, с современной точки зрения, более рационально. Полезно вспомнить, что само понятие о магнитной цепи было создано только через 40 лет после трудов Фарадея; первые научные изыскания в этом направлении принадлежат нашим соотечественникам Э. Х. Ленцу и Б. С. Якоби (см. Э. Ленц. Избран-

ные труды. Изд. АН СССР, М.—Л., 1950). — 72 кв. дюйма — пластинка действует обема своими сторонами.

2753. Стационарных потоков в описанных условиях возникнуть не может, хотя бы за отсутствием источника энергии для их поддержания. См. также п. 2755

2759. Новейшие рецепты жидкости для мыльных пузырей — см., напр., в книге Ч. Бойса «Мыльные пузыри». Научн. книгоиздат., Птг., 1919. Прочие предосторожности, указываемые Фарадеем, сохраняют значение и ныне.

2779. Магнитные свойства должны ослабляться. . . в соответствии с тем, насколько оно разряжено — см. более раннее упоминание об этом в п. 2435 (см. также прим. ред. к этому п.).

2781. Стремление внутрь. . . пропорционально плотности — ныне точно установленное правило.

2784. Азот оказывается . . . не магнитным и не диамагнитным — по современным точным измерениям азот диамагнитен.

2789. Здесь, едва ли не в последний раз, Фарадей делит все вещества на два разряда: магнитных и диамагнитных. См. следующий параграф.

2792. Приведем здесь табличку магнитных проницаемостей тех паров и газов, которые здесь перечисляет Фарадей, по приняемым ныне величинам (δ — плотность, μ — проницаемость) $\frac{\mu - 1}{4\pi\delta} = \chi$ — восприимчивость, отнесенная к 1 г.

Газ	$\chi \cdot 10^6$	Газ	$\chi \cdot 10^6$
Хлор	-0.59	Маслородный газ (этилен)	-1.6
Бром	-0.40—0.46	Закись азота	-0.43
Циан	-0.415	Окись азота при 19°C	+49.07
Азот	-0.342	Пары азотной кислоты	-0.47
Водород	-1.98	Соляная кислота	-0.66
Углекислота	-0.46	Серная кислота	-0.44
Окись углерода	-0.35	Сероуглерод	-0.54
Аммиак	-1.1		

2796. Намечаемая здесь задача об исследовании атмосферного магнетизма решается Фарадеем в сериях XXVI и XXVII. Предварительное сообщение см. в настоящем томе, стр. 118.

Двадцать шестая серия

2797. То, что Фарадей называет здесь и далее «способностью проводить магнетизм» или еще «магнитной проводимостью», полностью сохраняет свое значение и ныне под именем «магнитной проницаемости». Напомним,

что в законах магнитной цепи эта величина выступает аналогом электропроводности в цепи тока.

2803. Здесь Фарадей стоит еще на той точке зрения, что молекулярные токи в пара- и диамагнитных телах имеют противоположные направления. Впоследствии он склонился ко второй из предложенных здесь гипотез; они различаются не направлением, а только силой.

2809. По представлению Фарадея, вполне принятому и в современной науке, силовой поток, проходящий через какое-нибудь сечение некоторой силовой трубки, остается постоянным по всей длине последней. Изумительно, как все эти представления выработаны Фарадеем без помощи какого бы то ни было математического аппарата. — Железо, кобальт и никель Фарадей относит к классу парамагнитных тел. Термин «ферромагнитных тел» был создан значительно позже.

2811, 2812. Вносимое в равномерное поле тело с *слабо* выраженными пара- и диамагнитными свойствами нарушает равномерность, чем объясняются ориентационные явления в поле, ранее бывшем равномерным.

2814. Рассуждение этого параграфа сродни воззрению Фарадея, что силовые линии растянуты в продольном и сжаты в поперечном направлении.

2815. Напомним, что ранее Фарадей отрицал наличие таких сил между диамагнитными телами и магнитном поле.

2818. Так как «полярность проводимости» Фарадей связывает здесь и в дальнейшем с полпризацией тел в магнитном поле, то это понятие очень близко к современной «восприимчивости».

2819. Существует ли полярное притяжение. . . это еще неизвестно — нам представляется, что это утверждение находится в противоречии с данными п. 2815.

2832. Здесь Фарадей впервые дает объяснение, с точки зрения теории поля, тому различию, которое проявляется между постоянным магнитом и намагничиваемым мягким железом, т. е. дает некоторое истолкование явлению остаточного магнетизма.

2833. Мы теперь пишем уравнение для магнитной цепи в предположении полной пропорциональности между магнитным потоком, с одной стороны, и магнитодвижущей силой — с другой, что не соответствует утверждениям Фарадея в этом параграфе. Нам неизвестно, откуда Фарадей взял фактическое обоснование для этих утверждений.

2837. Даваемое здесь определение магнетокристаллических свойств далеко превосходит по точности все предыдущие.

2846. Один из важнейших пунктов учения Фарадея о магнетизме, лежащий в основе параллельной трактовки электростатической и магнитной индукции.

2847. Зеебек — см. прим. ред. к п. 349. Любопытно, что сам он давал своему открытию неправильное толкование и упорно называл откры-

тое им явление термомагнетизмом. — Кэмминг (Cumming James, 1777—1861) — химик и магнитолог (Кембридж); много работ по термоэлектричеству. — Гумбольдт — см. прим. ред. к п. 358 (т. I). — Ганстен (Hansteen Christopher, 1784—1873) — норвежский магнитолог; путешествовал по Сибири. — Гаусс (Gauss Carl Friedrich, 1777—1855) — один из величайших математиков всех времен; здесь Фарадей имеет в виду его магнитологические работы (кроме теоретических — еще «способ Гаусса»).

2848. Многие... непроводниками электрического тока — для вопроса о магнетизме Земли эта сторона дела не имеет значения, если только не приписывать этот магнетизм круговым токам по параллелям.

2850. Гей-Люссак — см. прим. ред. к п. 741 (т. I). Бю — см. прим. ред. к п. 486 (т. I). В истории воздухоплавания знаменит подъем атих выдающихся ученых в 1804 г.

2851. Подозреваемая Фарадеем зависимость магнитной проницаемости вакуума от температуры неизвестна и вряд ли возможна.

2852. На дне этой-то атмосферы — выражение, впервые употребленное Торичелли.

2858. После 1894 г. (Рэлей и Рэмсей) мы знаем, что это была смесь азота с аргоном.

2864. Прюгт (Prout William, 1786—1850) — автор знаменитой гипотезы о составе атомов из водорода. Цитируемая работа относится, по всей вероятности, к 1818 г.

2865. О рис. 203 см. ниже, прим. ред. к п. 2866.

2866. Количество силы — силовой поток (поток индукции). Рис. 203 изображает ход силового потока не так, как мы вычисляем его в настоящее время, а именно: внутри резко ограниченного шара с однородными магнитными свойствами, внесенного в равномерное (до внесения) неограниченное поле, поток должен быть равномерен, что несколько изменяет последующие рассуждения как этого, так и последующего параграфа. Впрочем, в газовом шаре, не равномерном по свойствам и с неравными границами, дело опять изменяется.

2870, 2871. Как отмечалось уже в комментариях к I тому, во времена Фарадея экспериментаторы плохо представляли себе различие между количеством (=зарядом) и напряжением (=потенциалом). См., напр., т. I, стр. 734 и п.п. 360 (прим. 1) и 1370; в последнем напряжении мыслится, по-видимому, как поляризация частиц. С современной точки зрения, в п.п. 2870 и 2871 сказываются различия между напряженностью, с одной стороны, и индукцией — с другой.

2872. Кажущееся уменьшение интенсивности здесь будет... больше — как было отмечено в прим. ред. к п. 2866, оно будет, по всей вероятности, почти одинаково во всем объеме шара другой плотности.

2874. Как известно, шар, магнитной проницаемостью отличающийся от окружающей среды, в равномерном поле эквивалентен некоторому диполю в центре шара — для всех точек, внешних по отношению к шару. Соответственно этому легко по расположению силовых линий диполя составить себе понятие об отклоняющем действии поляризованного шара.

2877. К рис. 204 и 205 относятся те же замечания, которые были сделаны и рис. 203 (см. прим. ред. к п. 2866): поле внутри двух шаров должно быть равномерным; на модели рис. 204 силовые линии должны быть гуще, а на рис. 205 — реже, чем во внешнем невозмущенном поле. — В известной мере действие шаров можно изобразить с помощью магнита — см. прим. ред. к п. 2874. Последующее ограничение связано с колебаниями Фарадея в признании полярности у тел, пронизываемых магнитным потоком.

2886. При охлаждении кислорода его парамагнитные свойства увеличиваются быстрее, чем изменяется температура — теперь этого предположения не делают.

2891. Сэбайн (Sæbain Edward, 1788—1883) — выдающийся исследователь, главным образом по вопросам земного магнетизма, а также ускорения силы тяжести и др.

2894. Здесь опять некотороа произвольное предположение о температурной зависимости проницаемости кислорода. По теории Клаузиуса—Моссотти эта зависимость имеет вид

$$\frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 2} \sim \rho,$$

а при малом μ , $\mu - 1 \sim \rho$, независимо от того, чем вызываются изменения ρ . Как известно, теория для газов удовлетворительно изображает результаты опыта. Коэффициент пропорциональности в формуле Клаузиуса—Моссотти, зависящий от восприимчивости, от температуры не зависит.

2896. Гобартон — на острове Тасмания, к югу от Австралии.

2897. *Здесь и во всех последующих параграфах, где это особо не оговорено, время ведется по астрономическому счету: ноль в полдень. Для перевода на наш обычный час к цифрам Ф. следует прибавить 12 час.*

2901. Свобода подвешенной — могущей совершать любое движение вокруг своего центра.

2905. Торонто — в Канаде, на северном берегу оз. Онтарио.

2913. Оз. Атабаска — в сев.-вост. части Канады.

2914. Форт Симпсон — там же, на р. Макензи.

2921. Стрелка, способная двигаться в любом направлении — см. прим. ред. к п. 2901.

2933. Напоминаем, что во всем произведении Фарадея мы при переводе сохранили предложенный им термин «удельная индуктивная способность»

вместо принимаемой ныне «диэлектрической проницаемости» или «диэлектрической постоянной».

2937. Изменения происходят в таком температурном интервале, который, вероятно, является более активным — мы сейчас по видимому тучному интервала.

2941. Броун (Brown John Allen, 1817—1879) — директор Магнитной обсерватории в Мейкерстоуне (Австралия) (1842—1851), Индии (1851—1879); чл. Лоял. кор. об-ва. Упоминаемая здесь работа (Proc. Brit. Ass.) относится к 1847 г.

2946. Все неправильности... поддаются исключению, если брать (многолетние) средние — и ныне при наблюдаемых малых вариациях мы пользуемся тем же приемом.

2954. Приливы и отливы в воздухе... должны оказывать влияние... слишком незначительное —; это подтверждено позднейшими исследованиями.

2957. Будет установлена связь между сиянием и атмосферными (магнитными) изменениями — как известно, такая связь установлена теорией, отождествляющей полярное сияние со свечением газов атмосферы под влиянием вторгающихся в последнюю потоков электронов; объяснен и поставленный здесь вопрос о причине сияний главным образом в приполярных странах.

2958. Возмущения в одном месте будут в то же мгновение опущаться на всем земном шаре — конечно, с запазданием на время распространения ($\tau = \frac{c}{x}$). Оно не превосходит однако на земле $\frac{1}{15}$ сек.

2961. О полете Био и Гей-Люссака уже упоминалось в п. 2850. См. прим. ред. к этому параграфу. — Купфер Адольф Теодор (1799—1865) — выдающийся русский метролог, метеоролог, магнитолог, академик. — Форбс (Forbes James David, 1809—1868) — профессор в Эдинбурге, физик и магнитолог; упоминаемая здесь работа относится к 1840 г.

2962. Бессель (Bessel Friedrich Wilhelm, 1784—1846) — профессор в Кенигсберге, академик в Берлине, выдающийся астроном, геодезист, гравиметрист, громадное количество работ по всем этим отраслям.

Двадцать седьмая—двадцать девятая серии

Стр. 451. Магнитное поле земного шара приблизительно таково, как если бы в центре его был расположен весьма малый диполь с моментом $3.06 \cdot 10^{25}$ CGSM.

3189. Кристи — см. «Эксп. иссл.», т. I, прим. ред. к п. 44.

3238. Д-р Роже (Roget Peter Mark, 1779—1869) — английский врач.

СТАТЬЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

Мысли о лучевых колебаниях

Стр. 618. Филлипс (Phillips Richard) — см. «Эксп. иссл.», т. II, прим. ред. к стр. 288.

О диаманитных свойствах пламени и газов

Стр. 644. Дзантедески (Зантедески) (Zantedeschi, 1797—1873) — физик в Падуе. Бавкалари — см. прим. к п. 2720.

Стр. 675. Вунзен (Wunzen Robert Wilhelm, 1811—1899) — немецкий химик.

Соображения о магнитной силе

Стр. 683. Лоджеман (Logeman Willem Martinus, род. 1821) — голландский мастер, изготовлявший физические приборы.

Об электрической индукции — случаи одновременного влияния токов и зарядов

Стр. 708. Печатающий телеграф Бэна — электрохимический телеграф.

Гипотезы о магнетизме

Стр. 715. Д-р Франкленд (Frankland, род. 1825) — английский химик.

О некоторых вопросах учения о магнетизме и о природе сил

Стр. 751, п. 3338. Элкингтон (Elkington, 1801—1865) — английский промышленник.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Амлер* 2200, 2229, 2239, 2341, 2430, 2788, 3266, 3269, 3273, 3301, 3304, 3307, 3308, стр. 618, 715—717, 726
- Андерсон* 2151 сноска
- Араго* 2341, 2847, 3174, 3304, 3340, стр. 682, 719
- Аскин* 2358, стр. 615
- Банжалари* 2720, стр. 644, 647, 671, 672, 674, 678
- Беккерель* 2349, 3308, стр. 45 сноска, 46, 302 сноска, 303 сноска, 632, 633, 635, 640—643
- Белли* стр. 674, 675
- Бентлей* 3305 сноска, стр. 695, 718
- Вертье* 2372
- Верцелиус* стр. 715
- Вессель* 2962
- Вино* 2850, 2961, 2962
- Воскович* стр. 620
- Браун* 2941
- Бругманс* стр. 118
- Бунзен* стр. 675
- Бабедж* 2341
- Вэн* стр. 708, 781, 783
- Ван Рис* 3302, 3360
- Вартман* 2147
- Вебер* 2640, 2641, 2646, 2654, 2689, 2693, 2694, 2718, 3307, 3308, стр. 716, 717
- Воластон* 2371, 2379, 2382, 2387
- Вольта* стр. 713, 714
- Ганстен* 2847
- Гаррис* 3075
- Гаусс* 2847, стр. 451
- Гаццанига* стр. 678
- Гей-Люссака* 2850, 2961, 2962
- Генри* 3338
- Гершель* 2341
- Гонкель* стр. 706
- Гров* стр. 669
- Гумбольдт* 2847, 2958, 2962
- Де ла Биш* 2536 сноска
- Де ла Рив* 2308 сноска, 3045, 3307, стр. 301 сноска, 672, 716—718
- Джест* стр. 675, 677 сноска
- Джонсон* 2371, 2379, 2382, 2385, 2386, 2387
- Двантедески* стр. 644, 645, 647, 672, 674
- Дог* 2662, 2880, 2949, 3032, 3003
- Дэви* 2221 сноска, 3286, стр. 715
- Дюфе* 2281
- Зеебек* стр. 118, 302 сноска

- Каньяр де ла Тур* 2435
Кларк стр. 696, 708, 712, 781, 785, 786
Кноблауз стр. 7, 296 сноска
Копь стр. 705 сноска
Корбе стр. 675
Кристи 2221, 2963, 3189 сноска, 3203 сноска, стр. 301 сноска
Кулон 3075, 3302, 3307, стр. 45 сноска, 633, 643 сноска, 710, 715, 784
Купфер 2961
Камминг стр. 302 сноска
Ла Байи 2308 сноска, стр. 118, 793
Либиз стр. 705 сноска, 706
Лоджмен 3352, 3358, стр. 683, 686, 690
Маршан стр. 7
Маттеучи 3307, 3308, 3340
Меллони стр. 781—784, 787
Моррикини 2221 сноска
Моссотти стр. 623
Нобили стр. 523 сноска
Ньютон 3305, 3317, стр. 718
О'Митчелль стр. 706
Пельтье стр. 642 сноска
Перси 3240, стр. 615
Плаоккер 2469, 2497, 2560, 2592, 2594, 2605, 2607—2610, 2633, 2640, 2691, 2718, 2722, 2730, 2755, 2836, 3253, стр. 296 сноска, 689, 690, 693, 694
Прют 2864
Пуассон 715, 784
Рейх 2497, 2640, 2654, 2689, 2693, 2718
Риттер стр. 713
Ритчи 2530
Роже 3238
Румкорф 2651, 3086, 3123, 3207, 3338, 3352, стр. 708
Роведуд 2747
Саут 2723
Сименс стр. 712
Скоресби 3223, 3224
Статсман стр. 696, 698
Сабайн 2192, 2847, 2891, 2896, 2905, 2909, 2947, 2949, 2963, 3007, 3027—3030, 3045, 3049, 3055, стр. 378
Сэжей стр. 118
Тейлор стр. 644, 674
Теннант 2177, 2536 сноска¹
Тиндаль 3308, 3310, стр. 7, 296 сноска¹
Томсон У. 3302, 3308, 3320, 3321, стр. 8
Уаррингтон 2374
Уитстон стр. 45, 618, 704, 705, 723
Уокер стр. 705
Фиво стр. 706, 708
Филлипс стр. 618, 625, 626, 678, 681
Форбе 2961
Франкленд стр. 715
Фуко 3304
Фурье 3302
Цамбр стр. 675
Шеерер стр. 7
Эйлер 3263 сноска, 3301 сноска, 3305, 3317
Элиас стр. 683
Эллиот 3058 сноска
Элькинотон 3338
Эрстед 3269, стр. 715

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Азот**, магнитные свойства его
2770, 2783, 2854, 2858
- Аксальное и экваториальное**
направления 2252
- Атмосфера**, вероятные действия
ее 2864, 2917, 2920, 2934,
2997
- магнитные свойства ее 2853,
2863, 2963
- Атмосферный магнетизм** 2453,
2796, 2847, 2997, стр. 450
- влияние нагретого воздуха
2877, 2939, 3240
- влияние охлажденного воз-
духа 2864, 2917, 3003, 3240
- годовал вариация 2882,
2947, 3001
- законы его действия 2969
- *изменения* благодаря ветру
2954
- — по высоте 2878, 2941
- — от давления 2952
- — от дождя или снега 2955
- общие принципы 2997, 2917,
2878
- *суточная вариация* 2892,
2920, 3000
- — ночью 3002
- экспериментальные аналогии
2969, 2997
- Бурь магнитные** 2958
- Вакуум**, в трубе, помещенной
в воду 2412
- магнитные свойства его 2770,
2786, 3277
- нулевая точка магнетизма
стр. 642, 672
- Вариация** годовая 2882, 2920
- суточная 2892, 2920
- Вечное движение**, если висмут
полярзуется обратно 3320
- Взаимные магнитные действия**
тел 2814
- Взрывы с помощью электри-
чества** — фитиль, стр. 711
- Висмут**, движение его около
магнита 2297, 2308
- диамагнитное вещество 2295
- *жидкий*, подверженный дей-
ствию магнетизма 2502, 2572
- магнекристаллическое дейст-
вие его 2454
- *около магнита*, в виде порошка
2302, 2304
- — в различных средах 2301
- — два куска, *невзаимодей-*
ствуют 2303
- — окружен железом 2301
- статическое магнитное его со-
стояние 3319

- Висмут, магнитная полярность его* 3309
- *предполагаемая обратной железу* 3310
 - — приводить к заключению о четырех родах магнетизма 3311
 - — — приводить к противоречивым заключениям 3311
 - — — приводить к идее о вечном движении 3320
 - такая же, как железа и меди 3164, 3168
 - такая же, как обыкновенного магнита 3358
- Висмутые кристаллы действие их на магнит* 2567
- и магнитная сила Земли 2581
 - не магнекристалличны, когда нагреты 2570
 - не удерживают магнитные силы 2504
 - не обнаруживают взаимного влияния 2582
 - *положение их в магнитном поле* 2475, 2480, 2574, 2840
 - — *влияние железа* 2487
 - — — магнитов 2491
 - форма и скалывание 2475
- Висмутовый шарик вращающийся* 3354, стр. 774
- Воздух, действие на него магнитов* 2400, 2432
- неразделимость посредством магнетизма стр. 667
 - притягиваемый в воде 2406
- Воздух, его магнитный характер* 2791, 2853, стр. 656, 667
- подвергаемый нагреванию 2855, 2859, стр. 651, 667
- Вопросы теории магнетизма* 3300, стр. 770
- Вращение луча света магнетизмом* 2154
- Время, влияние его в магнитной индукции* 2170, 2650, 2688
- в магнитном вращении света стр. 643
 - в случаях железа и висмута 3319
- Время, необходимое для развития магнетизма* 2332, 3319, стр. 643
- Газы, азот* стр. 656, 663, 665, 667
- аммиак, стр. 659, 667
 - брома пары стр. 660
 - влияние нагревания на их магнитные свойства 2855, стр. 667
 - водород стр. 657, 663, 664, 668
 - — нагретый стр. 668
 - газообразная азотистая [кислота стр. 659
 - газ сернистой кислоты стр. 659
 - действие магнитов на них 2400, 2432
 - закись азота стр. 658, 661, 663
 - код стр. 660
 - подистоводородная кислота стр. 659
 - кислород стр. 656, 663, 665, 668
 - — нагретый стр. 668
 - магнитное поведение их 2785, 2792, стр. 644
 - магнитные свойства их стр. 653, 661
 - маслородный газ стр. 659, 667
 - не расширяются под влиянием магнетизма 2718, 2750, 2756
 - окись азота стр. 658
 - окись углерода стр. 658, 663
 - отсутствие в них магнитного вращення света 2186
 - светильный газ стр. 659, 665

- — нагретый стр. 669
- соляная кислота стр. 659, 668
- улекислота стр. 657, 663
- — нагретая 667
- хлор стр. 660
- циан стр. 660
- Газы испытанные в магнитном поле* 2723, 2728, 2734, 2770
- в закрытом сосуде 2730, 2737, 2743, 2749
- водород в воздухе 2740
- в мыльных пузырях 2758, 2765
- никаких потоков 2754
- с помощью световых лучей 2723
- Гальванометр с толстой проволокой* 3123, 3137, 3178
- влияние на него некоторых обстоятельств 3124, 3179
- контакты 3126
- цена его показаний 3184
- Гипотезы о магнитной силе 3301, 3303, стр. 715
- Гобартон, вариации магнитного поля Земли 2896, 2948, 3027
- Годовая вариация 2882, 2947
- Гринвич, вариации магнитного поля земли 2911, 3018
- Гуттаперча, ее использование в электричестве стр. 678
- Движущиеся магнитные среды* 3159, 3337, 3351
- Движущиеся проводники* 3076, 3159, 3351 3360
- в магнитном поле 3270
- Движущиеся проволоки, их значение как средство испытания* 3176
- магнитные показания их стр. 613
- результаты 3338
- Двойственности магнитные 3323, 3341, стр. 771
- Двойственности электрические* стр. 770
- их равенство стр. 771
- Двойственные силы* стр. 610
- всегда равны и зависимы 3324
- Действие, рассматриваемое на некотором расстоянии стр. 770
- Дзентедески о движении пламен под влиянием магнетизма стр. 674
- Диамagnetизм 2243, 2417
- Диамagnetная полярность* 2249
- испытание ее, влияние времени 2681
- — зависимость от скорости 2861
- — по ее действию при движении туда и обратно 2640, 2665
- — путем подразделения 2658
- — — на кружки 2659, 2661
- — — на проволоки 2659, 2662
- — с помощью катушек 2668
- — с помощью образующихся индукционных токов 2655, 2663
- — укороченном сердечника 2657
- природа ее 2497, 2640, 2820
- Диамagnetная полярность, сомнительность предполагаемых доказательств* 2689, 3311, 3320
- Диамagnetная сила, зависимость от расстояния стр. 691
- Диамagnetная установка направления 2258, 2282
- Диамagnetное действие, его природа 2417, 2427

- Диаманитные вещества* 2275,
2279
— висмут 2295
— действие на них магнитов 2275
— жидкости 2279
— металлы 2291, 2295, 2425
— *подвешивание их* 2248
— — предосторожности 2250
— раздробление их 2283, 2302
— список их 2280, 2399
— сурьма 2295
— фосфор 2277, 2284
- Диаманитные движения* 2253,
2257, 2259, 2271
- Диаманитные и парамагнитные тела, их различие* стр. 632
- Диаманитные кривые* 2270
- Диаманитные свойства пламен и газов* стр. 644, 670
— дымов 648, 670
- Диаманитные тела, определение* 2149, 2790
- Диаманитный порядок степени* 2284, 2307, 2399
- Диски металлические, вращающиеся поперек линий сил* 3159, 3167
— из непроводников 3171
- Дифференциальное магнитное действие* 2361, 2422, 2757, 2405, 3298, 3316
- Дым, диаманитные свойства его* стр. 647, 670
- Единство сил природы** 2702
- Железо, медь, висмут имеют одинаковую полярность** 3164, 3168, 3356, стр. 774
- Железо, пагетное магнитно** 2344
- Жидкости, магнитное вращение света в них* 2183
— нерасширение их в магнитном поле 2172
- Закон магнекристаллического действия** 2479, 2464
- Закон магнитного вращения света** 2155, 2160, 2175, 2200
- Закон обратного квадрата расстояний** стр. 689
- Закон электрического вращения света** 2199
- Земли внутренность, ее магнитное состояние* стр. 618
- Земли магнитная сила, изменения направления ее* 2874
— распределение ее 2849
- Земли магнитные действия* 2447
— на экваторе и полюсах 2449
- Известковый шпат и магниты** 2595, 2660, 2842
- Изображение линий магнитной силы** 3234
- Изоляция гуттаперчей** стр. 679
- Изоляция и проводимость связаны между собой** стр. 703
- Индукция зависит от смежных частей** 2240
- Индукция и проводимость связаны между собой** стр. 703
- Индукция магнитоэлектрических токов** 3087, 3270
- Индукция электрическая** стр. 695
- Индукционные магнитоэлектрические токи* 2327, 2528
— сила их 2514 сноски
- Искривление линий магнитной силы** 3323, 3336
- Камера без магнитного действия** 3341
— со слабым магнитным действием 3344, 3347, 3350

- Катушки для исследования действия электричества на свет 2190, 2213
- Кислород, его магнитные свойства 2770, 2780, 2793, 2861, 2966, стр. 656
- Кислородные пузыри магнитны 2766
- Количество и напряжение стр. 710
- Кобальт нагретый, его магнитное состояние стр. 616
- Кристаллическая полярность висмута* 2457
- исландского шпата 2594
 - красной кровяной соли 2560
 - мышьяка 2532
 - различных тел 2535
 - солей 2547
 - сульфата железа 2546, 2554
 - сурьмы 2508
- Кристаллические частицы в растворе, их взаимодействия 2578
- Кристаллы, магнитное вращение света в них 2177
- Кровь диамагнитное вещество 2281, 2285
- Круговая поляризация магнитная* 2230
- существенно отличается от естественной 2231
- Крутильные весы для магнитных наблюдений стр. 683
- Линии земной магнитной силы* 2849
- количество их и интенсивность 2870
 - распределение их в атмосфере 2865, 2919
- Линии сил* 3245, стр. 622
- динамического электричества 3276
 - электрической силы 2149
- Линии сил физические* 3303, стр. 607, 770, 775
- магнетизма 3303, стр. 607, 612, 694, 719
 - света стр. 609
 - электричества стр. 610
 - лучевые колебания стр. 618
- Магнекристаллическая полярность* 2454, 2550, 2624, 2639
- Магнекристаллическая проводимость* 2836
- Магнекристаллическая сила* 2469, 2550, 2585, 2836
- закон ее 2479
 - невозможность измерения ее на основании колебаний 2529
 - природа ее 2562, 2576, 2624, 2836
 - сравнение ее с силой излучения 2591
- Магнекристаллическое действие* 2454, 2479, 2550
- не связано ни с притяжением, ни с отталкиванием 2551
- Магнетизм атмосферный* 2796, 2847, 2997, стр. 450
- испытание на него 2290
 - не изменяет объемов тел 2752
 - не расширяет газы 2718, 2750, 2756
 - нулевая точка его стр. 642, 672
 - поперечный стр. 633, 641
 - электричество и свет, случаи отсутствия их взаимодействия 2216
- Магнит Лоджмена стр. 683
- Магнит в виде трубки, особенности его* 3346

- внешнее распределение его силы 3305, 3332, 3336, 3361
- внутреннее его строение 3317
- исследование его с помощью индукционных токов 3177, 3215
- — соединенного с другими магнитами 3215
- независимое состояние его 3331, 3336, 3357, 3361
- отношение его к окружающему пространству 3278, 3284
- силовые линии в нем 3100, 3116, 3120
- — вокруг него 3099, 3101, 3117
- физические состояния его 3257, 3273
- шарообразный, состояние его 3331, 3357, стр. 775
- Магнитная камера без силы 3341, стр. 772
- Магнитная полярность 3304, 3307, 3360
- висмута 3354, 3309
- — не обратна магниту 3358
- в поле равной силы 3157
- — не обнаруживается с помощью магнитной стрелки 3157
- железа 3356
- истинный случай противоположной 3321, 3357
- меди 3352
- не всегда проявляется в притяжениях и отталкиваниях 3155
- обнаруживается вращающимся кружком 3159
- обнаруживается вращающимися шариками 3360, стр. 774
- обнаруживается с помощью индукционных токов 3156, 3158, 3164
- определение 3154
- похожа в железе, меди, висмуте и пр. 3164, 3356
- природа ее 2832, 3154
- различные понимания и толкования 3307
- разных растворов 3316
- твердого магнита 3357
- твердой стали 3355
- Магнитная проводимость 2797, 2843, 3281
- полярность ее 2818, 2835, 3166, 3307
- Магнитная сила, действие ее в различных направлениях 3328
- зависимость от расстояния стр. 691
- линий ее 3300
- наблюдения ее стр. 682
- необходимость рассмотреть их вновь 3305
- никогда не бывает одиночной 3277
- отношение ее к свету 2221
- отсутствие потерь ее с расстоянием 3111
- расположение ее 3305
- физическая природа ее 3301, 3303
- Магнитная стрелка не является совершенной мерой силы земного магнетизма 2871
- ненадежна в своих показаниях 3280, 3293
- Магнитная шкала, стогоградусная стр. 687
- Магнитная шкала тел стр. 688
- Магнитное влияние раздробления стр. 638

- Магнитное вращение света* во вращающихся телах 2187, 2235
- в разных телах вообще 2173, 2489, 2215, 2609
 - в тяжелом стекле 2152, 2171
 - жидких тел 2183, 2194
 - законы его 2155, 2160, 2175, 2200
 - кристаллических тел 2177, 2237, стр. 631
 - не подвержено влиянию движения 2166
 - — внесения сильно диамагнитных тел 2167
 - особенности его 2231
 - отношение ко времени 2170, стр. 643
 - отсутствие его в газах 2186, 2212, 2237, стр. 630
 - подвержено влиянию внесения железа 2168
 - при повторных отражениях стр. 627
 - происходит с разными телами 2165, 2173
 - увеличивается в диамагнитных телах 2163
 - — с интенсивностью магнитной силы 2164
- Магнитное действие* дифференциальное 2365, 2405, 2438, 2757
- Земля 2447
 - места, лишенные его 3341
 - места слабой силы 3344, 3347, 3350, стр. 772
 - — висмут помещен туда 3350
 - на медь и пр. 2309, 2333
 - на разных расстояниях стр. 690
 - новое 2243, 2343, 2417
 - с помощью смежных частей 2443
- Магнитное отвлечение 2315, 2336, 2514, 2516, 2684
- Магнитное поле*, нарушение его благодаря проводимости 2806, 2831
- равных сил 2463, 2465
 - состояние металлов в нем 3172
- Магнитное притяжение и отталкивание, их физическая причина 3280
- Магнитное состояние требует промоя для своего установления 3319, стр. 643
- Магнитные бури 2958
- Магнитные вариации Земли 2847, стр. 455
- Магнитные двойственности* 3257, 3323, 3341, стр. 770
- не связаны через магниты 3332, 3260, стр. 773
 - никогда не бывает в одиночестве 3257, стр. 770
 - отношение их к кривым линиям 3258, 3336, стр. 773
- Магнитные и электрические силы, их соотношение 3265
- Магнитные кривые, изображение 3234
- Магнитные линии сил* 2149, 3070, 3122, 3174, 3243, 3300, стр. 770
- влияние масс 3137, 3150
 - вокруг электрического тока 3239
 - в разных средах 3292
 - действительное изображение их природы 3074, 3122, 3174, 3243
 - достаточность 3273
 - единица 3122
 - изображение их 3234
 - и проводники в различных плоскостях 3140

- - — различной толщины 3133, 3141, 3191, 3203
- - — различных веществ 3143, 3152
- - как замкнутые токи 3117, 3230, 3264
- магнита и вращающейся проволоки, влияние времени 3104, 3114, 3135
- — — расстояния 3107, 3109, 3111
- — — скорости 3108, 3114, 3135
- — вместе 3084, 3091, 3095
- — раздельно 3094, 3095, 3097, 3106
- обнаружение их с помощью движущихся проводников 3270
- определение их 3071
- определенный характер их 3073, 3103, 3109, 3121, 3129, 3165, 3199, 3232
- полярность их 3072, 3154, 3157
- преломление их 3274
- противоположных магнитов 3233
- путь их через один или более магнитов 3230
- распознавание их 3076
- — по индукции токов 3077, 3083, 3123, 3159, 3177
- — гальванометром с толстой проволокой 3123, 3178
- — — преимущества 3078, 3115, 3116, 3156, 3176, 3280
- распределение внутри магнита 3084, 3116, 3120, 3273
- распределение в пространстве 3084, 3099, 3129, 3274
- сгущение их 3275
- соединенных магнитов, не увеличиваются в силе 3227
- — сливаются 3226
- состояние натяжения 3269
- физическая природа их 3243, 3269, 3273, 3297
- — в искривленных линиях 3254, 3258, 3261, 3263, 3297, 3323
- — зависимое отношение полярностей 3257, 3323
- — количество их ограничено 3255
- — отношение ко времени 3253
- — отношение к электрическим силовым линиям 3265
- физический характер их 3075, 3243, 3273
- через нагретый и холодный никель 3240
- Магнитные отталкивания без полярности 2274
- Магнитные полюса просверленные стр. 670
- Магнитные полюса, соединенные одинаково 3347
- Магнитные полюсные камеры 3341, стр. 771
- Магнитные проводники, их действие в магнитном поле 2810, 2828, 2839, 3313
- Магнитные растворы, относительные действия их 2357, 2361, 3313
- действие их на полюс стр. 638
- Магнитные свойства газов стр. 654, 661
- материи вообще 2226, 2243, 2286, стр. 632
- Магнитные силовые линии 2149.
- См. Линии магнитной силы
- — отклонение их к свету 2146, 2223

- Земли 2449, 2849, стр. 451
- в атмосфере 2847, стр. 454
- Магнитные силы, действительность*
3257, 3323
- всегда равны 3327
- не компенсируется через магнит 3260, 3332, 3335
- неуничтожаемость ее 3325, 3330
- никогда не появляются раздельно 3258, 3329, 3341
- определенность количества 3328
- сохранение ее 3325
- существенно связаны 3258, 3327, 3331, 3341
- Магнитные силы, исследуемые с помощью индукционных токов*
3177
- Земли 3192
- — с помощью движущихся прямоугольников и пр. 3192
- — — при разных скоростях 3196, 3200, 3202
- — — разной величины 3195, 3211
- — — разной толщины 3201, 3203, 3208, 3231
- — — разной формы 3198
- — — разных веществ 3231
- — — с несколькими витками 3206
- — с помощью колец 3212
- примененные металлические петли 3184
- примененный гальванометр 3178
- — цена его показаний 3184
- Магнитные соотношения металлов*
стр. 615
- Магнитные среды, дают разные результаты* 3316
- их действие 3313, 3337, стр. 686
- покоящиеся и движущиеся 3160, 3337, 3351
- устанавливаются, как если они полярные 3313
- устанавливаются, либо экваториально, либо аксиально 3315
- Магнитный полюс, проволока, движущаяся вокруг него* 3272
- Магнитный порядок тел* 2424
- Магнитомоторический ток, индуцированный* 2327, 3087, 3270
- индукции, природа ее действия 2696
- Магниты, аналогия их с гальваническими батареями* 3228, 3276, 3282
- влияния формы и величины 3282, 3287
- вместимости силовых линий 3295
- действие их на металлы и т. д. 2287, 2295, 2309, 2333
- — азот 2770, 2783, 2854, 2858
- — висмут 2392, 2306, 2457
- — висмутовый шарик 2298, 3354, стр. 774
- — воздух и газы 2400, 2432
- — вольфрам 2389
- — железо нагретое 2344
- — золото 2540
- — иридий 2386, 2542
- — кислород 2770, 2780, 2793, 2861, 2966, стр. 656
- — кобальт 2351, 2358
- — марганец 2372
- — медь 2537
- — мышьяк 2383, 2532
- — натрий 2393

- — никель 2346, 2350, 2358
- — олово 2538
- — осмий 2385
- — охлажденные металлы 2348
- — палладий 2382
- — платину 2379
- — растворы магнитные 2357, 2361
- — родий 2387, 2542
- — свинец 2378, 2539
- — серебро 2390
- — соединения железа 2349
- — соединения магнитных металлов 2349, 2379
- — соли магнитные 2352
- — сульфат железа 2546, 2554, 2615
- — сурьму 2391, 2306, 2508
- — теллур 2541
- — титан 2371, 2536
- — хром 2374
- — церий 2373
- — цинк 2535
- — щелочно-земельные металлы 2395
- действие их на свет 2146, 2152, 2157, 2170, 2609
- действие их на тяжелое стекло 2253, 2273
- — отталкивание его 2259, 2265, 2266
- действие якоря 3283
- длинные 3290
- окружающая их среда 3278
- — изменяющаяся 3292
- определенность величины их силы 3121, 3215
- — соединенных с другими магнитами 3218
- отношение малых к большим 3286
- переменные и неизменные 3224
- пересыщенные 3285
- соединенные 3294
- Марганец, его магнитные свойства 2372, стр. 616
- Материя и сила стр. 620
- Материя*, все виды ее магнитны 2243, 2286
- новые магнитные свойства ее 2227, 2242, 2274, 2286, 2417
- отношения ее к магнетизму 2226, 2286, 2443
- — и свет 2224
- Медная пластина притягивается и отталкивается 2338
- Медь*, действие на нее магнитных сил 2309, 2323, 2411
- особые действия 2310, 2317, 2326, 2333
- отвлечение 2315, 2336, 2411
- Медь, магнитная среда 3339
- Место без магнитного действия 3341, стр. 773
- Местонахождение силы 3306
- Металлические шары в магнитном поле 3352, стр. 774
- Металлы*, магнитные соотношения их стр. 615
- магнитный порядок их 2399
- магнитозлектрические токи, индуцируемые в них 2294, 2309, 2327, 2340
- — слабая интенсивность их 3123
- нагретые, их магнитное состояние стр. 616
- отличны под действием индукции 3145, 3152, 3164
- охлажденные, их магнитное состояние стр. 616
- подвергаемые действию магнитов 2287

- свойства их в магнитном поле 3172
- Металлы диамагнитные* 2291, 2295, 2425
- охлажденные 2397
- Мыльные пузыри намагниченные* 2278, 2765
- Мыльные пузыри с газами в магнитном поле* 2758, 2765
- кислород 2766
- азот 2765
- Мыс Доброй Надежды, вариации магнитного поля Земли* 3035, 3069, таблица
- Мысли о лучевых колебаниях* стр. 618
- Мышьяк, его магнекристаллическое действие* 2532
- Наблюдения магнитной силы** стр. 682
- Намагничение света* 2146, 2221
- Направление, аксиальное и экваториальное* 2250
- Напряжение и количество* стр. 710
- Непрерывность, ее влияние на магнетизм* стр. 638
- Нерасширяемость в магнитном поле газов* 2718, 2750, 2756
- жидкостей 2172
- Никель, магнетизм его при разных температурах* 2346, 3240
- Новые магнитные действия* 2243, 2343, 2417
- Новые магнитные свойства материи* 2227, 2242, 2274, 2286
- Нулевой точка магнетизма* стр. 642, 672
- Нулевой точка статического электричества* стр. 642
- Нуль магнитного действия* 2790
- Ньютоновы заключения о силе притяжения* 3305 сноска, стр. 777
- Одновременное влияние токов и зарядов** стр. 695
- Ориентация магнитная, восток — запад** 2258, 2269
- Освещение магнитных силовых линий** 2146
- Отвлечения магнитные** 2315, 2336, 2514, 2516, 2684
- Отталкивания магнитные без полярности** 2274
- Парамагнитные тела, определение*** 2790
- и диамагнитные тела, различия их стр. 632
- Перекись железа, ее магнитное поведение*** стр. 635
- Пламя, его диамагнитные свойства*** стр. 644, 670, 674
- окружающие потоки воздуха стр. 649
- Полярность висмута*** 3309
- *диамагнитная* 2429
- — *природа ее* 2497, 2640, 2820
- *магнекристаллическая* 2454, 2550
- — *природа ее* 2639
- *магнитная* 3154, 3307. См. магнитная полярность
- Полярность магнитной проводимости** 2818, 2835, 3166
- Поперечный магнетизм** стр. 633, 641
- Предположения о природе магнетизма** 3301, 3311, 3317, 3326
- Провода, запаздывание электричества в них** стр. 704, 782
- Проводимость и индукция, связь между ними** стр. 703

- Проводимость магнекристаллическая 2836
 Проводимость магнитная 2797, 2843, 3281
 Проводник подвижной 3351, 3360
 Проводники магнетизма, их влияние 2806, 2828
 — парамагнитные 2807, 2814, 2828
 — диамагнитные 2807, 2815, 2829
 Пространство, его магнитные свойства 2400, 2787
 Прямоугольники и кольца вращающиеся 3192, 3212

 Раздробление, его влияние на магнетизм стр. 638
 Распределение силы магнита 3305
 Расстояний разность для различных тел стр. 691

 Св. Елена, вариации магнитного поля Земли 3045, 3069, таблицы
 Свет, влияние магнетизма на него стр. 626
 — — путем повторных отражений стр. 627
 — влияние магнитов на него 2146, 2152, 2157, стр. 626
 — влияние электричества на него 2189, 2221
 — магнитное вращение его 2428
 — — в газах стр. 673
 — — роль времени стр. 643
 — намагничивание его 2146, 2221
 — электричество и магнетизм, случай отсутствия взаимотношения между ними 2216
 Сила, магнитные линии сил 3300
 — необходимость ее сохранения 3326, стр. 777
 — рассматриваемая с точки зрения физики стр. 775
 — тяготения 3245, стр. 776
 Сила тяготения, возможное отношение ее к электричеству 2702, 2717
 — действие ее стр. 776
 — рассуждения стр. 776
 — силовые линии ее 3245
 — убеждение Ньютона, 3305
 Силовые линии излучения 3247
 Силы, действующие на расстоянии 3245, стр. 776
 Силы природы, их единство 2702
 Сингапур, вариации магнитного поля Земли 3058, 3069, таблицы
 Скорость электричества в проводах стр. 704, 782
 — большие различия ее стр. 705, 785
 Соображения о физических мыслях сил 3244
 Соотношения естественных сил 2146, 2221, 2238
 Составные магниты, их состояние 3215, 3218
 Сохранение силы 3325
 С. Петербург, вариации магнитного поля Земли, 2915, 2968, таблицы, 3009
 Среда вокруг магнита 3278
 Среды магнитные 3313, 3337
 — магнитные соотношения их 3313, стр. 686
 — относительные магнитные действия их 2405, 2414, 3313
 Стальной кольцевой магнит 3334
 Стальной магнит противоположной полярности 3357
 — противоположный висмуту 3358, стр. 774

- Статическое состояние тел вообще 3318
- Стекло тяжелое 2151, 2176, 2214
- Сульфат железа, его магнитные свойства 2546, 2554, 2615
- Сурьма диамагнитная 2295
- Сурьма магнекристаллическая* 2508
- задерживаемое движение 2512, 2526
- явление отвлечения 2513, 2526
- Суточная вариация 2892, 2920
- Сфондилоид магнитной силы 3271, 3276
- Тела, их статическое магнитное состояние 3318
- Тела не изменяют своего объема под действием магнитной силы 2752
- Телеграфные провода изолированные* стр. 696, 781
- в воздухе стр. 699, 700, 702, 788
- подводные, заряженные электричеством стр. 696
- — индукция их стр. 701, 786
- — проводимость их стр. 699, 781
- подъемные стр. 701, 712, 781
- — заряд их стр. 701
- — индукция, направленная в сторону стр. 703, 785
- проводимость их стр. 701, 708, 785
- — — время прохождения стр. 701, 707, 781
- — — одновременные волны стр. 702
- Теплота, влияние ее на магнетизм азота* 2858
- кислорода 2861
- воздуха 2856, 2859, стр. 649, 667
- газов 2856, стр. 667
- углекислоты 2857
- Токи и заряды, их взаимозависимость стр. 695
- Торонто, вариация магнитного поля Земли 2905, 2948, 2968, таблицы, 3027
- Тяжелое стекло* 2151, 2176, 2214
- вращение света в нем 2152, 2171
- действие магнитов на него 2253, 2273
- отталкивание 2259, 2265, 2266
- экваториальная установка его 2253, 2264
- Углекислый газ, его магнитные свойства 2857
- Установка магнитов на восток и запад 2258, 2269, 2282
- Физические линии сил* 3243, стр. 607
- динамического электричества 3250, 3276
- излучения 3247
- магнитной силы 3243, 3251, 3300, стр. 607, 612, 694. См. Линии магнитной силы
- статического электричества 3249, 3264
- тяготения 3245, стр. 777.
- Физические свойства магнитных сил 3303
- Физические силы 3245, стр. 775
- Фитиль для электрических подрывных работ стр. 711
- Форт Симпсона, вариации магнитного поля Земли 2914, 2968, таблицы

- Фосфор*, диамагнитное вещество 2277, 2284
 — магнитная полярность его стр. 774
- Шаровой магнит**, прямой и обратный 3357, стр. 775
 Шарообразный магнит, его свойства 3331, 3357, стр. 775
- Шары металлические* около магнитов 3352, стр. 774
 — полярность висмута 3354
 — — железа 3353
 — — меди 3352
 — — твердого магнита 3357
 — — твердой стали 3355
- Шкала** стоградусная магнитных тел стр. 687
- Человек** диамагнитен 2281
- Экваториальное и аксиальное** 2252
- Электрическая индукция** стр. 695
- Электрические двойственности** стр. 610
- Электрические и магнитные силы**, их соотношение 3265
- Электрические линии сил** 2149, 3249, стр. 610
- Электрические применения гуттаперчи** стр. 678
- Электрические токи**, их действие на свет 2189, 2170
- Электрическое вращение света* 2189, 2195
 — в жидкостях 2201, 2183
 — — в железных трубах 2209
 — закон его 2199
 — в различных телах 2211
 — в телах с естественным вращением 2204
- Электричество*, естественный эталон стр. 642
 его возможное отношение к — тяготению 2702, 2717
 скорость его проводимости — стр. 704, 782
- Электричество, свет и магнетизм**, случаи их независимости 2216
- Электромагнит* большой 2247
 — Вульвичский 2246
- Электротоническое состояние** 3172, 3269
- Эталон электричества** стр. 642
- Ядра материи** стр. 621

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	7
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ	
Девятнадцатая серия (п.п. 2146—2242)	
<i>Раздел 26.</i> О намагничивании света и об освещении магнитных силовых линий	11
Глава I. Действие магнитов на свет	11
Глава II. Действие электрических токов на свет	25
Глава III. Общие соображения	35
Двадцатая серия (п.п. 2243—2342)	
<i>Раздел 27.</i> О новых магнитных действиях и о магнитном состоянии всякого вещества	45
Глава I. Необходимые приборы	47
Глава II. Действие магнитов на тяжелое стекло	50
Глава III. Действие магнитов на другие вещества, оказывающие магнитное действие на свет	55
Глава IV. Действие магнитов на металлы вообще	61
Двадцать первая серия (п.п. 2343—2453)	
<i>Раздел 27.</i> О новых магнитных действиях и о магнитном состоянии всякого вещества (продолжение)	81
Глава V. Действие магнитов на магнитные металлы и их соединения	81
Глава VI. Действие магнитов на воздух и газы	97
Глава VII. Общие соображения	101

Двадцать вторая серия (п.п. 2454—2639)

<i>Раздел 28.</i> О кристаллической полярности висмута и других тел и ее отношении к магнитной форме силы	119
Глава I. Кристаллическая полярность висмута	120
Глава II. Кристаллическая полярность сурьмы	140
Глава III. Кристаллическая полярность мышьяка	149
Глава IV. Кристаллическое состояние различных тел	150
Глава V. О природе магнекристаллической силы и общие со- ображения	157
Глава VI. О положении кристалла сульфата железа в маг- нитном поле	183

Двадцать третья серия (п.п. 2640—2701)

<i>Раздел 29.</i> О полярном или ином состоянии диамагнитных тел	192
--	-----

Двадцать четвертая серия (п.п. 2702—2717)

<i>Раздел 30.</i> О возможной связи между тяготением и электричеством	224
---	-----

Двадцать пятая серия (п.п. 2718—2796)

<i>Раздел 31.</i> О магнитном и диамагнитном состоянии тел	234
Глава I. Газообразные тела под влиянием магнитной силы не расширяются	234
Глава II. Разностное магнитное действие	253
Глава III. Магнитные свойства кислорода, азота и пустоты	259

Двадцать шестая серия (п.п. 2797—2968)

<i>Раздел 32.</i> Способность проводить магнетизм	278
Глава I. Магнитная проводимость	276
Глава II. Полярность проводимости	286
Глава III. Магнекристаллическая проводимость	296
<i>Раздел 33.</i> Атмосферный магнетизм	301
Глава I. Общие принципы	301

Двадцать седьмая серия (п.п. 2969—3089)

<i>Раздел 33.</i> Об атмосферном магнетизме (продолжение)	379
Глава II. Экспериментальное исследование законов магнит- ного действия атмосферы и их применение к отдель- ным случаям	379
Доклад об атмосферном магнетизме	450

Двадцать восьмая серия (п.п. 3070—3176)

- Раздел 34.* О магнитных силовых линиях, определенность их характера и их распределение в магните и в окружающем пространстве 457

Двадцать девятая серия (п.п. 3177—3242)

- Раздел 35.* О применении индукционного магнитоэлектрического тока для обнаружения и измерения магнитной силы 514
 Глава I. Гальванометр 515
 Глава II. Вращающиеся прямоугольники и кольца 523
Раздел 36. О величине и общем распределении сил магнита при соединении его с другими магнитами 541
Раздел 37. Изображение магнитных силовых линий с помощью железных опилок 550

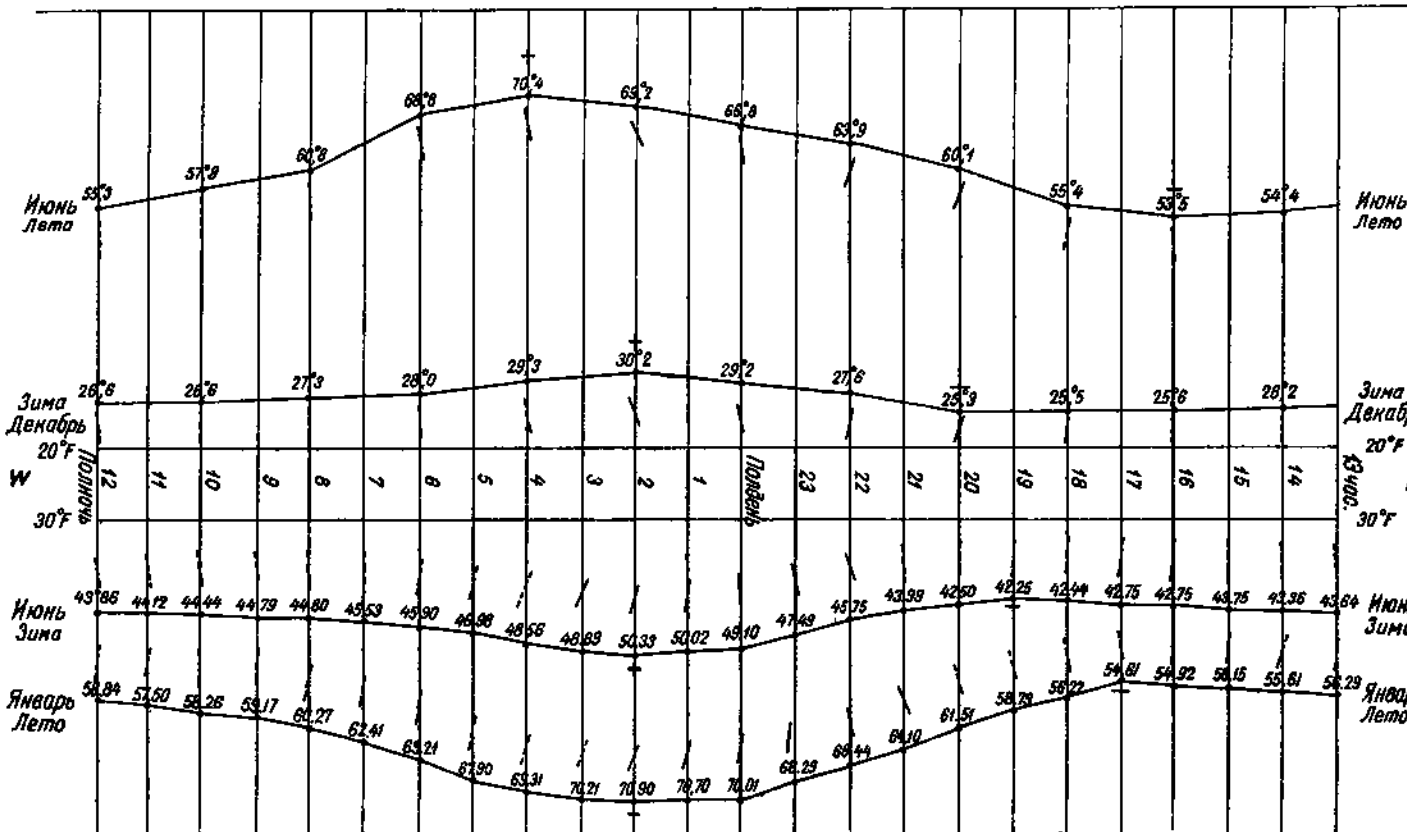
СТАТЬИ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

- О линиях магнитной силы 559
 О физическом характере линий магнитной силы 564
 О физических линиях магнитной силы 607
 О магнитных соотношениях и свойствах металлов 615
 Мысли о лучевых колебаниях 618
 О влиянии магнетизма на свет и о различии между ферромагнитным и диамагнитным состояниями материи 626
 О диамагнитных свойствах пламени и газов 644
 О движениях, обнаруживаемых пламенем под влиянием электромагнетизма (*проф. Дантедески*) 674
 О применении гуттаперчи для электрической изоляции 678
 Соображение о магнитной силе 682
 Об электрической индукции — случаи одновременного влияния токов и зарядов 695
 О подземных проводах электротелеграфа 712
 Гипотезы о магнетизме 715
 О некоторых вопросах учения о магнетизме 719
 О некоторых вопросах учения о магнетизме и о природе сил 770
 Дальнейшие соображения об одновременных динамических и статических действиях в явлениях электрической индукции 781

ПРИЛОЖЕНИЯ

- О третьем томе «Экспериментальных исследований по электричеству»
 М. Фарадея. Я. Г. Дорфман 791
 Примечания редакторов 797
 Именной указатель 813
 Предметный указатель 815

Рис. 208
 Сев шир. $43^{\circ}39'35''N$ Торонто Зап. долг. $79^{\circ}21'30''W$



Южн. шир. $42^{\circ}52.5'S$ Гобартон Вост. долг. $147^{\circ}25.5'E$
 Рис. 206

Таблица I.
 Рис. 206 и 208.

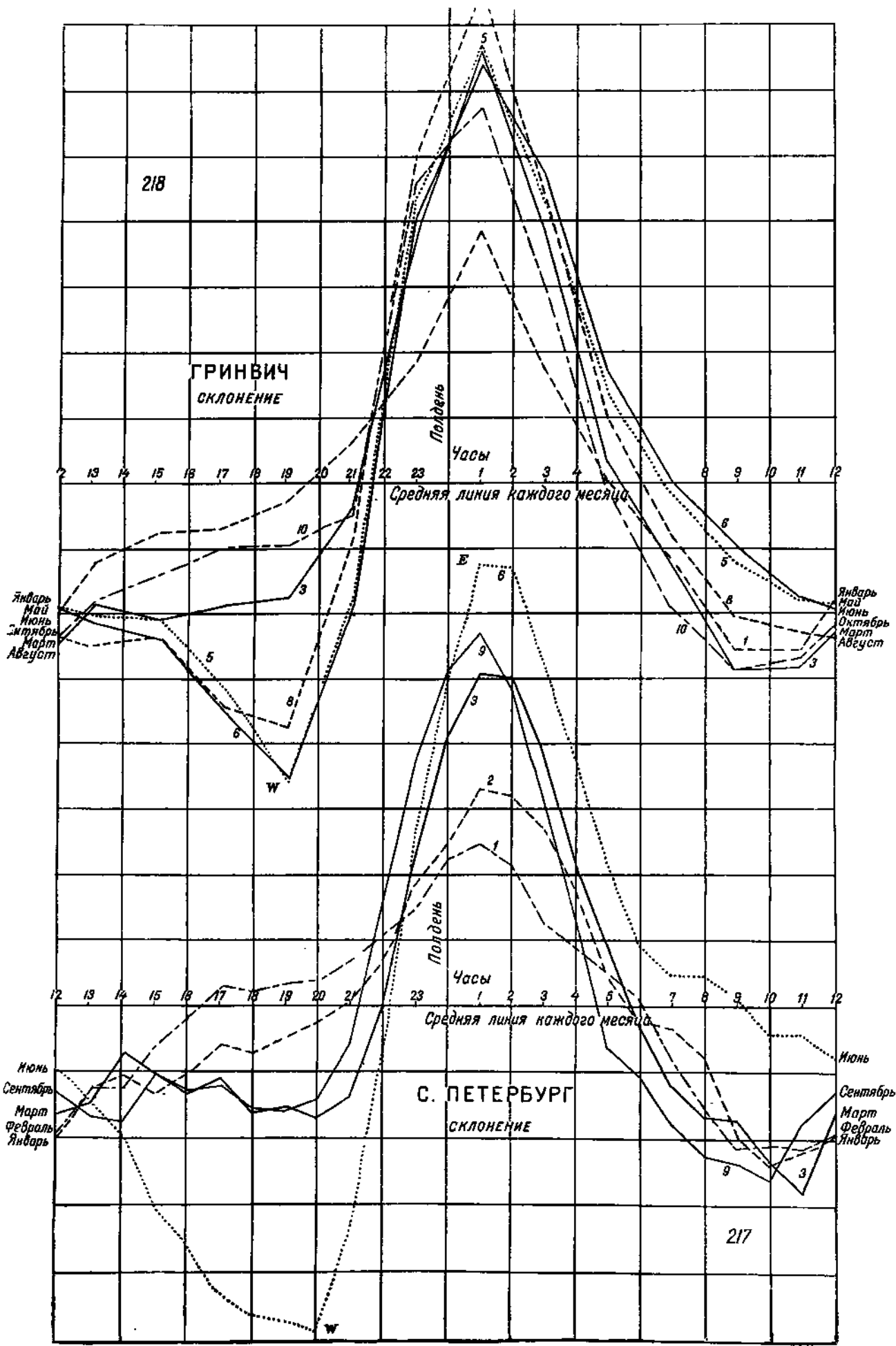


Таблица II.
Рис. 217 и 218.

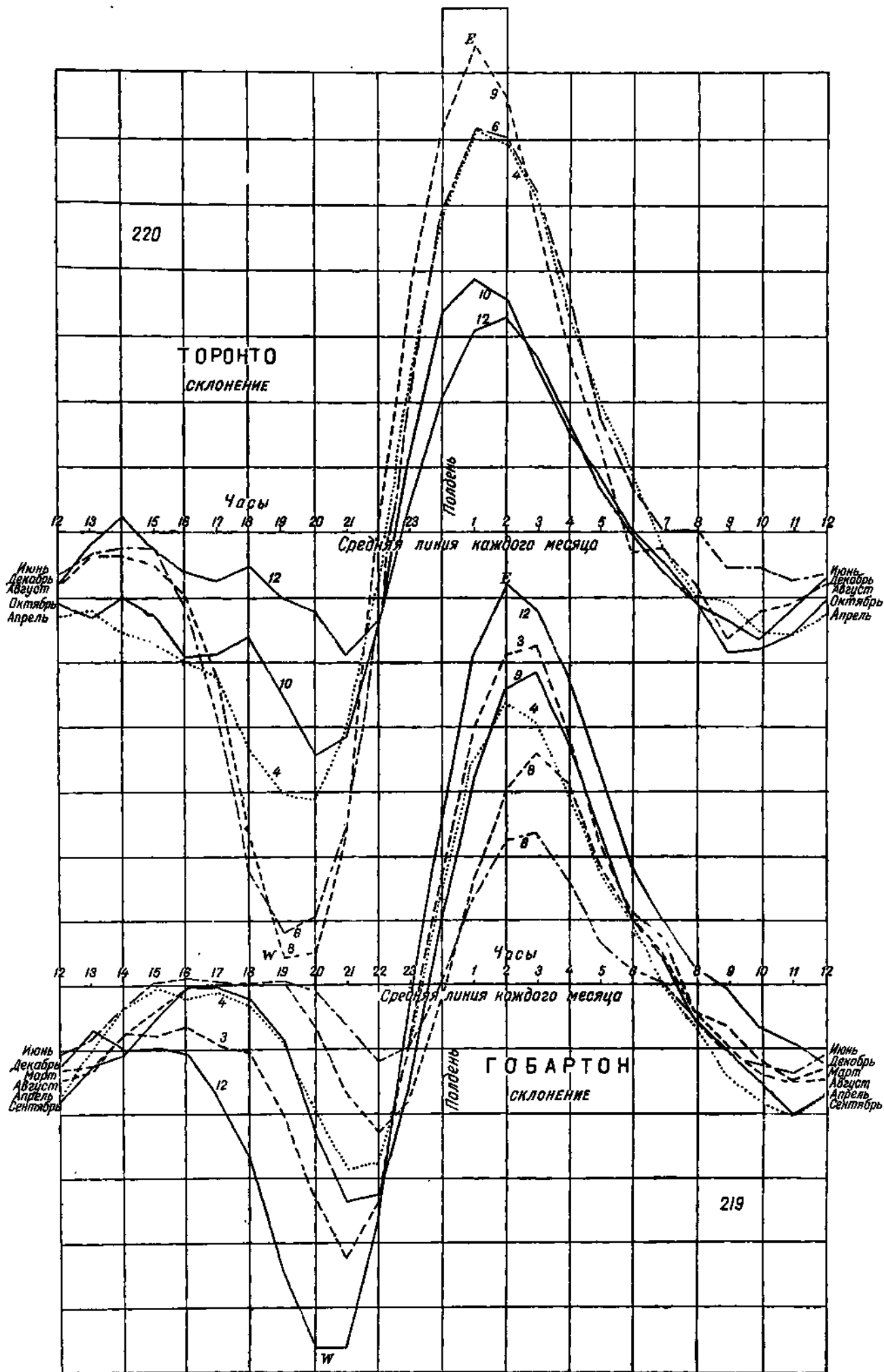


Таблица III.
Рис. 219 и 220.

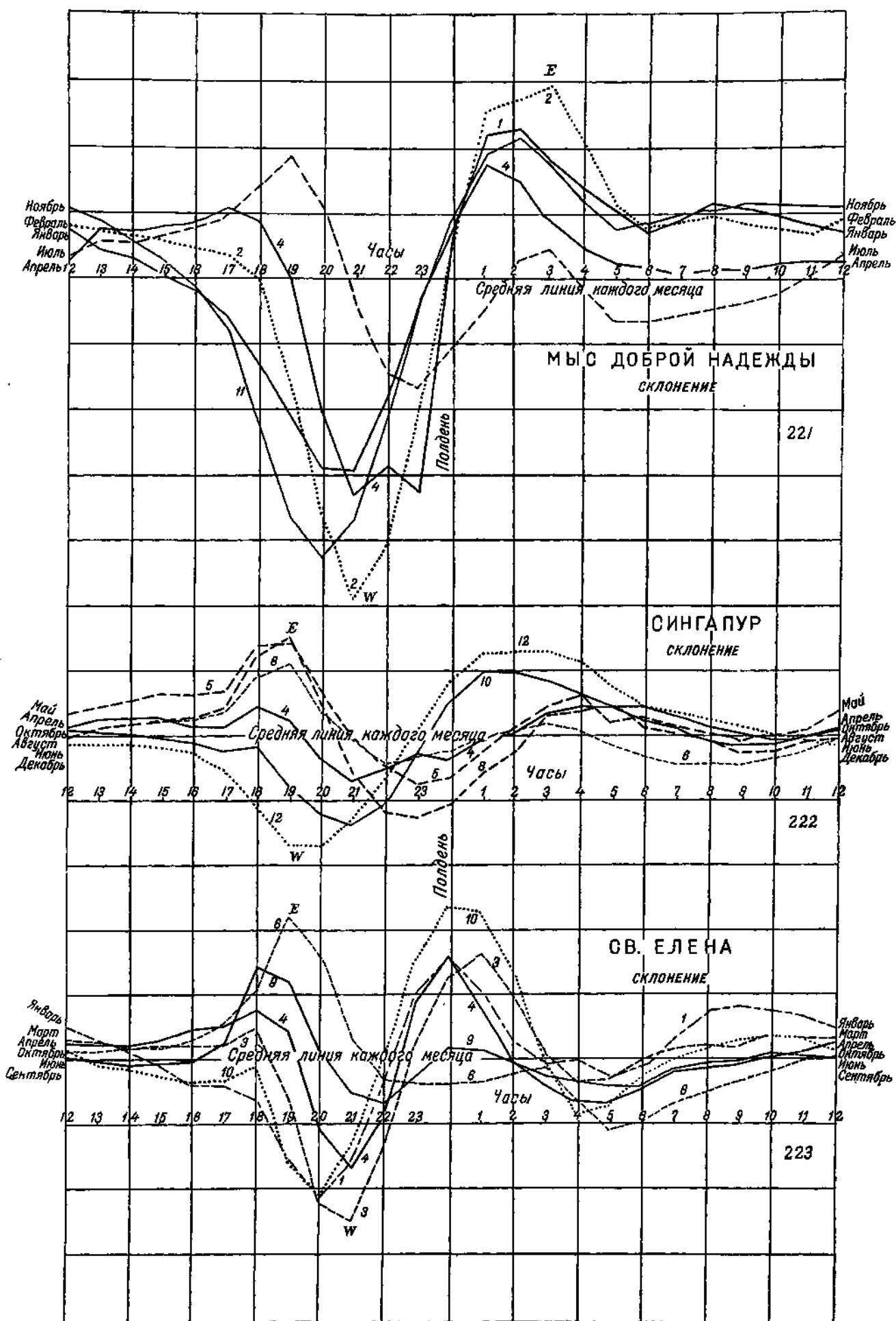


Таблица IV.
Рис. 221—223.

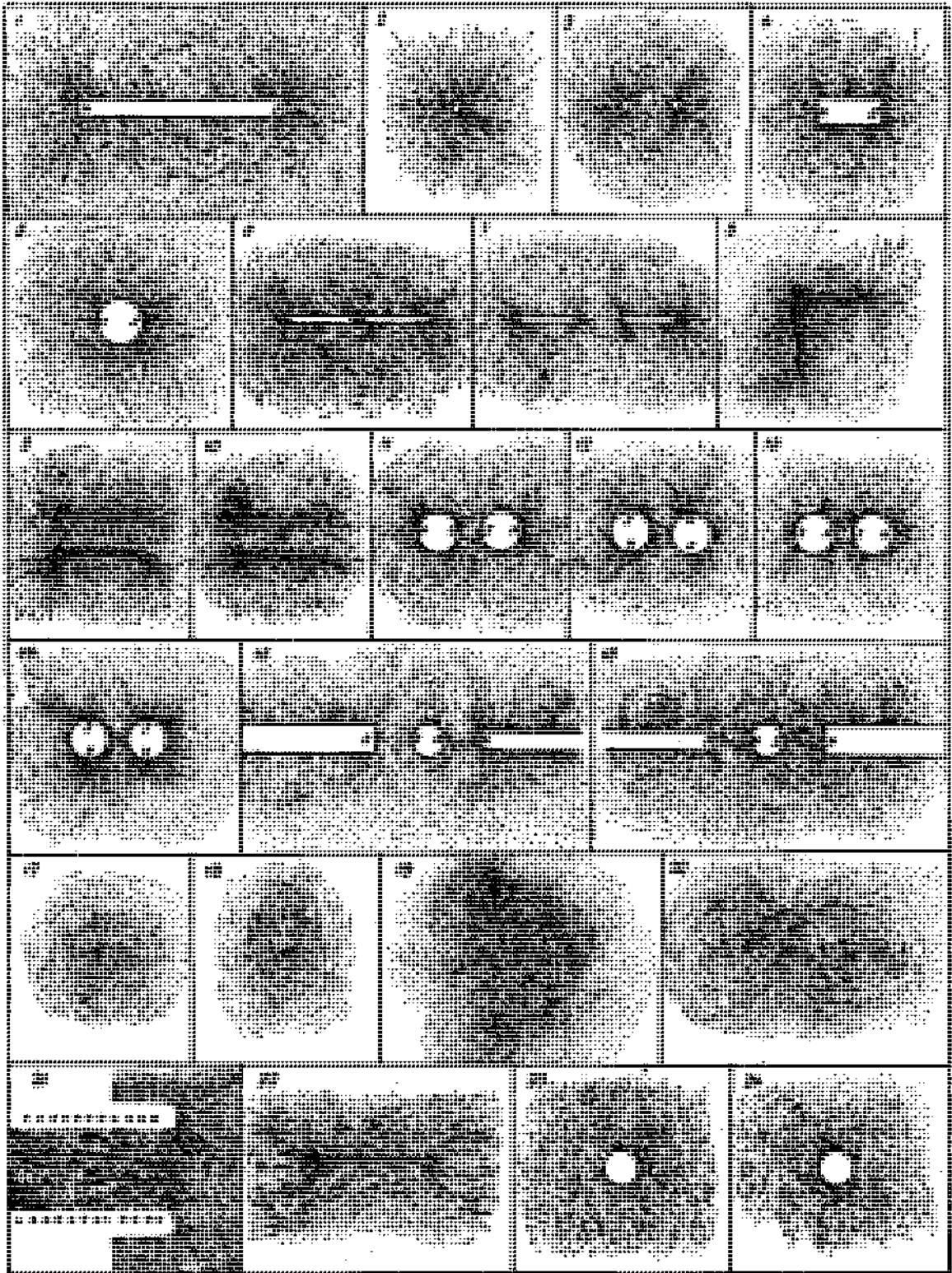


Таблица V (1-24).

МИХАИЛ ФАРАДЕЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

•
Утверждено к печати
Редакцией серии «Классики науки»
Академии наук СССР

•
Редакторы издательства *Я. А. Бройтман* и *Л. С. Сазонов*
Технический редактор *А. В. Смирнова*
Корректоры *Н. П. Исаева*, *Ф. Я. Петрова* и *А. А. Родионова*

Сдано в набор 16/X 1958 г. Подписано к
печати 10/I 1959 г. РИСО АН СССР
№ 7—103В. Формат бумаги 70 × 92¹/₁₆.
Бум. л. 26. Печ л. 52 = 60,8⁴/₄ усл. печ л. + 5
вкл. Уч.-изд. л. 41,5 + 5 вкл. (0,65)
Изд. № 575. Тип. зак. № 831.
Тираж 2500. Цена 31 р. 80 к.

Ленинградское отделение Издательства АН СССР
Ленинград, В-164. Менделеевская лин., д. 1

1-я тип. Издательства Академии наук СССР
Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12