



АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

~ КЛАССИКИ НАУКИ ~

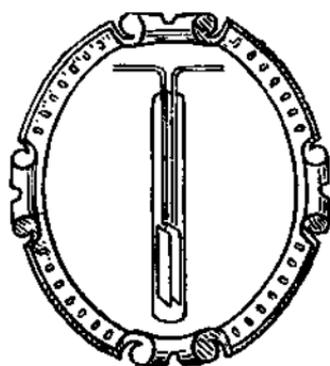


МИХАИЛ ФАРАДЕЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

ТОМ III

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
В. С. ГОХМАНА и Т. Н. КЛАДО

КОММЕНТАРИИ И РЕДАКЦИЯ
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АКАДЕМИИ НАУК СССР
ПРОФ. **Т. П. КРАВЦА**
и проф. Я. Г. ДОРФМАНА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

1 9 5 9

СЕРИЯ «КЛАССИКИ НАУКИ»

Основана академиком *С. И. В а с и л о в ы м*

Редакционная коллегия: академик *И. Г. Петровский* (председатель), академик *Н. Н. Андреев*, академик *Р. М. Быков*, академик *В. А. Кавачский*, академик *О. Ю. Шмидт*, академик *Д. И. Щербатов*, академик *П. Ф. Юдин*, член-корреспондент АН СССР *В. Н. Делоне*, член-корреспондент АН СССР *Х. С. Коштолниц*, член-корреспондент АН СССР *А. М. Самарин*, профессор *Д. М. Лебедев*, профессор *Н. А. Фигуровский*, кандидат философских наук *И. В. Кузнецов* (заместитель председателя).



ПРЕДИСЛОВИЕ



По соображениям, изложенным в первом томе настоящих исследований, я решил собрать воедино остальные серии и прибавить к ним некоторые другие работы, посвященные исследованиям по электричеству и магнетизму.

К вступительным замечаниям, содержащим указанные выше соображения, я отсылаю тех лиц, которые почтут своим вниманием и настоящие «Исследования». Как и раньше, я в настоящем томе напечатал статьи с незначительными изменениями или же без всяких изменений, за исключением того, что на первой странице каждой статьи я поместил правильную и точную дату последней.

Что касается магнекристаллического действия, изложение которого начинается в параграфе 2454, то читатель усмотрит, как постепенно изменялись и расширялись мои воззрения на его природу за время пространных исследований; это видно из нп. 2550, 2562, 2576, 2584 и дальше, 2591, 2639, 2797, 2818, 2836 и дальше. Отсылаю читателей к работе Тиндала (Tyndall) и Кноблауха (Knoblauch) в *Philosophical Magazine*, 1850, т. XXXVII, стр. 1, где они найдут настоящее научное изложение физической причины магнекристаллического действия,¹

¹ Маршан (Marchand) и Шеерер (Scheerer) сообщают, что висмут под давлением расширяется и структура его меняется. *Gmelin's Handbuch*, IV, стр. 428.

а также к работе профессора У. Томсона (W. Thomson) в *Philosophical Magazine*, 1851, т. I, стр. 177, о теории магнитной индукции в кристаллических и некристаллических веществах; эта статья во всех своих частях находится в совершенном согласии с различными одновременно мною полученными результатами.

В пп. 2967 и 3242 я высказывал намерение произвести опыты с кислородом при низких температурах; я пытался осуществить эти намерения, но ясно, насколько трудно проводить работы со столь разреженным веществом, как газы, при низких температурах, не создавая при этом воздушных течений, способных повлиять на крутильные весы и на прибор, необходимый для измерения полученных результатов; эта трудность столь велика, что до сих пор мне еще не удалось получить какие-нибудь заслуживающие доверия результаты.

Я чрезвычайно обязан Королевскому обществу и издателям *Philosophical Magazine* за большую любезность, оказанную мне сужением клише и т. п., а также за разные другие льготы, предоставленные мне при печатании настоящего тома.

Ввиду того, что указатель относится как к «Экспериментальным исследованиям», так и к другим работам, то по необходимости ссылки в нем производятся двумя различными способами: для «Исследований», как и раньше, ссылки делаются на номера параграфов, и их легко узнать по большой величине соответствующих чисел. Остальные ссылки делаются на страницы, и так как им всюду предшествует слово *стр.*, то их легко узнать по этому признаку.

Михаил Фарадей.

Январь 1855

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ**



ДЕВЯТНАДЦАТАЯ СЕРИЯ¹

*Раздел 26. О намагничивании света и об освещении магнитных силовых линий.*² Глава I. Действие магнитов на свет. Глава II. Действие электрических токов на свет. Глава III. Общие соображения.

Поступило 6 ноября. Доложено 20 ноября 1845 г.

РАЗДЕЛ 26

О намагничивании света и об освещении магнитных силовых линий

ГЛАВА I

Действие магнитов на свет

2146. Я давно уже придерживался мнения — и оно почти достигло степени убеждения, — и того же мнения, как, мне думается, придерживаются многие другие любители естествознания, а именно, что различные формы, в которых проявляются силы материи, имеют общее происхождение или, дру-

¹ Philosophical Transactions, 1846, стр. 1.

² Заголовок настоящей статьи ввел, как я вижу, многих в заблуждение относительно ее содержания; поэтому я беру на себя смелость приложить настоящее пояснительное примечание. Я не принимаю и не отвергаю гипотезы об эфире, или корпускулярной гипотезы, или какого-либо иного воззрения, которое может быть предложено относительно природы света; насколько я усматриваю, о луче света в действительности нам известно не больше, чем о линии магнитной или электрической силы или даже о линии силы тяготения, за исключением того, что как первый, так и последние проявляются в веществах и при посредстве последних. Я полагаю, однако, что в опытах, описываемых мною в настоящей статье; свет

гими словами, настолько близко родственны друг другу и взаимно зависимы, что они могут как бы превращаться друг в друга и обладают в своем действии эквивалентами силы.¹ В новейшее время доказательства их взаимной превращаемости в весьма заметной степени умножились и положено начало определению их эквивалентных сил.

2147. Это твердое убеждение распространялось и на силы света и побудило (меня) раньше произвести много изысканий, имевших целью открыть прямую связь между светом и электричеством и их взаимодействие в телах, подвергаемых их совместным силам.² Однако результаты этих изысканий оказались отрицательными и были впоследствии в этом смысле подтверждены Вартманом.³

2148. Эти безуспешные изыскания, а также многие другие, которые остались неопубликованными, не могли поколебать моего твердого убеждения, основанного на научных соображениях. Поэтому я недавно возобновил экспериментальное испытание на себе магнитное действие, т. е. что магнитному действию подвергалось то, что является магнитным в силах материя, а последнее, в свою очередь, воздействовало на то, что является подлинно магнитным в силе света. В термин «магнитный» я включаю здесь любое из особых проявлений силы магнита, независимо от того, как оно обнаруживается: в магнитной или диамагнитной группе тел. Выражение «освещение магнитных силовых линий» было понято в том смысле, будто я сделал их светящимися. Я не имел этого в виду. Я хотел только сказать, что магнитная силовая линия была освещена подобно тому, как Земля освещается Солнцем или как паутинная нить освещается лампой астронома. С помощью луча света мы можем *простым* *глазам* указать направление магнитных линий в теле, а по изменению луча и его оптического действия на глаз мы можем видеть ход этих линий совершенно так же, как мы можем видеть ход стеклянной нити или нити какого-либо другого прозрачного вещества, которая стала видимой благодаря свету. Это именно я и понимал под «освещением», как это в полной мере явствует из самой статьи. 15 декабря 1845 г. — М. Ф.

¹ Экспериментальные исследования, 57, 366, 376, 877, 961, 2071.

² Philosophical Transactions, 1834; Экспериментальные исследования, 951—955.

³ Archives de l'Electricité, II, стр. 598—600.

следование на очень точных и строгих началах, и в конце концов мне удалось намагнитить и наэлектризовать луч света и осветить магнитную силовую линию. Эти результаты, не входя в детали многих неудавшихся опытов, я изложу здесь возможно кратко и ясно.

2149. Раньше, однако, чем перейти к этому, я укажу, какой смысл я придаю известным терминам, которыми мне придется пользоваться. Под *линией магнитной силы*, или *магнитной силовой линией*, или *магнитной кривой*, я подразумеваю те проявления магнитной силы, которые обнаруживаются в линиях, обычно называемых магнитными кривыми; последние либо существуют в виде линий, идущих от магнитных полюсов или к последним, либо образуют концентрические круги вокруг электрического тока. Под *линией электрической силы* я подразумеваю силу, проявляющуюся в линиях, которые соединяют два тела, действующих друг на друга согласно началам статической электрической индукции (1161 и т. д.); эти линии точно так же могут быть либо кривыми, либо прямыми. Под *диамагнитным* я подразумеваю тело, через которое проходят линии магнитной силы и которое под их действием не принимает обычного магнитного состояния железа или магнитного железняка.

2150. Луч света, исходящий от Аргандовой лампы, был поляризован в горизонтальной плоскости путем отражения от стекляннной поверхности, и поляризованный луч проходил через Николев окуляр, который для удобства исследования света мог вращаться вокруг горизонтальной оси. Между поляризующим зеркалом и окуляром были установлены два сильных электромагнитных полюса; это были либо полюсы подковообразного магнита, либо противоположные полюсы двух цилиндрических магнитов. Они находились друг от друга на расстоянии около 2 дюймов по направлению луча и были расположены таким образом, что когда они находились на одной и той же стороне поляризованного луча, то последний мог проходить вблизи них, а когда находились на противо-

гает той же величины, что и раньше. Для одной и той же *магнитной силовой линии* (2149) направление всегда остается одинаковым.

2156. Если помещать диамагнитное тело в различные другие положения, какие легко можно себе вообразить, вблизи магнитных полюсов, то результаты получаются более или менее заметными по величине и очень определенными по характеру; но описанные только что явления можно рассматривать как главный их пример; в дальнейшем в случае необходимости мы будем на них ссылаться.

2157. Те же явления были получены в боросиликатном свинцовом стекле (2151) с помощью хорошего обыкновенного стального подковообразного магнита; в этом случае мы совершенно не прибегали к электрическому току. Результаты оказались слабыми, но все-таки достаточными для того, чтобы показать совершенную тождественность действия электромагнитов и обыкновенных магнитов в этом их влиянии на свет.

2158. Я заставил два магнитных полюса работать только концами, т. е. сердечники электромагнитов представляли собою полные железные цилиндры, и луч поляризованного света проходил вдоль их осей и через помещенное между ними диамагнитное тело. Действие получилось такое же.

2159. Был взят лишь один магнитный полюс, а именно один край мощного цилиндрического электромагнита. Когда тяжелое стекло находилось позади магнита, очень близко к последнему, но между магнитом и поляризующим рефлектором, то вращение происходило в одном направлении, которое зависело от природы полюса. Но когда диамагнитное тело находилось по эту сторону от магнита, очень близко к нему, но между магнитом и глазом, то вращение при том же полюсе происходило в направлении, противоположном тому, каким оно было раньше; а когда магнитный полюс менялся, то вместе с ним изменялись и оба эти направления. Когда тяжелое стекло находилось в соответствующем положении по отношению к полюсу, но над последним или же под ним, так что *магнитные кривые* про-

ходили через стекло уже не параллельно лучу поляризованного света, а скорее перпендикулярно к последнему, то не получалось никакого действия. Указанные частные случаи можно понять с помощью рис. 175, на котором a и b представляют собою первые положения диамагнитного тела, а c и d — последующие его положения, причем ход луча изображен пунктиром. А если стекло установить прямо перед концом магнита, то в этом случае не получается никакого действия на луч, проходящий в описанном здесь направлении, хотя из того, что было сказано раньше (2155), ясно, что луч, который проходил бы через поставленное вышеуказанным образом стекло параллельно магнитным линиям, испытал бы на себе действие магнита.

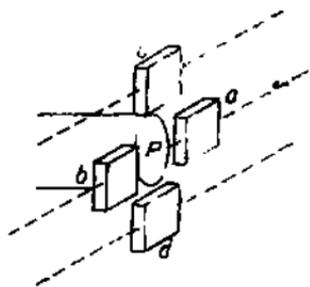


Рис. 175.

2160. Таким образом, магнитные линии, проходя через боросиликатное свинцовое стекло и через большое количество других веществ (2173), выказывают в них способность действовать на поляризованный луч света, когда эти линии параллельны лучу, или в той мере, в какой они ему параллельны. Когда они перпендикулярны к лучу, то они на него совершенно не действуют. Они сообщают диамагнитным телам способность вращать этот луч, и закон этого действия на луч заключается в том, что когда магнитная силовая линия *уходит* (от нас) из северного полюса, или *идет* (к нам) от южного полюса, вдоль пути поляризованного луча, идущего к наблюдателю, то она вращает этот луч вправо, а когда подобная силовая линия идет (к нам) от северного полюса, или *уходит* (от нас) из южного полюса, то она вращает такой луч влево.

2161. Если пробку или стеклянный цилиндр, представляющий собой диамагнитное тело, пометить на концах буквами N и S , чтобы этим указать полюсы магнита, то линию, соединяющую эти буквы, можно рассматривать как магнитную силовую

линию. Можно, далее, провести вокруг цилиндра линию со стрелкой для указания направления (как на рис. 176); если такую простую модель держать перед глазами, она выразит весь этот закон и покажет любое положение и вытекающий из него вывод о направлении. Если в качестве диамагнитного тела рассматривать часы, причем вообразить себе, что северный полюс магнита обращен к лицевой стороне часов, а южный полюс — к задней их стороне, то движение стрелки укажет направление вращения, которому следует луч света при его намагничивании.

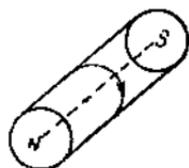


Рис. 176.

2162. Я перейду теперь к различным обстоятельствам которые влияют на область и на природу этой новой силы воздействия на свет, которые их ограничивают и определяют.

2163. Прежде всего вращение, по-видимому, соразмерно протяжению диамагнитного тела, через которое проходят луч и магнитные линии. Я поддерживал постоянными силу магнита и расстояние между полюсами и затем помещал между полюсами различные куски того же тяжелого стекла (2151). Чем большим было протяжение диамагнитного тела по линии луча — все равно, было оно в одном, двух или трех кусках, — тем больше было вращение луча, и насколько я мог судить на основании этих первых опытов, величина вращения была в точности пропорциональна протяжению диамагнитного тела, через которое проходил луч. Никакое прибавление или убавление тяжелого стекла *сбоку* от хода луча не вызывало никакого изменения действия той части стекла, через которую луч проходил.

2164. Способность вращать световой луч *увеличивалась* вместо с интенсивностью магнитных силовых линий. Это общее правило легко установить, пользуясь электромагнитами. В тех пределах мощности, которые были в моем распоряжении, она представляется прямо пропорциональной интенсивности магнитной силы.

2165. Помимо тяжелого стекла, той же способностью действовать на свет под влиянием магнитной силы обладают другие тела (2173). В тех случаях, когда эти тела сами по себе обладают вращательной способностью (таковы, например, терпентинное масло, сахар, винная кислота, соли винной кислоты и др.), действие магнитных сил следует прибавить к их удельной силе или вычесть из нее в соответствии с тем, куда будет направлено естественное вращение и вращение, вызываемое магнетизмом: вправо или влево (2231).

2166. Я не мог установить, чтобы на эту способность влияло какое бы то ни было движение, которое я был в состоянии сообщить диамагнитному телу, когда последнее подвергалось одновременному действию магнетизма и света.

2167. Помещение меди, свинца, олова, серебра и других обыкновенных немагнитных тел на пути магнитных кривых как между полюсами и диамагнитным телом, так и в других местах, не оказывало на эти явления никакого влияния как с качественной точки зрения, так и с точки зрения силы действия.

2168. Железо зачастую влияло на эти результаты в очень значительной степени, но это, по-видимому, всегда происходило либо вследствие того, что оно изменяло направление магнитных линий, либо вследствие того, что оно сосредоточивало их силу в себе самом. Так, например, когда оба противоположных полюса находились по одну сторону от поляризованного луча (2150), а тяжелое стекло находилось в наиболее благоприятном своем положении между ними и лучом света (2152), то приближение большого куска железа к стеклу по другую сторону от луча вызывало ослабление способности диамагнитного тела. Это происходило вследствие того, что некоторые линии магнитной силы, которые первоначально проходили через стекло параллельно лучу, теперь стали пересекать стекло и луч: железо дало два противоположных полюса, направленных противоположно полюсам магнита, и таким образом оно определяло для известной части магнитной

линию. Можно, далее, провести вокруг цилиндра линию со стрелкой для указания направления (как на рис. 176); если такую простую модель держать перед глазами, она выразит весь этот закон и покажет любое положение и вытекающий из него вывод о направлении. Если в качестве диамагнитного тела рассматривать часы, причем вообразить себе, что северный полюс магнита обращен к лицевой стороне часов, а южный полюс — к задней их стороне, то движение стрелки укажет направление вращения, которому следует луч света при его намагничивании.

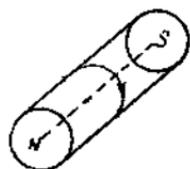


Рис. 176.

2162. Я перейду теперь к различным обстоятельствам которые влияют на область и на природу этой новой силы воздействия на свет, которые их ограничивают и определяют.

2163. Прежде всего вращение, по-видимому, соразмерно протяжению диамагнитного тела, через которое проходит луч и магнитные линии. Я поддерживал постоянными силу магнита и расстояние между полюсами и затем помещал между полюсами различные куски того же тяжелого стекла (2151). Чем большим было протяжение диамагнитного тела по линии луча — все равно, было оно в одном, двух или трех кусках, — тем больше было вращение луча, и насколько я мог судить на основании этих первых опытов, величина вращения была в точности пропорциональна протяжению диамагнитного тела, через которое проходил луч. Никакое прибавление или убавление тяжелого стекла *сбоку* от хода луча не вызывало никакого изменения действия той части стекла, через которую луч проходил.

2164. Способность вращать световой луч *увеличивалась* вместе с интенсивностью магнитных силовых линий. Это общее правило легко установить, пользуясь электромагнитами. В тех пределах мощности, которые были в моем распоряжении, она представляется прямо пропорциональной интенсивности магнитной силы.

2165. Помимо тяжелого стекла, той же способностью действовать на свет под влиянием магнитной силы обладают другие тела (2173). В тех случаях, когда эти тела сами по себе обладают вращательной способностью (таковы, например, терпентинное масло, сахар, винная кислота, соли винной кислоты и др.), действие магнитных сил следует прибавить к их удельной силе или вычесть из нее в соответствии с тем, куда будет направлено естественное вращение и вращение, вызываемое магнетизмом: вправо или влево (2231).

2166. Я не мог установить, чтобы на эту способность влияло какое бы то ни было движение, которое я был в состоянии сообщить диамагнитному телу, когда последнее подвергалось одновременному действию магнетизма и света.

2167. Помещение меди, свинца, олова, серебра и других обыкновенных немагнитных тел на пути магнитных кривых как между полюсами и диамагнитным телом, так и в других местах, не оказывало на эти явления никакого влияния как с качественной точки зрения, так и с точки зрения силы действия.

2168. Железо зачастую влияло на эти результаты в очень значительной степени, но это, по-видимому, всегда происходило либо вследствие того, что оно изменяло направление магнитных линий, либо вследствие того, что оно сосредоточивало их силу в себе самом. Так, например, когда оба противоположных полюса находились по одну сторону от поляризованного луча (2150), а тяжелое стекло находилось в наиболее благоприятном своем положении между ними и лучом света (2152), то приближение большого куска железа к стеклу по другую сторону от луча вызывало ослабление способности диамагнитного тела. Это происходило вследствие того, что некоторые линии магнитной силы, которые первоначально проходили через стекло параллельно лучу, теперь стали пересекать стекло и луч: железо дало два противоположных полюса, направленных противоположно полюсам магнита, и таким образом оно определяло для известной части магнитной

силы новое направление, и притом поперек поляризованного луча.

2169. Но если поместить железо не на противоположной стороне стекла, а на той же стороне, что и магнит, поблизости от последнего или же в соприкосновении с последним, то способность диамагнитного тела снова ослабевала просто вследствие того, что сила магнита отклонялась от него в новом направлении. Эти действия в очень сильной мере зависят, конечно, от интенсивности и мощности магнита и от размеров и мягкости железа.

2170. Электрокатушки (2190) без железных сердечников оказались очень слабыми по своей мощности и вызывали едва заметное действие. С железными сердечниками они оказались весьма мощными, хотя по их виткам проходило тогда не больше электричества, чем раньше (1071). Последнее весьма простым образом указывает на то, что явления, представляемые при этих обстоятельствах светом, непосредственно связаны с магнитной формой силы, которую дает установка. На то же указывает и другое явление. Когда замыкают контакт гальванической батареи и пропускают ток вокруг электромагнита, то вызываемое вращением поляризованного луча изображение не появляется сразу в полной своей яркости, а нарастает в течение одной-двух секунд, постепенно достигая наибольшей своей интенсивности; при размыкании же контакта оно убывает в один миг и, по-видимому, исчезает сразу. Постепенное нарастание яркости связано со *временем*, какое необходимо для того, чтобы железный сердечник магнита развил всю магнитную силу, которую может вызвать в нем электрический ток; и по мере того, как магнетизм нарастает по своей интенсивности, усиливается и его действие на свет. Отсюда — постепенное увеличение вращения.

2171. До сих пор я не мог установить, чтобы тяжелое стекло (2151), находясь в указанном выше состоянии, т. е. когда через него проходят магнитные линии сил, обнаруживало какую-либо повышенную степень магнита-индуктивного

действия установленного вида, или вообще обладало этим свойством. Я помещал его в больших количествах и в различных положениях между магнитами и магнитными стрелками, имея одновременно в своем распоряжении очень чувствительные средства для выявления малейшего различия между ним и воздухом, по никакого различия мне установить не удалось.

2172. Применяя ноду, алкоголь, ртуть и другие жидкости, помещенные в очень больших чувствительных сосудах, устроенных в виде термометров, я не мог установить, чтобы их объем как-либо изменялся, когда через них проходили магнитные кривые.

2173. Теперь мне пора перейти к рассмотрению указанной способности действия магнетизма на свет не только в боросиликатном свинцовом стекле (2151), но и во многих других веществах. Здесь мы прежде всего отметим, что если все прозрачные тела обладают способностью проявлять это действие, то они обнаруживают ее в весьма различных степенях, и что до настоящего времени существуют еще такие тела, которые ее совершенно не проявили.

2174. Далее мы можем заметить, что тела, чрезвычайно отличающиеся друг от друга по своим химическим, физическим и механическим свойствам, одинаково проявляют указанное действие, ибо твердые и жидкие тела, кислоты, щелочи, масла, вода, алкоголь, эфир — все они обладают этой способностью.

2175. И, наконец, мы можем отметить, что во всех этих телах, хотя степень действия и может оказаться различной, все-таки это действие всегда одинаково по своему характеру, а именно, это — способность вращать луч света. И далее направление вращения во всех случаях не зависит от природы или состояния вещества, а зависит от направления магнитных силовых линий в соответствии с тем законом, который был изложен выше (2160).

2176. Среди веществ, у которых я установил эту способность, я уже особо отметил боросиликатное свинцовое стекло

(2151), как чрезвычайно пригодное для воспроизведения этих явлений. Я сожалею о том, что оно оказывается наилучшим, так как мало вероятно, чтобы многие им располагали, и редко кто возьмет на себя труд его изготовить. При изготовлении надо его как следует отжечь, так как в противном случае куски его приобретают значительную способность деполаризовать свет, и тогда детали рассматриваемых явлений гораздо меньше поддаются точному наблюдению. Но борнокислый свинец представляет собою гораздо более плавкое вещество, которое становится мягким при температуре кипящего масла и которое поэтому гораздо легче изготовить в виде стеклянных пластинок и отжечь; а оно обладает столь же большой магнитно-вращательной способностью по отношению к свету, как боросиликатное санниковое стекло. Флинтглас проявляет это же свойство, но в меньшей степени, чем вышеупомянутые вещества. Кронглас его обнаруживает, но в еще меньшей степени.

2177. Пользуясь в качестве диамагнитных веществ кристаллическими телами, я придавал им вообще такое положение, при котором они не влияли на поляризованный луч, а затем индуцировал через них магнитные кривые. В общем они, по-видимому, противятся тому, чтобы прийти во вращающее состояние.

Каменная соль и плавиковый шпат в слабой степени проявили признаки этой способности. Я думаю, что так же обстоит дело с кристаллом квасцов, но длина луча в прозрачной части его была столь невелика, что я не мог установить этот факт вне сомнения. Два образца прозрачного шпата, предоставленные мне г-ом Теннант, показали это действие.

2178. Горный хрусталь толщиной в 4 дюйма не показал действия на луч; никакого влияния не оказали меньшие кристаллы, равно как и кубики со сторонами примерно в три четверти дюйма, которые были вырезаны таким образом, что две их плоскости были перпендикулярны к оси кристалла (1692, 1693), хотя они были исследованы во всех направлениях.

2179. Исландский шпат не проявил никаких признаков действия ни в форме ромбоидов, ни в виде только что описанных кубов (1695).

2180. Сернокислый барий, сернокислый кальций и углекислый натрий оказались также не действующими на свет.

2181. Кусок прекрасного чистого льда не показал у меня никакого действия. Я не могу, однако, утверждать, что его не существует, так как действие равной массы воды было бы незначительным, а неправильности плоской поверхности льда, возникавшие вследствие таяния последнего и вследствие движения воды, очень сильно затрудняли наблюдение.

2182. С большим интересом и надеждой я ввел в магнитные линии листок золота, но не мог заметить никакого действия. Если принять во внимание крайне малую длину пути поляризованного луча в листке, едва ли можно было и ожидать положительного результата.

2183. При опытах с жидкостями очень хороший метод наблюдения их действия сводится к следующему. Их наливают в склянки от $1\frac{1}{2}$ до 3 или 4 дюймов в диаметре, ставят между магнитными полюсами (2150) и подвигают анализирующий окуляр настолько близко к склянке, чтобы после надлежащей регулировки цилиндрическая форма последней позволила дать расплывчатое, но пригодное изображение наблюдаемого через нее пламени лампы. Свет этого изображения легко отличить от того света, который благодаря неправильному преломлению проходит через неравномерности и деформации стекла, и явления, которые исследуются в этом свете, легко поддаются наблюдению.

2184. И вода, и спирт, и эфир показывают это действие: вода в наибольшей степени, спирт меньше, а эфир меньше всего. Все испытанные мною жирные масла, включая миндальное, касторовое, оливковое, маковое, льняное, спермацетовое, олеиновое из свиного жира и перегнанное смоляное масло, дают его. Равным образом его дают эфирные масла, терпен-

тинное, горького миндаля, лаванды, жасмина, гвоздики и лавра. Точно так же его дает различного рода нефть, расплавленный спермацет, расплавленная сера, двуххлористая сера и мышьяк и всякое другое жидкое вещество, которое я имел в своем распоряжении и которое я мог подвергнуть испытанию в достаточном количестве.

2185. Из водных растворов я испытал 150 или больше, в том числе растеоримые кислоты, щелочи и соли, а также сахар, камедь и другие, перечень которых был бы слишком велик, чтобы его здесь привести, так как основное заключение сводилось к тому, что, несмотря на чрезвычайное различие этих веществ, не было никакого изъятия из общего вывода, так как все тела проявили это свойство. Более чем вероятно, что во всех этих случаях определяющим веществом была вода, а не какое-либо иное растворенное в ней вещество. Тот же общий вывод был получен со спиртовыми растворами.

2186. Переходя от жидкостей к воадуху и газообразным телам, я должен здесь заявить, что до настоящего времени я еще не был в состоянии обнаружить проявления указанной способности в каком-либо из веществ этого класса. Я провел опыты с помощью склянок диаметром в 4 дюйма над следующими газами: кислород, азот, водород, закись азота, масляродный газ, сернистая кислота, соляная кислота, углекислота, окись углерода, аммиак, сероводород и пары брома — при обычных температурах; но все они дали отрицательные результаты. С воадухом это исследование было также произведено с помощью другого вида прибора в еще больших размерах, но все-таки безрезультатно (2212).

2187. Раньше чем оставить рассмотрение веществ, обнаруживших указанную способность, я в отношении тех тел, которые обладают естественной вращательной силой и в которых она была сверх того вызвана искусственно (2165, 2231), могу сообщить, что веществами, подвергшимися испытанию, были следующие: касторовое масло, смоляное масло, масло лаванды, лавра, канадский бальзам, спиртовой раствор кам-

фары, спиртовой раствор камфары и сулемы, водные растворы сахара, виннокаменной кислоты, виннокислого натрия, виннокислой соли калия и сурьмы, винной и борной кислоты и сернокислого никеля, которые вращали луч вправо; копейский бальзам, который вращал луч влево, и два образца камфена, или терпентинного масла, в одном из которых вращение происходило вправо, а в другом — влево. Во всех этих случаях, как было уже сказано (2165), искусственно вызванное вращение имело место согласно общему закону (2160) и независимо от прежней способности данного тела.

2188. Камфара, расплавленная в трубке около дюйма в диаметре, дала высокую естественную вращательную способность, но я не мог заметить, чтобы магнитные силы индуцировали в ней добавочную силу. Возможно, однако, что небольшая длина луча и наличие значительного количества оставшегося окрашенного света, даже когда окуляр был повернут в положение, наиболее благоприятное для затемнения изображения, произведенного естественно повернутым лучом, сделали незаметной малую магнитно-вращательную способность камфары.

ГЛАВА II

Действие электрических токов на свет

2189. Из рассмотрения природы и положения магнитной и электрической силовых линий и отношения магнита к электрическому току представлялось почти несомненным, что электрический ток должен оказывать на свет такое же действие, как магнит; а когда ему придан вид катушки, то он дает такую форму прибора, при котором могут быть подвергнуты испытанию диамагнитные тела большой протяженности, в особенности такие, которые между полюсами магнита испытывают на себе, по-видимому, лишь весьма слабое действие; здесь последнее может быть усилено. Это ожидание на опыте подтвердилось.

2190. Я брал для опытов медные катушки, из которых три я опишу. Первая из них, или *длинная катушка*, имела внутренний диаметр в 0.4 дюйма. Проволока имела диаметр в 0.03 дюйма и была навита вокруг оси от одного конца катушки до другого, а затем таким же образом возвращалась назад, образуя катушку длиной в 65 дюймов, двойную на всем своем протяжении; она содержала в себе 1240 футов проволоки.

2191. Вторая, или *средняя катушка*, имела длину в 19 дюймов, внутренний диаметр в 1.87 дюймов и внешний диаметр в 3 дюйма. Проволока имела диаметр в 0.2 дюйма и длину в 80 футов, причем она была навита в виде двух концентрических катушек. Электрический ток, идущий по ней, не разделяется, а проходит по всей длине проволоки.

2192. Третья, или *вульвичская катушка*, была устроена по моему указанию для учреждения полковника *Себайна* в Вульвиче. Она имела длину в 26.5 дюймов, внутренний диаметр в 2.5 дюйма и внешний диаметр в 4.75 дюйма. Проволока имела диаметр в 0.17 дюйма и длину в 501 фут. Она была навита в виде четырех концентрических катушек, концы которых были соединены друг с другом, так что весь служивший для опытов электрический ток проходил по всей длине проволоки.

2193. Длинная катушка (2190) действовала на магнитную стрелку, помещенную на небольшом от нее расстоянии, очень слабо. Средняя катушка (2191) действовала более сильно, и вульвичская катушка (2192) действовала очень сильно. Во всех случаях для опытов служила одна и та же батарея в десять пар пластин Грова.

2194. Твердые тела было легко подвергнуть действию этих индукционных катушек: для этой цели их приходилось только нарезать в форме стержней или призм с плоскими и отполированными концами, а затем вставлять в виде сердечников в катушки. Для того, чтобы подвергнуть тому же действию жидкое тело, были изготовлены стеклянные трубки, снабженные на концах крышками. Цилиндрическая часть крышки была

латунная и была снабжена трубочкой для введения внутрь жидкостей; а дно её состояло из плоской стеклянной пластинки. Когда требовалось, чтобы трубка содержала в себе водные жидкости, то пластинки прикрепляли к крышкам, а последние к трубкам с помощью канадского бальзама. Если же трубка должна была содержать в себе спирт, эфир или эфирные масла, то в качестве замазки я пользовался густой смесью истолченного гумми с небольшим количеством воды.

2195. Общее действие прибора такого вида может быть представлено следующим образом. Трубка внутри длинной катушки (2190) наполнялась дистиллированной водой и была помещена по линии поляризованного луча, так что при рассматривании через окуляр (2150) можно было сквозь нее видеть производимое лучом изображение пламени лампы. После этого окуляр вращался до тех пор, пока пламя лампы не исчезало, и затем через катушку пропускался ток от десяти пар пластин. Тогда изображение пламени мгновенно появлялось вновь и сохранялось все время, пока через катушку проходил электрический ток; при прекращении тока изображение исчезало. Свет возникал не постепенно, как в случае электромагнитов (2170), а мгновенно. Эти явления можно было вызывать сколько угодно раз. Мы можем, мне кажется, с полным основанием утверждать, что в данном опыте луч света электризуется и электрические силы освещаются.

2196. Эти явления можно сделать более заметными, если установить длиннофокусную линзу между трубкой и поляризующим зеркалом или короткофокусную линзу между трубкой и глазом. Когда катушка или батарея, или испытуемое вещество обладают небольшой силой, то подобные приспособления оказываются полезными для обнаружения действия; но после некоторого навыка от них легко отказаться, прибегая к ним, как к вспомогательному средству, лишь в сомнительных случаях.

2197. В тех случаях, когда действие очень слабо, его легче обнаружить, если Николев окуляр установить не на полное

исчезновение луча, а чуть не доходя до этого положения или перейдя его, так что изображение пламени будет только едва видно. Тогда при действии силы электрического тока этот свет может либо усилиться, либо ослабеть, либо исчезнуть, либо даже вновь появиться на другой стороне от положения темноты, а такое изменение можно заметить легче, чем если глаз начал наблюдать начиная от состояния полной темноты. Такой способ наблюдения облегчает также возможность демонстрировать вращательный характер действия на свет. Действительно, если сначала сделать свет видимым, повернув окуляр в одном направлении, и затем с помощью тока его *усилить*, то достаточно одного мгновения после выключения тока, чтобы повернуть окуляр в другом направлении так, чтобы свет стал заметен, как прежде, и тогда при пропускании тока: он *ослабится*. Одновременно будет изменяться и окраска света.

2198. Когда ток пропускался по катушке в одном направлении, то вращение, придаваемое световому лучу, происходило в одну сторону, а когда ток пропускался в противоположном направлении, вращение происходило в другую сторону. Для того, чтобы обозначить направление, я приму, как это обычно делается, что внутри элемента ток идет от цинка через кислоту к платине (663, 667, 1627). Когда такой ток под световым лучом идет направо, затем справа от луча идет вверх и над лучом идет налево, то он вызывает в нем вращение влево; если же ток проходит над лучом направо, справа от луча идет вниз и под ним идет налево, то он вызывает в нем вращение вправо.

2199. Таким образом, легко выразить закон, согласно которому электрический ток действует на луч света. Когда электрический ток проходит вокруг луча поляризованного света в плоскости, перпендикулярной к лучу, то он заставляет луч поворачиваться около своей оси, пока он находится под влиянием тока, *в том же направлении*, в каком проходит ток.

2200. Простота этого закона и его тождественность с данным ранее законом, выражающим действие магнетизма на свет (2160), поистине прекрасны. Не требуется модели в помощь

памяти; но если посмотреть на описанную уже выше модель (2161), то линия, идущая вокруг нее, выравит одновременно как направление тока, так и направление вращения. Но в действительности она дает гораздо больше, ибо если рассматривать цилиндр как кусок железа, а не кусок стекла или другого диамагнитного тела, помещенного между двумя полюсами N и S , то идущая кругом него линия представит направление тех токов, которые, согласно теории Ампера, обтекают его частицы; далее, если его рассматривать как железный сердечник (вместо водяного сердечника), вокруг которого идет ток по направлению этой линии, то он представит собою такой же магнит, какой образовался бы, если бы он был помещен между полюсами с такими метками, какие имеются на его концах.

2201. Я отмечу теперь некоторые моменты, касающиеся степени этого действия при различных обстоятельствах. Пользуясь трубкой с водой (2194), имеющей такую же длину, как и катушка, но помещая ее таким образом, чтобы она более или менее выступала на той или другой стороне катушки, я был в состоянии до известной степени выяснить влияние длины диамагнитного тела, когда сила катушки и ток остаются прежними. Чем больше был столб воды, подвергавшейся действию катушки, тем больше было вращение поляризованного луча, и величина вращения казалась прямо пропорциональной длине столба жидкости, вокруг которого проходил электрический ток.

2202. Когда по оси вувльичской катушки (2192) помещалась трубка с водой или кусок тяжелого стекла, то, по-видимому, получалось одинаковое действие на луч света, независимо от того, где они находились: посередине катушки или на каком-нибудь ее конце, если только они целиком находились внутри катушки и на линии осн. Отсюда ясно, что каждая часть катушки оказывает одинаковое действие и что при пользовании длинными катушками можно подвергнуть подобного рода испытанию такие вещества, которым нельзя дать достаточно большого протяжения между полюсами магнитов (2150).

2203. Трубка с водой, равная по длине вульвической катушке, но с диаметром лишь в 0.4 дюйма, была помещена в катушке параллельно ее оси, но иногда по оси, а иногда ближе к ее боку. Никакой заметной разницы при этих различных положениях не получалось, и я склонен полагать (не будучи, однако, вполне уверен в этом), что действие на луч одинаково, где бы внутри катушки мы ни поместили трубку по отношению к оси. Тот же результат получался, если я смотрел сквозь более широкую трубку с водой, когда луч проходил по оси катушки и трубки, или же сбоку.

2204. Когда внутрь катушки вводились вещества, обладавшие естественной вращательной силой, то в них дополнительно возникала вращательная способность, вызываемая электрическим током, совершенно так же, как в описанных уже ранее случаях магнитного действия (2165, 2187).

2205. Из голой медной проволоки диаметром в 0.05 дюйма была устроена катушка с тесными витками; ее длина была 20 дюймов, а диаметр — 0.3 дюйма. Эта катушка вводилась во внутрь широкой трубки с водой, так что можно было исследовать жидкость с помощью поляризованного луча как внутри, так и вне катушки. Когда *через катушку* пропускался ток, то вода внутри последней приобретала вращательную способность, но никакого следа подобного действия на свет не было заметно с наружной стороны катушки, даже на линии, проходящей на самом близком расстоянии от голой проволоки.

2206. Вода могла находиться в латунных и медных трубках — это не вызывало ни малейшего изменения в действии.

2207. Вода в латунной трубке была введена внутрь *железной* трубки, которая была значительно длиннее как вульвической катушки, так и латунной трубки и которая имела стенки толщиной в целую восьмую дюйма. Когда последняя вводилась в вульвическую катушку (2192), то вода, по-видимому, *вращала* луч света так же хорошо, как и раньше.

2208. Изогнутый стержень с сечением в 1 квадратный дюйм и длиннее катушки вставлялся внутрь катушки, а сверху его

клатась малая трубка с водой (2203). Вода оказала на свет столь же сильное действие, как и раньше.

2209. Три железные трубки, каждая длиною в 27 дюймов и с толщиной стенок в одну восьмую дюйма, были подобраны с такими диаметрами, чтобы они легко входили одна в другую и все вместе в вульвичскую катушку (2192). Наиболее узкая из них была закрыта на концах стеклянными пластинками и заполнялась водой. Будучи помещена по оси вульвичской катушки, она проявляла известную степень вращательной способности по отношению к поляризованному лучу. Тогда поверх нее была надета вторая трубка, так что между водою и катушкой образовалась толща железа, равная двум восьмым дюйма; вода проявила *большую* вращательную способность, чем раньше. Когда поверх первых двух трубок была надета третья, вращательная способность воды упала, но все еще оставалась весьма значительной. Эти результаты являются усложненными, так как они связаны с новыми обстоятельствами, которые создаются свойством железа при его действии на силы. До известного предела при нарастании развития магнитных сил катушка и сердечник, как целое, вызывали нарастающее действие на воду; но с дальнейшим прибавлением железа и распределением в нем сил действие последних частью отвлекалось от воды и вращение уменьшалось.

2210. Куски тяжелого стекла (2151), помещенные в железных трубах внутри катушки, вызывали подобные же явления.

2211. Описанным только что способом были подвергнуты действию электрического тока в катушке следующие тела: тяжелое стекло (2151, 2176), вода, раствор сульфата натрия, раствор винной кислоты, спирт, эфир и терпентинное масло. Все они испытали на себе влияние электрического тока и действовали на свет совершенно так же, как это было описано выше относительно магнитного действия (2173).

2212. С большой тщательностью и с напряженным вниманием я подверг влиянию этих катушек *воздух*, но не мог открыть какого-либо следа его действия на поляризованный луч света.

Я вставил длинную катушку (2190) в другие две (2191, 2192) и соединил их все в один ряд, действовавший согласно, чтобы этим увеличить силу, но не мог заметить какого-либо действия их на свет, проходящий через воздух.

2213. При работе с катушками следует принимать во внимание одно обстоятельство, которое иначе может произвести путаницу и вызвать смущение. Вначале проволока длинной катушки (2190) была навита прямо на тонкую стеклянную трубку, которая служила для наполнения жидкостью. Когда электрический ток проходил по катушке, он повышал температуру металла, а вследствие этого постепенно повышалась температура стекла и слоя прилегающей к нему воды, в результате чего водяной цилиндр, будучи теплее на своей поверхности, чем по оси, действовал как линза, собирая световые лучи и направляя их в глаз, причем он продолжал действовать указанным образом в течение некоторого времени и после прекращения тока. Этот источник путаницы может быть легко устранен, если отделить водяной столб от катушки и принять другие меры предосторожности.

2214. Другое обстоятельство, которое должен иметь в виду экспериментатор, — это трудность, или почти невозможность получить кусок стекла, который — в особенности после того, как его разрезали — не деполяризовал бы свет. Если стекло дополяризует, то изменение положения вызывает огромное изменение в явлении. Это затруднение можно в большей или меньшей мере устранить, если все время пользоваться теми частями стекла, которые не деполяризуют, например черным крестом, и если ставить глаз возможно ближе к стеклу.

2215. Для того, чтобы дать общее представление о величине этой искусственно вызываемой вращательной силы в двух или трех телах, и несколько не претендуя на то, чтобы предложить точно данные, я изложу здесь результат нескольких попыток изморить эту силу и сравнить ее с естественной способностью некоторого образца терпентинного масла. Я взял

очень сильный электромагнит с *постоянным* расстоянием между полюсами в $2\frac{1}{2}$ дюйма. В это пространство я вносил различные вещества. Величина вращения окуляра наблюдалась по несколько раз и бралась средняя, которая и представляла вращение для данной длины луча в изучаемом веществе. Но так как эти вещества обладали различными размерами, то длина лучей поправлялась с приведением к одной стандартной длине, исходя из допущения, что рассматриваемая способность пропорциональна этой длине (2163). Терпентинное масло наблюдалось, разумеется, в его естественном состоянии, т. е. при отсутствии магнитного действия. Если воду принять за 1, то получились следующие числа:

Терпентинное масло	11.8
Тяжелое стекло (2151)	6.0
Флинтглас	2.8
Каменная соль	2.2
Вода	1.0
Спирт	меньше воды
Эфир	меньше спирта

2216. По вопросу о действии магнитных и электрических сил на свет я полагаю, что некоторым дополнением к нашим сведениям об их взаимоотношениях следует признать указание тех условий, при которых не получается никакого видимого действия; поэтому я здесь очень кратко изложу, каким образом я недавно сочетал эти силы так, что при этом не получалось никакого заметного результата (955).

2217. Поляризованный луч света пропускался через тяжелое стекло, флинтглас, горный хрусталь, исландский шпат, терпентинное масло. Одновременно с помощью обкладок лейденской банки и электрической машины через эти тела пропускались линии электростатического напряжения (2149), параллельно поляризованному лучу и перпендикулярно к последнему, и при этом как в плоскости поляризации, так и перпендикулярно к ней, но без какого-либо заметного действия.

На те же тела, а также на воду (как на электролит) было направлено напряжение часто перемежающегося индуцированного вторичного тока, но с тем же отрицательным результатом.

2218. Поляризованный луч, мощные магнитные линии силы и только что описанные электрические линии силы (2149) были скомбинированы в различных направлениях при их действии на тяжелое стекло (2151, 2176), но при этом был получен только тот же результат, который был описан выше в настоящей статье, т. е. обоюдное действие магнитных линий на свет.

2219. Поляризованный луч и электрические токи были всеми возможными способами скомбинированы в электролитах (951—954). Исследованиями таким образом веществами были: дистиллированная вода, раствор сахара, разведенная серная кислота, раствор сульфата натрия (при этом я пользовался платиновыми электродами) и раствор медного купороса (здесь я пользовался медными электродами). Ток направлялся вдоль луча и перпендикулярно к последнему в двух направлениях, находящихся друг к другу под прямым углом. Луч заставляли вращаться, изменяя положение поляризующего зеркала, так что плоскость поляризации могла меняться. Ток, который служил для опытов, был или постоянный, или часто прерывающийся, или частопеременный ток индукции в том и другом направлении. Но ни в одном случае не было замечено никакого следа действия.

2220. Наконец, лучи поляризованного света, электрические токи и магнитные силовые линии были всеми возможными способами направлены через разведенную серную кислоту и через раствор сульфата натрия, но это точно так же дало отрицательные результаты, за исключением тех положений, при которых получились описанные выше явления. В одной установке ток проходил в направлении радиусов от центрального электрода к периферическому; и в то же время противоположные магнитные полюсы были помещены над ним и под ним. Установка была настолько хороша, что когда электрический ток проходил, то жидкость приходила в быстрое вра-

чение, но поляризованный луч, направленный горизонтально сквозь эту установку, не испытывал на себе никакого действия. Точно так же, когда луч был направлен через нее вертикально, а окуляр поворачивался так, чтобы это соответствовало вращению, вызываемому при этом положении в луче одними только магнитными кривыми, то добавочное воздействие от прохождения электрического тока не вызывало ни малейшего изменения действия на луч.

ГЛАВА III

Общие соображения

2221. Таким образом, впервые,¹ как я полагаю, 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 (2146). Нет сомнения, что при нынешнем состоянии нашего знания трудно представить наше ожидание в точных выражениях; и хотя я сказал, что одна из сил природы в изложенных опытах прямо связана с остальными силами, я, быть может, должен был лучше сказать, что один вид великой силы нахо-

¹ Я говорю «впервые», так как не думаю, чтобы опыты Моррикони по возбуждению магнетизма с помощью лучей фиолетового конца спектра доказывали наличие подобной связи. В бытность свою в Риме вместе с сэром Г. Дэви в мае 1814 года я провел несколько часов в доме Моррикони, работая с его прибором и под его руководством, но мне не удалось намагнитить стрелку. Я не верю в этот эффект как в *непосредственный* результат действия солнечных лучей, и думаю, что если он и имел место, то он был вторичным, попутным, быть может даже случайным явлением; этот результат можно было бы, вероятно, получить со стрелкой, если бы в течение всего опыта продержать ее в положении север-юг.

2 января 1846 г. я не написал бы, как выше, «впервые», если бы вспомнил об опытах Кристи и его статьях о влиянии солнечных лучей на магниты, помещенных в *Philosophical Transactions* за 1826, стр. 219, и 1828 стр. 379. — М. Ф.

дится в определенной и непосредственной связи с другими ее видами; или еще что великая сила, которая выявляется в частных явлениях в частных формах, здесь прослеживается дальше и понается благодаря прямой связи того ее вида, который есть свет, с теми ее видами, которые представляют собой электричество и магнетизм.

2222. Связь, существующая между *поляризованным* светом и магнетизмом и электричеством, представляется более интересной, чем если бы было доказано ее существование только для обыкновенного света. Она необходимо должна распространяться и на обыкновенный свет, а так как она относится к такому свету, который путем поляризации сделан, с известной точки зрения, более определенным по характеру и свойствам, то она сопоставляет и связывает его с названными выше силами в той двойственности свойств, которая им присуща, и открывает путь, которого нам раньше недоставало для применения этих сил к исследованию природы данного и других лучистых проявлений.

2223. На основе сделанного выше (2149) условного различения можно дальше утверждать, что на световые лучи действуют *только* магнитные линии сил и притом (по-видимому) *только тогда*, когда они параллельны световому лучу или когда они приближаются к этому параллелизму. Подобно тому, как по отношению к веществам, не являющимся магнитными, как железо, явления электрической индукции и электролиза обнаруживают огромное превосходство в той энергии, с какой электрические силы могут действовать, по сравнению с магнитными силами, так здесь оказывается, что в другом направлении, в особых и соответствующих действиях, принадлежащих магнитным силам, последние, наоборот, обладают большим преимуществом перед электрическими силами и что они действуют на тот же род материи несколько не хуже.

2224. Магнитные силы не действуют на световой луч непосредственно и без участия материи, но при посредстве вещества, в котором они находятся одновременно с лучом: вещество и

силы сообщают друг другу и получают друг от друга способность действовать на свет. На это указывает отсутствие подобного действия со стороны вакуума, воздуха или газов, и на это указывает, далее, неодинаковая величина этой способности, присущая различным веществам. То обстоятельство, что магнитная сила всегда действует на световой луч одинаковым образом и в одинаковом направлении, независимо от рода веществ, или от их состояния (твердого или жидкого), или от присущей им особой силы вращения (2232), показывает, что магнитная сила и свет находятся друг с другом в прямом родстве. Но то обстоятельство, что необходимо наличие веществ и что последние действуют в различной степени, показывает, что магнетизм и свет действуют друг на друга при посредстве вещества.

2225. Мы познаем или воспринимаем *вещество* только благодаря его силам и ничего не знаем о воображаемом ядре, в отрыве от самой мысли об этих силах; поэтому явления, описанные в настоящей статье, сильно укрепляют меня в склонности придерживаться тех взглядов на *вещество*, которые я изложил раньше.¹

2226. Нельзя сомневаться в том, что магнитные силы оказывают действие на внутреннее строение диамагнитного тела и влияют на него одинаково свободно в темноте и при прохождении через него светового луча, хотя до сих пор явления, вызываемые светом, оказываются, по-видимому, единственным средством для наблюдения этого строения и его изменения. Далее, всякое подобное изменение должно иметь место и в непрозрачных телах, как дерево, камень и металл; ведь в отношении диамагнитных свойств между ними и прозрачными телами нет никакого различия. Степень прозрачности может вызывать в этом отношении самое большее лишь некоторое различие между отдельными представителями данного класса.

¹ Том II, стр. 400, или *Philosophical Magazine*, 1844, том XXIV, стр. 136.

2227. Если бы магнитные силы делали эти тела магнитами, то мы могли бы с помощью света исследовать прозрачный магнит, и это оказало бы нам большую помощь при исследовании сил вещества. Но они не делают их магнитами (2171); поэтому молекулярное состояние этих тел, когда они находятся в описанном выше положении, следует определенно отличать от состояния намагниченного железа или другого подобного вещества, и оно должно представлять собою *новое магнитное состояние*; а так как оно является состоянием напряжения (о чем свидетельствует его немедленное возвращение в нормальное состояние после прекращения магнитной индукции), то силу, которой материя обладает в этом состоянии, и способ ее действия мы должны рассматривать как *новую магнитную силу* или как *род действия материи*.

2228. Ибо, мне думается, невозможно наблюдать и видеть возрастающее по интенсивности действие магнитных сил на кусок тяжелого стекла, или на трубку с водой, и не заметить при этом, что последние приобретают свойства, которые не только являются *новыми* для этих веществ, но подчиняются также весьма определенным и точным законам (2160, 2199) и оказываются пропорционально-эквивалентными магнитным силам, которые их вызывают.

2229. Возможно, что это состояние представляет собою состояние *электрического напряжения, стремящегося перейти в электрический ток*, подобно тому, как в магнитах, согласно теории Ампера, это состояние является состоянием *тока*. Когда в катушку вставляют железный сердечник, то все заставляет нас думать, что в нем вызываются токи электричества, которые вращаются или движутся в плоскости, перпендикулярной к оси катушки. Если в такое же положение привести диамагнитное тело, то оно получает способность вращать свет в той же плоскости. Приобретенное им состояние является состоянием напряжения, но оно не перешло в ток, хотя действующая сила и все другие сопутствующие обстоятельства и условия тождественны с теми, которые вызывают токи в же-

лезе, никеле, кобальте и других подобных веществах, способных их воспринять. Таким образом, мысль, что при указанных выше обстоятельствах в диамагнитных телах существует склонность к токам, находится в согласии со всеми описанными до сих пор явлениями, и она подкрепляется еще и тем фактом, что простое изменение температуры не производит никакого изменения в естественном магните или в электрическом токе, который делает посредством своего индуктивного действия магнитом кусок железа, никеля или кобальта, но оно же отнимает у этих тел появившуюся у них новую способность и переводит их в общий класс диамагнитных тел.

2230. Я полагаю, что впервые искусственно сообщил теперь телу молекулярное состояние, которое необходимо для круговой поляризации света; поэтому представляется очень интересным рассмотреть это известное состояние или свойство тела и для этого сопоставить его с менее известным состоянием тех тел, которые обладают этой способностью естественно, в особенности потому, что некоторые из этих тел вращают вправо, а другие — влево; а в случаях кварца и терпентинного масла одно и то же с химической точки зрения тело (во втором случае это — жидкость со свободно движущимися частицами) дает различные образцы, причем в некоторых из них вращение происходит в одну сторону, а в других — в другую.

2231. По началу можно было бы склоняться к мысли, что естественное состояние должно быть тождественно с состоянием, вызываемым магнитными и электрическими силами; однако при дальнейшем исследовании оказывается очень трудно прийти к такому заключению. Когда терпентинное масло вращает световой луч, то вращательная способность масла зависит от его частиц, а не от расположения его массы. По какому бы пути луч поляризованного света ни проходил через эту жидкость, он испытывает одинаковое вращение, и все лучи, которые проходят через нее *одновременно* в любом возможном направлении, испытывают вращение с одинаковой

силой и согласно одному общему закону направления, т. е. либо все вправо, либо все влево. Не так обстоит дело с вращением, добавочно индуцируемым искусственно в том же терпентинном масле магнитными или электрическими силами: оно происходит только в одном направлении, а именно в плоскости, перпендикулярной к магнитной линии, и поскольку оно ограничено этой плоскостью, направление его может быть изменено путем изменения направления силы, вызывающей вращение. Направление вращения, производимое естественным состоянием, неизменно связано с направлением светового луча, но способность его производить присуща, по-видимому, частицам жидкости в любых направлениях и в любое время. Направление же вращения, производимого искусственно созданным состоянием, неизменно связано с направлением магнитной линии или электрического тока; это состояние присуще частицам вещества, но оно строго ограничено упомянутой линией или током, изменяясь и исчезая вместе с ними.

2232. Пусть m (рис. 177) представляет собою стеклянный сосуд, заполненный терпентинным маслом, обладающим естественной способностью производить вращение вправо, и ab — поляризованный световой луч. Когда луч идет из a в b , а глаз наблюдателя находится в b , то вращение происходит вправо, т. е. по направлению стрелки круга c ; когда же луч идет из b в a и глаз помещается в a , то для наблюдателя вращение точно так же происходит вправо, т. е. в направлении, указанном на круге d . Пусть теперь вокруг терпентинного масла проходит электрический ток по направлению, указанному на круге e , или пусть магнитные полюсы будут поставлены таким образом, что они вызывают то же самое действие (2155). Тогда частицы приобретут дальнейшую вращательную силу (которой не будет проявлять никакое их взаимное перемещение), и глаз, помещенный в b , будет наблюдать, что луч, идущий из a в b , сильнее прежнего повернут вправо, или по направлению круга c . Но пусть луч идет из b в a , и пусть глаз наблюдателя находится в a . Тогда явление будет уже не то же, что

раньше, ибо новое вращение будет происходить не по направлению, указанному на круге d , а в противоположном направлении, т. е. для наблюдателя — влево (2199). И действительно, искусственно вызываемое вращение будет прибавляться к естественному, когда луч идет из a в b , но будет вычитаться из естественного, если луч идет из b в a . Стало быть, частицы этой жидкости, дающие вращение благодаря своей естественной силе, и частицы, дающие вращение благодаря искусственно вызванной в них силе, не могут находиться в одинаковом состоянии.

2233. Что касается способности терпентинного масла вызывать вращение луча, в каком бы направлении он ни проходил через жидкость, то возможно, что хотя все частицы его обладают вращательной способностью, однако на луч действуют лишь те частицы, у которых плоскости вращения более или менее перпендикулярны к лучу и вращение вызывается равнодействующей суммы сил в некотором направлении. Однако

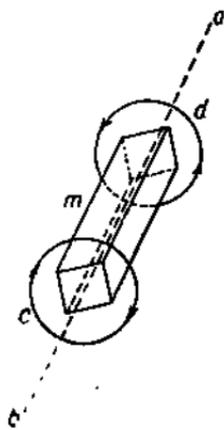


Рис. 177.

даже в этом случае остается поразительное различие, так как результирующая в той же плоскости не является абсолютной по своему направлению, а зависит от хода луча: в одном случае она направлена как в круге c , а в другом — как в круге d (рис. 177); между тем равнодействующая магнитной или электрической индукции является абсолютной и не изменяется с изменением хода луча, действуя всегда либо по направлению, выраженному посредством c , или по направлению, представленному посредством d .

2234. Однако все эти различия без сомнения исчезнут или придут во взаимное согласие, когда настоящие исследования получат дальнейшее развитие, а самое их существование открывает так много путей, следуя которым мы можем все больше и больше углубляться в исследование сил и строения материи.

2235. Тела, которые сами по себе обладают вращательной способностью, по-видимому, не проявляют в связи с этим большей или меньшей склонности к дальнейшему усилению той же способности под влиянием магнитной или электрической силы.

2236. Если бы не эти и другие различия, то можно было бы усмотреть аналогию, с одной стороны, между телами, которые всегда обладают вращательной способностью, например кварцем, вращающим только в одной плоскости, и телами, которые получают эту способность под влиянием других сил, например призмой тяжелого стекла в катушке, и, с другой стороны, между естественным магнитом и катушкой, по которой проходит ток. Естественное состояние магнита и кварца и вынужденное состояние катушки и тяжелого стекла образуют собою связующее звено этой аналогии в одном направлении; в то же время допущение токов в магните и в катушке и лишь склонности и стремления, ведущих к токам, в кварце и в тяжелом стекле, дает связующее звено в другом направлении.

2237. Что касается тех тел, которые до сих пор, по-видимому, совершенно не обнаруживают влияния на свет и, следовательно, не проявляют никаких признаков того, чтобы они принимали новое магнитное состояние, то их можно разделить на две группы: одна включает в себе воздух, газы и пары, а другая — горный хрусталь, исландский шпат и некоторые другие кристаллические тела. Что касается последней группы, то в ближайших сериях настоящих исследований я приведу доказательства, основанные на явлениях совершенно иного рода, которые свидетельствуют о том, что эти тела принимают новое магнитное состояние; на основании этих данных, как они представляются к настоящему моменту, я склонен думать, что и воздух и газы способны принять это особое состояние и даже действовать на свет, но в столь слабой степени, что до сих пор это не могло еще быть замечено. Но газообразное состояние представляет собою столь замечательное строение вещества, что не следует слишком поспешно допускать, что

вещества, обладающие в твердом и жидком состоянии какими-либо свойствами, хотя бы и общими по своему характеру, всегда переносят их и в свое газообразное состояние.

2238. Каменная соль, плавленый шпат и, как я полагаю, квасцы влияют на световой луч; другие кристаллы, с которыми производились опыты, на свет не влияли. Первые из них являются равноосными и дают простое преломление; вторые же являются неравноосными и двоякопреломляющими. Возможно, что эти случаи вместе со случаем вращения кварца могут уже теперь указать на связь между магнетизмом, электричеством и силами кристаллизации вещества.

2239. Законы, по которым катушки и магниты действуют на все тела, несомненно указывают, что причины в такой же мере тождественны, как их действия. Этот вывод дает еще одно прекрасное доказательство в пользу тождества катушек и магнитов, согласно воззрениям Ампера.

2240. Теория статической индукции, которую я имел смелость выдвинуть ранее (1161 и след.) и которая связана с действием смежных частиц диэлектрика, находящегося между индуцирующим и индуцируемым телом, дала мне основание ожидать, что существование подобного рода зависимости от промежуточных частиц будет установлено и при магнитном действии, и семь лет тому назад я опубликовал по этому вопросу некоторые опыты и соображения (1709—1736). Я не мог открыть тогда какого-либо особого состояния промежуточного вещества, или диамагнитного тела. Но теперь я имею возможность указать такое состояние, которое является не только состоянием напряжения (2227), но целиком связано с магнитными линиями, проходящими через вещество; поэтому теперь я имею больше прежнего смелость полагать, что высказанная тогда точка зрения является правильной.

2241. Хотя магнитные и электрические силы, по-видимому, не действуют на обыкновенный, т. е. деполаризованный луч света, мы все же едва ли можем сомневаться в том, что они оказывают какое-то особое влияние, которое будет, вероятно,

в скором времени обнаружено на опыте. Точно так же можно с полным основанием полагать, что должно существовать подобного рода действие и на другие виды лучистых агентов, как теплота и химическая сила.

2242. Магнитные и электрические действия описанного вида и представляемые ими явления окажут, надеюсь, в дальнейшем значительную помощь при исследовании природы прозрачных тел, света, магнитов и их действия друг на друга и на магнитные вещества. В настоящее время я занимаюсь исследованием этого нового магнитного состояния и в скором времени представлю Королевскому обществу дальнейшее сообщение по этому вопросу. Каким может оказаться вероятное действие этой силы в Земле, как в целом, или в магнитах, или по отношению к Солнцу, и какие средства могут оказаться наилучшими для получения электричества или магнетизма с помощью света — эти мысли непрестанно занимают мой ум. Но будет лучше посвятить как время, так и мысль, при содействии опыта, исследованию и выявлению реальной истины и не пользоваться ими для того, чтобы строить такие предположения, которые, быть может, удастся, а, может быть, и не удастся обосновать фактами и привести в согласие с последними.

*Королевский институт
29 октября 1845 г.*

ДВАДЦАТАЯ СЕРИЯ¹

*Раздел 27. О новых магнитных действиях и о магнитном состоянии всякого вещества.*² Глава I. Необходимые приборы. Глава II. Действие магнитов на тяжелое стекло. Глава III. Действие магнитов на другие вещества, оказывающие магнитное действие на свет. Глава IV. Действие магнитов на металлы вообще.

Поступило 6 декабря. Доложено 18 декабря 1846 г.

РАЗДЕЛ 27

О НОВЫХ МАГНИТНЫХ ДЕЙСТВИЯХ И О МАГНИТНОМ СОСТОЯНИИ ВСЯКОГО ВЕЩЕСТВА

2243. Содержания последней серии настоящих исследований было, полагаю, достаточно, чтобы оправдать то утверждение, что когда вещество подвергается действию магнитных и электрических сил, ему сообщается новое (т. е. новое для наших званий) магнитное состояние (2227); это новое состояние было выявлено благодаря приобретаемой веществом способ-

¹ Philosophical Transactions, 1846, стр. 21.

² Мой друг м-р Уитстон обратил на днях мое внимание на мемуар г. Беккереля «О магнитных действиях, вызываемых во всех телах под влиянием очень мощных магнитов», доложенный Академии наук 27 сентября 1827 г. и опубликованный в *Annales de Chimie*, XXXVI, стр. 337. Он касается действия магнита на магнитную стрелку, на мягкое железо, на двуокись и трехокись железа, на одну только трехокись и на деревянную стрелку. Автор наблюдал и указывает на Кулона, как сделавшего подобное же наблюдение, что деревянная стрелка при известных условиях располагается *поперек* магнитных кривых; он сообщает также поразительный факт, который он наблюдал, а именно, что деревянная стрелка уста-

ности воздействовать на свет. Явления, которые нам предстоит теперь описать, оказываются совершенно отличными по своей природе; они доказывают существование не только оставшихся до сих пор для нас неизвестными магнитных свойств упомянутых выше тел, но и аналогичных свойств многих других тел, включая обширное число непрозрачных и металлических тел, а возможно и всех тел, за исключением магнитных металлов и их соединений. Эти явления дают нам также средство с помощью указанных свойств попытаться установить взаимоотношение между магнитными явлениями и, быть может, построить теорию общего магнитного действия, опирающуюся на простые основные принципы.

2244. Весь этот вопрос настолько нов и явления до такой степени многообразны и общи, что при всем желании быть кратким я должен описать много такого, что в конце концов ока-

навливалась параллельно проводам гальванометра. Однако он относит эти явления за счет того, что эти тела обладают меньшей степенью магнетизма, чем трехокись железа, но что их магнетизм имеет тот же характер, так как эти тела располагаются таким же образом. Устанавливается, что полярность стали и железа направлена по длине вещества, а полярность трехоксида железа, дерева и гуммилака — большей частью по направлению его ширины, и это имеет место каждый раз, когда для опыта брался один магнитный полюс. «Это различие действия, которое устанавливает демаркационную линию между указанными двумя видами явления, вызывается тем обстоятельством, что так как в трехокиси железа, дуршо и т. д. магнетизм очень слаб, то мы можем пренебречь обратным действием тела на этот магнетизм, и таким образом прямое действие стержня должно его перевесить».

Момпур не сводит явлений с деревом и гуммилаком к элементарному действию *отталкивания*, не указывает на то, что они являются общими для обширного класса тел, не отличает этого класса тел, который я назвал *дипольными*, от магнитного класса; он сводит все к магнитному действию одного вида, между тем как я доказываю, что существует два вида подобного действия, столь же отличных друг от друга, как различны положительные и отрицательные электрические действия; поэтому я не думаю, чтобы мне надо было изменять какое-либо слово или дату в том, что я написал. Но и крайне рад признать здесь важность наблюдений и работ г. Вонкорана по данному вопросу. — М. Ф. (5 дек. 1845 г.).

жется возможным подвести под простые принципы действия. Однако при современном состоянии нашего знания это является единственным методом, с помощью которого я могу достаточно хорошо выявить эти принципы и вытекающие из них следствия.

ГЛАВА I

Необходимые приборы

2245. Явления, которые предстоит описать, требуют магнитных приборов большой мощности и безупречного управления ими. Оба эти условия выполняются, если пользоваться электромагнитами, которые могут быть доведены до степени силы, далеко превышающей силу естественных или стальных магнитов; они, далее, могут сразу быть совершенно лишены своей мощности или, наоборот, доведены до высшей ее степени без малейшего изменения в установке или в чем-либо ином, имеющем отношение к опыту.

2246. Один из электромагнитов, которым я пользовался, был уже ранее описан под названием вульвичской (Woolwich) катушки (2192). Ее сердечник из мягкого железа имеет 28 дюймов в длину и 2.5 дюйма в диаметре. Будучи приведен в действие с помощью десяти пар пластин Грова, он в состоянии любым своим концом держать одну или две подаешенных к нему гири в пятьдесят фунтов каждая. Этот магнит может быть установлен в вертикальном или горизонтальном положении. Железный сердечник представляет собою цилиндр с плоскими концами, но у меня имелся и конус, изготовленный из железа, с диаметром основания в 2 дюйма и высотой в один дюйм. Будучи помещен на конце сердечника, он в случае надобности образует у него конусообразный наконечник.

2247. Другой устроенный мною магнит имеет подковообразную форму. Железный стержень имеет длину в 46 дюймов и диаметр в 3.75 дюйма и изогнут так, что концы его, образующие полюсы, находятся друг от друга на расстоянии 6 дюймов. На обоих прямых участках стержня навито 522 фута медной

проводами, диаметром в 0.17 дюйма, обмотанной тесьмой; таким образом, на этих участках оказываются две катушки, в 16 дюймов длиною каждая; в каждой три слоя проволоки. Полюсы, как сказано, находятся друг от друга на расстоянии 6 дюймов; их концам придана в точности плоская форма и по ним могут передвигаться два коротких стержня из мягкого железа длиною в 7 дюймов, с сечением в $2\frac{1}{2}$ на 1 дюйм; стержни с помощью винтов можно устанавливать на любом друг от друга расстоянии, меньшем 6 дюймов. Концы этих стержней образуют разноименные полюсы. Магнитное поле между ними можно усилить или ослабить и соответственно с этим можно изменять интенсивность магнитных силовых линий.

2248. Для подвешивания веществ между полюсами этих магнитов и поблизости от них я в некоторых случаях пользовался склянкой, снабженной наверху крышкой с проходящей через нее проволокой. Из шести или восьми одинаково вытянутых в длину коконовых нитей изготовлялась одна нить, которая верхним концом прикреплялась к подвижному стержню, а нижним — к бумажному стремени, на которое можно было положить любое тело, подлежащее исследованию.

2249. Другой весьма пригодный способ подвеса заключался в том, что один конец тонкой нити длиною в 6 футов прикреплялся к горизонтальному передвижному стержню вблизи потолка комнаты, а другой нижний конец — к небольшому кольцу из медной проволоки. Вещество, которое надо было подвесить, можно было поместить в простой люльке из тонкой медной проволоки; от люльки вверх тянулась проволока длиною в 8 или 10 дюймов. Верхний конец ее был согнут в крючок, что давало возможность подвесить ее к кольцу. Высоту подвешенного вещества можно было по желанию изменить, сгибая которую-нибудь часть проволоки в крюк. Стеклоцилиндра, помещенного между полюсами магнита, было вполне достаточно для того, чтобы предохранить подвешенное вещество от какого-либо движения, вызываемого потоками воздуха.

2250. Раньше, чем приступить к экспериментальному исследованию с таким прибором, следует выяснить действие магнетизма, которым, быть может, обладают тела, из которых построено прибор. Способность последнего к обнаружению такого рода магнетизма настолько велика, что из-за этого бывает трудно подобрать писчую бумагу, подходящую для упомянутого выше стремони. Поэтому раньше, чем начать опыты, следует убедиться в том, что приспособление, применяемое для подвешивания, не располагается определенным образом, т. е. не занимает под влиянием магнитной силы положения, параллельного линиям, соединяющим магнитные полюсы. Когда приспособление для подвешивания сделано из меди, получается особое действие (2309); но если в последнем разобратся, как это и будет сделано ниже, то оно не оказывает влияния на результаты опыта. Проволока должна быть тонкая, не магнитная как железо, а люлька для подвешивания не должна быть удлиненой в горизонтальном направлении и по основным своим измерениям должна быть в указанном направлении круглой или квадратной.

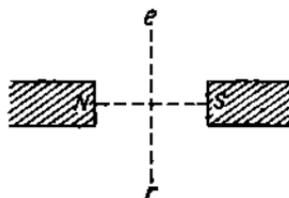


Рис. 178.

2251. Вещества, с которыми предстоит произвести опыт, следует тщательно испытать; их следует браковать, если будет установлено, что они не свободны от магнетизма. Их состояние легко выяснить, ибо если они магнитны, то либо притягиваются к тому или другому полюсу большого магнита, либо принимают определенное положение между полюсами. Для этой цели недостаточно испытание их с помощью небольших магнитов или с помощью магнитной стрелки.

2252. Мне придется столь часто говорить о двух главных направлениях в магнитном поле, что во избежание многословия, я попрошу здесь разрешения пользоваться одним-двумя условными терминами. Одно из этих направлений (рис. 178), это — направление от полюса к полюсу, или вдоль

магнитной силовой линии; я буду называть его аксиальным направлением. Другим является направление, перпендикулярное к последнему — поперек магнитной силовой линии; и, временно, поскольку оно будет относиться к пространству между полюсами, я буду его называть экваториальным направлением. Другие термины, которыми, быть может, я буду пользоваться, надеюсь, будут понятны сами собой.

ГЛАВА II

Действие магнитов на тяжелое стекло

2253. Стерженек боросиликатного свинцового стекла, или тяжелого стекла, описанного ранее в качестве вещества, в котором впервые было установлено влияние магнитных сил на луч света (2152) длиной в 2 дюйма и шириною и толщиной около 0.5 дюйма, был центрально подвешен между магнитными полюсами (2247) и предоставлен самому себе, пока не прекратилось влияние кручения. После этого замыкалась гальваническая батарея, и таким образом вводился в действие магнит. Стерженек немедленно приходил в движение, поворачиваясь около точки своего подвеса в положение, поперечное по отношению к магнитной кривой, или к силовой линии; после нескольких качаний он приходил затем в неподвижное состояние. Будучи выведен рукою из этого положения, он к нему возвращался, и это повторилось много раз подряд.

2254. И тот и другой конец стерженька шел безразлично в ту и другую сторону от осевой линии. Решающим обстоятельством было просто то или иное отклонение стерженька по отношению к осевой линии в начале опыта. Если какой-нибудь определенный или меченый конец стерженька находился по одну сторону от магнитной или осевой линии, то когда магнит начинал действовать, этот конец продолжал от нее удаляться, пока стерженец не приходил в экваториальное положение.

2255. Имещение магнетизма в полюсах, производимое измономом направления электрического тока, не создавало

в том отношении никакого различия: стерженек направлялся кратчайшим путем к экваториальному положению.

2256. Силой, побуждающей стерженек занять указанное положение, можно было настолько полно управлять, что во время качания стерженька легко было ускорить его движение по направлению к этому положению, или же удержать его на месте, если он через него проходил; для этого надо было в надлежащий момент замыкать гальваническую батарею.

2257. У стерженька существуют два положения равновесия: одно — устойчивое, другое — неустойчивое. Когда он располагается по направлению оси, или магнитной силовой линии, то замыкание электрического тока не вызывает никакого изменения в его положении. Но если он хоть сколько-нибудь отклонен от этого положения, то это отклонение увеличивается до тех пор, пока стерженек не придет в экваториальное положение. Если же стерженек вначале находится в экваториальном положении, то магнетизм в дальнейшем не вызывает никаких дальнейших изменений, а удерживает стерженек на месте (2298, 2299, 2384).

2258. Таким образом, мы имеем здесь магнитный стержень, который, находясь вблизи северного и южного полюсов, устанавливается на восток и запад, т. е. устанавливается перпендикулярно к магнитным силовым линиям.

2259. Если стержень установить таким образом, чтобы точка его подвеса, находясь на аксиальной линии, была на неодинаковом расстоянии от полюсов, а ближе к одному из них, то магнетизм и теперь заставляет стержень занять положение, перпендикулярное к магнитным силовым линиям; при этом по ту или иную сторону от аксиальной линии может, по желанию, оказаться и тот и другой конец стержня. Но в то же время здесь имеет место другое явление, а именно, в момент замыкания электрического тока центр тяжести стерженька отходит от полюса и отталкивается от него все время, пока магнит остается в возбужденном состоянии. Когда магнетизм

прекращают, стерженек возвращается к тому месту, которое он должен занимать под влиянием своей тяжести.

2260. Совершенно то же явление происходит у другого полюса магнита. Каждый из них в состоянии отталкивать от себя стерженек, в каком бы положении он ни находился; одновременно стерженек вынуждается занять положение, перпендикулярное к магнитной силовой линии.

2261. Когда стерженек находится на равном расстоянии от обоих полюсов и на аксиальной линии, то никакого отталкивательного действия не наблюдается или не может наблюдаться.

2262. Но если точку подвеса оставить на экваториальной линии, т. е. на равном расстоянии от обоих полюсов, и сдвинуть ее в ту или другую сторону от аксиальной линии (2252), то получаются другие явления. Стерженек располагается, как и раньше, поперек магнитной силовой линии, но в то же время он отходит от аксиальной линии, увеличивая свое расстояние от нее; это новое положение он сохраняет все время, пока существует магнетизм, и оставляет его с исчезновением последнего.

2263. Вместо двух магнитных полюсов можно воспользоваться одним полюсом, причем последний может находиться в вертикальном или горизонтальном положении. В этом случае явления находятся в совершенном согласии с описанными выше. А именно, когда стерженек находится вблизи полюса, то он отталкивается от него по направлению магнитной силовой линии и в то же время поворачивается в положение, перпендикулярное к направлению проходящих через него магнитных линий. Когда магнит поставлен вертикально (2247), а стержень расположен сбоку и рядом, то вышесказанное действие заставляет стерженек расположиться по касательной к боковой поверхности магнита.

2264. Для того, чтобы воспроизвести указанные явления, заключающиеся в том, что стерженек устанавливается поперек магнитных кривых, тяжелое стекло должно иметь продолго-

ватую форму. Куб или кусок, приближающийся к шарообразной форме, не будет устанавливаться определенным образом, продолговатый же кусок будет. Если поставить рядом на бумажную подставку два или три закругленных куска или же куба, так что они образуют удлинненную группу, они тоже установятся в определенном направлении.

2265. Однако куски любой формы *отталкиваются*. Так, если на аксиальной линии подвесить одновременно два куска, по одному вблизи каждого полюса, то они будут отталкиваться каждый соответствующим полюсом и будут приближаться друг к другу, как будто бы они взаимно притягивались. Если же два куска подвесить по экваториальной линии, по одному на каждой стороне от оси, то оба они будут удаляться от оси, как будто бы они отталкивались друг от друга.

2266. Из того немногого, что было сказано выше, ясно; что стерженек в своем движении представляет сложный результат действия силы, оказываемой магнетизмом на тяжелое стекло, и что в тех случаях, когда для опытов служат кубы или шары, можно получить гораздо более простое указание на сущность этого явления. И действительно, когда вышеуказанным образом опыты производились при двух полюсах с кубом, то действие сводилось к отталкиванию или к удалению от того и другого полюса, а также к удалению от магнитной оси на обеих сторонах от последней.

2267. Таким образом, пробная частица будет двигаться либо вдоль магнитных кривых, либо поперек их; она будет проделывать это либо в одном, либо в другом направлении. Единственно, что при этом будет наблюдаться постоянно, это то, что она стремится двигаться из мест большей магнитной силы в места меньшей.

2268. Это обнаруживалось гораздо проще в том случае, когда в опыте участвовал только один магнитный полюс, так как тогда пробный куб или шар проявлял стремление двигаться прочь, по направлению магнитных силовых линий. Это явление удивительно напоминало собою слабое электрическое отталкивание:

2269. Теперь ясна причина, почему принимает определенное направление стержень или кусок тяжелого стекла другой удлиненной формы. Это является результатом одного только стремления частиц двигаться прочь, или в положение наиболее слабого магнитного действия. Совокупное действие всех частиц приводит массу в то положение, которое, как это было установлено с помощью опыта, фактически соответствует последнему.

2270. Когда действует один или одновременно два магнитных полюса, то пути, описываемые частицами тяжелого стекла, имеющего возможность двигаться свободно, образуют ряд линий или кривых, о которых я буду иметь случай говорить в дальнейшем, а поскольку воздух, стекло, воду и т. д. я назвал диамагнитными веществами (2149), я обозначу эти линии термином *диамагнитные кривые*, чтобы подчеркнуть, с одной стороны, их родство с линиями, которые были названы магнитными, а с другой — отличие от последних.

2271. Когда стерженок тяжелого стекла погружен в воду, спирт или эфир, а эти жидкости налиты в сосуд, помещенный между полюсами, то имеют место все указанные выше явления: стерженок устанавливается в определенном направлении, а куб удаляется — совершенно так же, как в воздухе.

2272. Эти явления имеют равным образом место в сосудах, сделанных из дерева, камня, глины, меди, свинца, серебра и любого другого из тех веществ, которые принадлежат к разряду диамагнитных (2149).

2273. То же самое экваториальное напряжение, а также движение стержня тяжелого стекла, какие были только что описаны, но только в очень слабой степени, я получил с помощью хорошего обыкновенного подковообразного магнита (2157). И не получил их, когда пользовался катушками (2191, 2192) без железных сердечников.

2274. Таким образом, мы имеем здесь отталкивание без полярности, т. е. безотносительно к определенному полюсу магнита, так как каждый из полюсов отталкивает данное

вещество и оба полюса одновременно его отталкивают (2262). Тяжелое стекло, хотя оно и подвержено магнитному действию, нельзя рассматривать как магнитное вещество в обычном смысле этого термина, т. е. как железо, никель, кобальт и их соединения. Оно представляет нам при указанных выше обстоятельствах такое магнитное свойство, которое является новым для нашей науки, и хотя эти явления по своей природе и характеру весьма отличны от явлений, представляемых действием тяжелого стекла на свет (2152), тем не менее они, по всей видимости, зависят от того же состояния стекла, которое делало его в последнем случае действующим, или же связаны с этим состоянием; поэтому вместе с указанными выше явлениями они доказывают реальность этого нового состояния.

Г Л А В А III

Действие магнитов на другие вещества, оказывающие магнитное действие на свет

2275. Мы можем теперь от тяжелого стекла перейти к исследованию других веществ, которые, находясь под действием магнитных или электрических сил, способны действовать на поляризованный луч и вызывать его вращение (2173), и мы можем также распространить это исследование на такие тела, которые вследствие неправильности своей формы, несовершенной прозрачности или настоящей непрозрачности, не могли быть исследованы с помощью поляризованного луча; здесь мы не встречаем никаких затруднений для испытания, если даже дело идет о подобных веществах.

2276. Скоро было установлено, что вышеуказанное свойство отталкиваться от магнитных полюсов и испытывать на себе их действие присуще не только тяжелому стеклу. Борат свинца, флинтглас и кронглас располагались совершенно так же экваториально, а находясь поблизости от полюсов, они от них отталкивались, хотя и не в той степени, как тяжелое стекло.

2277. Из числа веществ, которые не могли быть подвергнуты испытанию с помощью света, очень хорошо обнаруживал эти

явления фосфор в виде цилиндра; полагаю, так же сильно, как тяжелое стекло, а может быть и сильнее его. Цилиндр серы и продолговатый кусок густого индийского каучука, не являющихся магнитными в обычном смысле слова, хорошо устанавливались и отталкивались.

2278. Кристаллические тела — все равно, из какого класса они были взяты: обыкновенно преломляющих или двоякопреломляющих тел (2237) — также подчинялись этим правилам. Призмы из кварца, известкового шпата, нитрата и сульфата натрия — все хорошо устанавливались и отталкивались.



Рис. 179.

2279. Я подверг затем действию магнитных сил большое количество тел, взятых из всяких классов; чтобы показать,

насколько различна природа этих веществ, я ниже привожу сравнительно краткий список кристаллических, аморфных, жидких и органических веществ. Когда тела были жидки, я помещал их в тонкие стеклянные трубки. Флинтглас устанавливается экваториально, но когда трубка сделана из очень тонкого стекла, то это действие оказывается слабым, если опыт производится с одной только трубкой. Когда затем она наполняется жидкостью и подвергается испытанию, то действие оказывается таким, что не возникает опасения спутать то действие, которое зависит от стекла, с тем действием, которое связано с жидкостью. Трубки не следует затыкать пробкой, сургучом или каким-нибудь обыкновенным, взятым наудачу, веществом, так как последние вообще магнитны (2285). При изготовлении трубок я придавал им обычно указанную на рис. 179 форму и вытягивал их у горлышка — так, что на одной стороне оставалось отверстие; когда они наполнены жидкостью, их не надо было затыкать.

2280.

Горный хрусталь.
Сульфат кальция.

Сульфат бария.
Сульфат натрия.

Сульфат калия.	Фосфор.
Сульфат магния.	Сера.
Квасцы.	Смола.
Хлорид аммония.	Спермацет.
Хлорид свинца.	Кофеин.
Хлорид натрия.	Цинхонин.
Нитрат калия.	Маргариновая кислота.
Нитрат свинца.	Воск из шеллака.
Карбонат натрия.	Сургуч.
Исландский шпат.	Прованское масло.
Ацетат свинца.	Терпентинное масло.
Рвотный камень.	Гагат.
Сегнетова соль.	Каучук.
Винная кислота.	Сахар.
Вода.	Крахмал.
Спирт.	Гуммиарабик.
Эфир.	Дерево.
Азотная кислота.	Слоновая кость.
Серная кислота.	Баранина вяленая.
Соляная кислота.	Говядина свежая.
Растворы различных щелочных и зе- мельных солей.	Говядина вяленая.
Стекло.	Кровь свежая.
Свинцовый глет.	Кровь высушенная.
	Кожа.
Белый мышьяк.	Яблоко.
Иод.	Хлеб.

2281. Любопытно видеть такой список тел, неожиданно проявляющих вышеуказанное замечательное свойство, и странно убеждаться в том, что кусок дерева или говядины, или яблоко повинуется магниту или им отталкиваются. Если бы можно было, как это сделал Дюфе, подвесить человека

на достаточно чувствительный подвес и поместить его в магнитное поле, то он расположился бы экваториально, так как все вещества, из которых он составлен, включая кровь, обладают этим свойством.

2282. Экваториальная установка связана с формой тела, а разнообразие формы, представленное в различных веществах приведенного выше списка, было очень велико. Тем не менее был установлен общий вывод, что большая длина в одном направлении достаточна для того, чтобы заставить тела занять экваториальное положение. Было нетрудно понять, что относительно большие массы будут устанавливаться так же легко, как малые, так как в больших массах на тело будет действовать большее количество магнитных силовых линий. Оказалось, что это так и есть на деле. Не потребовалось также много времени для того, чтобы стало ясно, что пластинчатая или кольцевая формы столь же хороши, как цилиндрическая или призматическая; и фактически было установлено, что пластинки или плоские кольца из дерева, спермацета, серы и т. д., будучи подвешены в надлежащем направлении, очень хорошо принимали экваториальное положение. И если бы пластинку или кольцо из тяжелого стекла можно было пустить плавать по воде таким образом, чтобы они могли свободно двигаться в любом направлении, и если бы в этом положении они были подвергнуты действию уменьшающихся по своей интенсивности магнитных сил, то они немедленно расположились бы экваториально; и если бы их центр совпал с осью магнитной силы, то они остались бы на месте. Но если бы их центр оказался вне этой линии, то они, вероятно, постепенно отошли бы от этой оси в экваториальной плоскости и ушли бы из пространства между полюсами.

2283. Я не нахожу, чтобы раздробление вещества на части оказало какое-нибудь заметное влияние на эти явления. Я наблюдал кусок исландского шпата с точки зрения величины той силы, с которой он занимал экваториальное положение, а затем я его разбивал на шесть или восемь частей, вкладывал их

в стеклянную трубку и снова подвергал испытанию. Насколько я мог заметить, действие оказалось прежним. При втором опыте известковый шпат был растолчен в крупные зерна, затем в крупный порошок и, наконец, в мелкий порошок. Каждый раз я подвергал его испытанию в отношении экваториальной установки, но не мог заметить какой-либо разницы в этом явлении вплоть до последнего состояния, при котором, как мне казалось, могло иметь место небольшое ослабление такого стремления; но если оно и наблюдалось, то было едва заметно. Тот же опыт я проделал с кремнеземом и получил тот же результат: никакого ослабления силы не наблюдалось. В связи с этим могу отметить, что крахмал и другие вещества в виде тонкого порошка показывали это явление очень хорошо.

2284. Потребовались бы очень тонкие опыты и большое старание, чтобы определить удельную степень рассматриваемой способности магнитного действия у различных тел, и я очень мало преуспел в этой части вопроса. Тяжелое стекло стоит выше флинтгласа, а последний выше зеркального стекла. Вода стоит ниже их всех, и я думаю, что спирт стоит ниже воды, а эфир ниже спирта. Борат свинца находится, полагаю, на уровне тяжелого стекла, если не выше последнего, а фосфор, вероятно, возглавляет все названные только что вещества. Я наблюдал экваториальное положение фосфора между полюсами обыкновенного магнита (2273).

2285. Я был очень изумлен тем фактом, что кровь оказалась немагнитной (2280), равно как немагнитными оказались испробованные мною образцы красных мышечных волокон говядины и баранины. Это показалось тем более удивительным, что, как будет видно ниже, железо *всегда* и почти *во всех состояниях* является магнитным. Но по отношению к данному вопросу следует отметить, что обычная магнитная способность материи и обсуждаемая здесь *новая способность* по своим действиям друг другу противоположны и что, когда эта последняя способность велика, то она может преодолеть слабую степень

обычной магнитной силы, совершенно так же, как известная величина магнитной способности может оказать противодействию рассматриваемой силе и сделать ее практически незаметной (2422). Именно это обстоятельство создает необходимость быть с самого начала особенно внимательным при проверке магнитного состояния тел (2250). Ннжеследующий список немногих веществ, которые были найдены слегка магнитными, пояснит указанное выше положение: бумага, сургуч, китайская тушь, берлинский фарфор, кишки шелковичного червя, асбест, плавиковый шпат, сурик, киноварь, перекись свинца, сульфат цинка, турмалин, графит, древесный уголь. В некоторых из этих случаев магнетизм был распространен по всему телу, в других случаях он ограничивался определенным участком.

2286. Здесь я могу отметить, что мы можем теперь без всяких затруднений допустить, что вышеуказанные явления в полной мере устанавливают существование в материи некоторого магнитного свойства, которое является новым для нашей науки. Из вытекающих отсюда следствий едва ли не главным по своему интересу является то, в каком отношении все изложенное выше находится к высказывавшемуся не раз утверждению, что все тела являются магнитными. Те, кто придерживаются такого воззрения, полагают, что все тела являются магнитными подобно железу, и утверждают, что они устанавливают в направлении от одного полюса к другому. Новые факты содержат в себе не только отрицание этого положения, но еще кое-что сверх того, а именно — утверждение, что во всех обыкновенных телах существуют силы, прямо противоположные тем, какие существуют в магнитных телах, ибо в то время, как последние практически вызывают притяжение, первые вызывают отталкивание; первые приводят тело в аксиальное положение, вторые же заставляют его принять экваториальную установку; и если говорить о всех телах вообще, то эти факты представляют собою нечто прямо противоположное тому, чего требует вышеупомянутое воззрение.

ГЛАВА IV

Действие магнитов на металлы вообще

2287. Металлы как класс, принадлежат к числу тех тел, которые представляют высокий и особый интерес в отношении как магнитных, так и электрических сил; относительно них можно было бы прежде всего ожидать, что в них обнаружатся некоторые особые явления в отношении того поразительного свойства, которое присуще столь большому количеству веществ, и притом столь различных по общему своему характеру. До сих пор не обнаружилось различия, связанного с проводимостью или непроводимостью, с прозрачностью или непрозрачностью, между телами твердыми и жидкими, между телами кристаллическими и аморфными, между телами целыми и разбитыми на части; поэтому для меня представлял очень высокий интерес вопрос о том, войдут ли металлы, при всем их отличии как класса, в это крупное обобщение или же в конце концов обнаружится их обособление.

2288. Что металлы: железо, кобальт и никель — входят в состав особого класса, это представлялось почти несомненным; и я полагаю, что в интересах исследования будет целесообразно, чтобы я рассмотрел их отдельно, в особом разделе. Далее, если бы оказалось, что подобно им магнитными являются еще какие-нибудь другие металлы, то было бы правильно и целесообразно включить их в тот же класс.

2289. Поэтому первой моей задачей было испытать металлы для выявления в них обычного магнетизма. Подобного рода испытание не может быть выполнено с помощью магнитов, уступающих по своей мощности тем, которые будут использованы в дальнейшем исследовании. Это подтверждается тем фактом, что я нашел много образцов металлов, которые у магнитной стрелки или у сильного подковообразного магнита (2157) казались совершенно свободными от магнетизма; тем не менее они дали обильные указания о его наличии, когда я их повесил вблизи одного или обоих полюсов описанных выше (2246) магнитов.

2290. Испытание на магнетизм было мною проведено следующим образом. Если стержень из подлежащего исследованию металла, длиною около двух дюймов, подвешенный (2249) в магнитном поле и поначалу расположенный под углом к аксиальной линии, затем после появления магнитных сил поворачивался в аксиальное положение, а не в экваториальное и не оставался висеть под некоторым углом к аксиальной линии, то я признавал его магнитным. И если, находясь вблизи какого-нибудь магнитного полюса, он притягивался к этому полюсу, а не отталкивался от него, то я отсюда заключал, что он магнитен. Это испытание явно не вполне строго, ибо, как это было указано выше (2285), тело может обладать в некоторой слабой степени магнитной силой, но сила новой способности может оказаться столь большой, что она ее нейтрализует или перевесит. В первом случае может показаться, что тело не обладает ни той, ни другой способностью. Во втором случае можно подумать, что тело свободно от магнетизма и обладает особой способностью в *малой* степени.

2291. Я нашел, что нижеследующие металлы, будучи подвергнуты описанному выше испытанию, не оказались магнитными, а если фактически они были магнитными, то в столь слабой степени, что это не могло уничтожить результатов действия другой силы или задержать ход исследования:

Сурьма.	Свинец.
Висмут.	Ртуть.
Кадмий.	Серебро.
Медь.	Олово.
Золото.	Цинк.

2292. Нижеследующие металлы оказались и до сих пор остаются для меня магнитными; следовательно, они являются спутниками железа, никеля и кобальта:

Платина.	Титан.
Валладий.	

2293. Являются ли все эти металлы магнитными в результате наличия в них небольшого количества железа, никеля или кобальта или же некоторые из них сами по себе являются таковыми, этого в настоящий момент я не возьмусь решить; не могу также утверждать, что металлы предшествующего списка свободны от магнетизма. Я был весьма изумлен тем обстоятельством, что почти все подвергнутые мною испытанию образцы цинка, меди, сурьмы и висмута оказались свободными от железа, и мне представляется весьма вероятным, что некоторые металлы, как мышьяк и др., могут обладать большой способностью преодолевать и подавлять магнитные свойства некоторой доли содержащегося в них железа; другие же металлы, как серебро или платина, может быть обладают в этом отношении лишь малой способностью, а то и вовсе ей не обладают.

2294. Обратимся опять к рассмотрению влияния, оказываемого магнитной силой на те металлы, которые не являются магнитными наподобие железа (2291); я должен отметить, что существует два ряда вызываемых при этом явлений, которые следует тщательно различать. Один из них связан с индукционными магнитоэлектрическими токами; к нему мы вернемся дальше (2309). Другой включает в себе явления того же характера, что и явления, происходящие в тяжелом стекле и многих других телах (2276).

2295. Все немагнитные металлы испытывают на себе действие магнитной силы и дают те же общие явления, что и описанный выше обширный класс тел. Они обладают в неодинаковой степени той силой, которую они при этом проявляют. Сурьма и висмут обнаруживают ее хорошо, причем висмут кажется особенно подходящим для этой цели. Он превосходит в этом отношении тяжелое стекло, борат свинца, а может быть и фосфор. Небольшой стерженек или цилиндр из висмута, около 2 дюймов длиной и от 0.25 до 0.5 дюйма толщиной, годится для показа различных своеобразных явлений, как едва ли какое-нибудь другое тело, которое я до сих пор испытывал.

2296. Говоря точнее, висмутовая палочка, с которой я производил опыты, имела длину в 2 дюйма, ширину в 0.33 дюйма и толщину в 0.2 дюйма. Когда я подвешивал эту палочку в магнитном поле между двумя полюсами и подвергал ее действию магнитной силы, то она легко устанавливалась в экваториальном направлении — подобно тому, как это было с тяжелым стеклом (2253); будучи выведена из этого положения, она легко возвращалась к нему. Хотя это последнее обстоятельство и находится в совершенном согласии с прежними явлениями, оно составляет поразительный контраст с явлениями, которые обнаруживаются медью и некоторыми другими металлами (2309), а потому оно заслуживает быть здесь отмеченным особо.

2297. Сравнительно большая чувствительность висмута приводит к тому, что при различных обстоятельствах происходят некоторые движения, весьма сложные по своей природе; они требуют тщательного анализа и пояснения, и на важнейших из них, а также на их причинах я теперь остановлюсь.

2298. Если цилиндрический электромагнит (2247) установить вертикально, так что один полюс окажется наверху, то этот полюс будет находиться в верхнем конце железного цилиндра, имеющего горизонтальную плоскую поверхность с диаметром в $2\frac{1}{2}$ дюйма. Небольшой пробный шарик (2266) из висмута, подвешенный над центром этой поверхности и близко к последней, под влиянием магнетизма не приходит в движение. Если передвинуть шарик в сторону, например на половину расстояния между центром и краем поверхности, то магнетизм заставляет его двигаться по направлению внутрь, т. е. по направлению к оси (продолженной) железного цилиндра. Если переместить шарик еще дальше наружу, то под действием магнетизма он продолжает двигаться по направлению внутрь, и так это продолжается до тех пор, пока он окажется как раз над краем верхней плоскости сердечника; здесь он не движется совершенно (известно, что при другой постановке этого опыта шарик стремится здесь двигаться по линии, которая в настоящее время идет от сердечника вверх). Если шарик

передвинуть еще немного дальше, то магнетизм заставляет его стремиться двигаться наружу, т. е. отталкиваться от магнита, и таким же направлением силы остается при любом более отдаленном положении шарика или при его перемещении вниз от края сердечника.

2299. Круглый край, образуемый пересечением конца сердечника с его боковыми сторонами, практически представляет собою для тела, помещенного подобно висмутному шарикку поблизости от него, вершину магнитного полюса; исходящие из него линии магнитной силы как бы расходятся и при расхождении быстро ослабевают во всех направлениях; поэтому шарик тоже стремится уйти по всем направлениям внутрь или вверх или наружу от него; вследствие этого он и выполняет описанные выше движения. Однако на самом деле имеют место не все эти явления, если шарик, висящий на большом расстоянии от железа, находится среди магнитных кривых, имеющих вообще более простое направление. Для того, чтобы устранить действие края, на конце сердечника был установлен железный конус; таким образом плоский конец превратился в конический; тогда пробный шарик был вынужден двигаться вверх только в том случае, когда он находился над самой вершиной конуса; он должен был двигаться вверх и в сторону, когда он находился более или менее в стороне от него; при этом он всегда отталкивался от полюса в таком направлении, которое быстрейшим образом переносило его из точек большей магнитной силы в точки меньшей магнитной силы.

2300. Вернемся теперь к вертикальному плоскому полюсу. Когда концентрически с полюсом и очень близко к последнему была горизонтально подвешена висмутная палочка, то она могла установиться в любом направлении по отношению к оси полюса, проявляя в то же время стремление двигаться вверх, т. е. быть оттолкнутой полюсом. Когда точка ее подвеса была поставлена несколько эксцентрично, то стерженек постепенно поворачивается до тех пор, пока не оказывался параллельным линии, соединяющей точку его подвеса с продолжением оси

полюса; при этом центр тяжести его двигался внутрь. Когда точка подвеса находилась как раз за краем круглого верхнего конца, а стерженок стоял под известным углом к радиальной линии, соединяющей ось сердечника с точкой подвеса, то движения стерженька были неопределенны и изменчивы. Когда угол с радиальной линией был несколько меньше, то стерженок поворачивался до положения, параллельного радиусу, и подвигался внутрь; если же этот угол был больше, то стерженок вращался до положения, перпендикулярного к радиальной линии, и двигался наружу. Все эти осложнения движения легко свести к их простому элементарному началу, если принять во внимание свойства круглого края на конце сердечника, направление магнитных силовых линий, исходящих из него и из других частей полюса, положение различных частей стерженька относительно этих линий, а также руководящий принцип, что каждая частица стремится пройти кратчайшим путем из точек *большой* магнитной силы в точки *меньшей* магнитной силы (2296).

2301. Висмут хорошо устанавливается в определенном направлении и хорошо отталкивается (2296), когда он погружен в воду, спирт, эфир, масло, ртуть и т. д., а также когда он лежит в сосуде из глины, стекла, меди, свинца и т. д. (2272); тоже когда между ним и полюсом поставлены экраны в 0.75 или 1 дюйм толщиной из висмута, меди или свинца. Кубик из висмута (2266) был положен в железный сосуд, имевший диаметр в $2\frac{1}{2}$ дюйма и толщину в 0.17 дюйма; но даже в этих условиях он хорошо и легко отталкивался магнитным полюсом.

2302. По-видимому, нет никакого различия в характере или степени магнитной способности висмута, когда он взят в виде цельного куска и в виде очень тонкого порошка (2283).

2303. Я произвел много опытов с кусками и стержнями из висмута, которые были подвешены или же находились в других условиях, с тем, чтобы выяснить, не производят ли друг на друга какого-нибудь действия, отталкивания или притяже-

ния, два куска, находящиеся одновременно под влиянием магнитных сил, но не мог найти никакого указания на существование подобного взаимодействия: они, казалось, были совершенно безразличны один по отношению к другому, и каждый из них стремился только перейти из точек большей магнитной силы в точки меньшей магнитной силы.

2304. Висмут в виде очень тонкого порошка был рассыпан на бумаге, лежавшей на горизонтальном круглом верхнем конце вертикального полюса (2246). Когда я постукивал по бумаге, а магнит не был возбужден, то ничего особенного не получалось. Но когда магнитная сила действовала, то порошок отступал в обоих направлениях, внутрь и наружу, от окружности, расположенной в точности над краем сердечника; этот круг оставался чист, что указывало на стремление частиц висмута уходить прочь от этой линии по всем направлениям (2299).

2305. Когда полюс заканчивался конусом (2246), а магнит не действовал, то при перемещении бумаги с рассыпанным на ней висмутовым порошком над острием конуса не получалось никакого особенного результата. Но когда магнетизм начинал действовать, то такое перемещение заставляло порошок уходить с любой точки, которая оказывалась над конусом, так что этим путем как бы наносился или вычерчивался след в виде чистых линий, проходивших по порошку и указывавших все те места бумаги, которые прошли над полюсом.

2306. Было установлено, что стерженьки из висмута и из сурьмы между полюсами обыкновенного подковообразного магнита устанавливаются экваториально.

2307. Нижеследующий список может дать представление о видимом порядке некоторых металлов с точки зрения их способности давать вышеуказанные новые явления. Но я не могу быть уверенным в том, что они совершенно свободны от магнитных металлов. Сверх приведенных выше имеются еще некоторые другие явления, вызываемые действием магнетизма на металлы (2309); эти явления в высокой степени запутывают

результаты, которые обязаны своим происхождением рассматриваемой способности.

Висмут.	Кадмий.
Сурьма.	Ртуть.
Цинк.	Серебро.
Олово.	Медь.

2308. У меня имеется смутное впечатление, что отталкивание висмута магнитом наблюдалось и было опубликовано несколько лет тому назад. Если это так, то ясно, что то, что там должно было рассматривать как частное и единичное явление, было на самом деле следствием общего свойства, которое, как это теперь показано, принадлежит всякой материи.¹

2309. Я обращаюсь теперь к рассмотрению некоторых своеобразных явлений, обнаруживаемых медью и некоторыми другими металлами, когда они подвергаются действию магнитных сил; эти явления способны чрезвычайно затемнить явления описанного выше вида, а поэтому необходимо, чтобы исследователь знал эти особенности; иначе они могут привести к большой путанице и сомнениям. Я сначала опишу самые явления, а затем перейду к рассмотрению того, откуда они происходят.

2310. Если вместо стерженька из висмута (2296) подвесить между полюсами (2247) такого же размера стерженек

¹ Г-н Де ла Рив (de la Rive) указал мне сегодня на Bibliothèque Universelle за 1829 г., X, стр. 82, где можно усмотреть, что опыт, о котором была речь, принадлежит г-ну Ла Байи (la Baillif) в Париже. Г-н Ла Байи шестнадцать лет тому назад показал, что как висмут, так и сурьма отталкивают магнитную стрелку. Удивительно, что такой опыт столь долгое время оставался без дальнейших последствий. Я рад, что могу сделать здесь эту вставку до того, как настоящая серия настоящих исследований отирается в печать. Те, кто читают мои сообщения, усмотрят в этом, как и во многих других случаях, результаты непрерывно ослабляющейся памяти. И надеюсь только, что мне их извинят и что подобного рода упущения и ошибки будут рассматриваться как невольные. — М. Ф. (30 дек. 1845 г.).

из меди и возбудить магнитную силу, покуда стерженек стоит под углом к аксиальной и экваториальной линиям, то экспериментатор заметит некоторое действие на стерженек; но это действие обнаружится не в виде стремления стерженька двигаться к экваториальной линии; наоборот, он движется по направлению к аксиальному положению, как если бы он был магнитен. Однако он не дойдет до этого положения: соасем не так, как при действии, вызываемом магнетизмом, он остановится на месте и, не совершая никаких колебаний около некоторой определенной точки, здесь и останется, придя сразу в состояние полной неподвижности. И стерженек будет так себя вести, хотя бы до этого под действием кручения или инерции двигался с такой силой, которая должна была бы заставить его совершить несколько колебаний. Это явление составляет поразительный контраст с тем, которое наблюдается при опытах с сурьмой, висмутом, тяжелым стеклом и другими подобными телами; равным образом оно отступает и от обычных магнитных действий.

2311. Задав известное положение, стерженек сохраняет его с большим упорством, если только поддерживать магнитную силу. Если стерженек вытолкнуть из этого положения, то он к нему не возвращается, но совершенно таким же образом занимает новое положение и сохраняет его столь же настойчиво. Но толчок, который при отсутствии магнетизма заставил бы его совершить несколько оборотов, теперь смещает его не больше, чем на 20° или 30° . Не так обстоит дело с висмутом или тяжелым стеклом: последние в магнитном поле свободно колеблются и всегда возвращаются в экваториальное положение.

2312. Стерженек может так остановиться в любом положении. В момент возникновения магнетизма стерженек немного подается, но при некоторой предусмотрительности можно в конце концов остановить стерженек в любом положении, какое мы пожелаем. Даже в том случае, когда он сильно колеблется под влиянием кручения или инерции, его легко

можно захватить и задержать в любом месте, где этого пожелает экспериментатор.

2313. Существует два положения, в которые стерженек можно поместить в начале опыта и из которых магнетизм его не выводит: это — положение экваториальное и аксиальное. Когда стерженек находится приблизительно в среднем между ними положениями, то первое действие магнита обычно сказывается на нем наиболее сильно; впрочем, это положение наибольшего действия варьирует с формой и размерами магнитных полюсов и стерженька.

2314. Когда центр подвеса стерженька находится на аксиальной линии, но ближе к одному из полюсов, то указанные движения протекают чисто: они ясны и определены по своему направлению. Если же центр подвеса находится на экваториальной линии, но в какую-либо сторону от аксиальной линии, то эти движения изменяют свой вид; характер этого изменения будет легко понять из дальнейшего.

2315. Итак, мы изложили, что происходит при возникновении магнитной силы; посмотрим теперь, что происходит в момент ее прекращения, ибо за время, когда она находится на одном уровне, никаких изменений не происходит. Если магнетизм поддерживать в течение двух-трех секунд, а потом ток выключить, то сразу наблюдается сильное действие на стерженек; оно имеет вид отвлечения (*revulsion*) (так как стерженек вновь следует тому пути, по которому он шел короткое время до момента включения электрического тока), но с очень большой силой; в самом деле, если продвижение стерженька прежде составляло, скажем, 15° или 20° , то отвлеченно заставляет его совершить иногда два или три оборота.

2316. Тяжелое стекло или висмут не дают таких явлений.

2317. Пусть стерженек вращается под действием нового отвлечения; возобновим в это время в магните электрический ток, тогда стерженек сразу останавливается, причем повторяются все прежние явления и следствия (2310); а если затем устранить магнитную силу, то стерженек вновь испытывает на

себе указанное выше действие, но теперь, конечно, в направлении, противоположном прежнему отвлечению.

2318. Когда стерженек задерживается магнитной силой в аксиальном или экваториальном положении, то не получается отвлечения: Когда стерженек стоит под углом к этим положениям, то происходит отвлечение. Наиболее интенсивными в этом отношении являются, по-видимому, те места, которые наиболее благоприятны для первого короткого продвижения стерженька (2313). Если стерженек находится в таком положении, при котором должно было бы получиться сильное отвлечение, и если, оставляя магнитную силу в действии, переставить стерженек рукою в экваториальное или аксиальное положение, то в этом случае при прекращении магнитной силы не получается никакого отвлечения.

2319. Если электрический ток, а значит и магнетизм, поддерживать только одно мгновение, то отвлечение очень слабо, и чем меньше то время, в течение которого поддерживается магнитная сила, тем слабее бывает это отвлечение. Если магнитную силу поддерживать в течение двух или трех секунд, затем ее прекратить, а после этого мгновенно заставить действовать вновь, то стерженек освобождается и затем снова задерживается этой силой раньше, чем заметно изменит свое положение. В этом случае можно видеть, что с *восстановлением* силы он не продвигается так, как это было бы, если бы в данном месте на него подействовать первым включением тока (2310); другими словами, когда стерженек стоит в определенном месте под углом к аксиальному положению, то первое появление магнитной силы заставляет его двинуться по направлению к аксиальному положению; но если стерженек находится там же, а действие магнитной силы прекращают, а затем *мгновенно* возобновляют, то вторичное появление силы не приводит стерженек в такое же движение, в какое приводило первое появление силы.

2320. Если погрузить медный стерженек в воду, спирт или даже в ртуть, то получаются те же явления, что и в воз-

духе, но движения не достигают, конечно, прежнего размаха.

2321. Если между полюсами и медным стерженьком поставить пластины из меди или висмута толщиной в дюйм, то получаются те же результаты.

2322. Если пользоваться только одним магнитным полюсом, то вблизи него явления протекают так же хорошо, как и раньше, при том условии, что плоскость, образующая конец железного сердечника, велика по сравнению с стерженьком (2246). Но если полюс заострить с помощью конического наконечника или если стерженек повесить против края конца сердечника, эти явления очень ослабевают или же совершенно исчезают; остается лишь общее явление отталкивания (2295).

2323. Описанные только что своеобразные явления обнаруживаются, пожалуй, еще более удивительным образом, если медный стерженек подвесить вертикально и затем установить его против большой поверхности магнитного полюса и вблизи от него; полюс пусть будет один; если же полюс, как это было описано выше (2246, 2263), поставлен вертикально, установить стерженек где-нибудь поблизости сбоку. Нужно помнить, что стерженек имеет длину в 2 дюйма, ширину в 0.33 дюйма и толщину в 0.2 дюйма, и так как теперь он будет вращаться около оси, параллельной его длине, то могут свободно переходить в новые положения даа меньших ее измерения. В этом случае возникновение магнитной силы заставляет стерженек, в соответствии с описанными выше явлениями, сделать небольшой поворот, а прекращение магнитной силы вызывает отвлечение, в результате которого стерженек несколько раз вращается вокруг своей оси. Но в любой момент стерженек, как и раньше, можно схватить и задержать в каком-нибудь положении. При замыкании батареек стерженек' стремится расположиться своим более длинным подвижным измерением, т. е. своей шириной, параллельно линии, соединяющей центр действия магнита со стержнем.

2324. Стерженек, как и раньше (2311), крайне медлителен, и в отношении вращения вокруг своей собственной оси ведет себя так, как будто он был погружен в очень густую жидкость. Но эта медлительность не распространяется на стерженек, как на целое, ибо если он совершает какое-либо маятникообразное движение, то последнее продолжается без изменения. Чрезвычайно любопытно наблюдать за стерженьком, когда он колеблется около своей точки подвеса (2249) и одновременно вращается около своей оси; как только он попадает под действие магнитной силы, последнее движение мгновенно прекращается, а первое продолжается с неуменьшающейся силой.

2325. То же самое явление медлительности, как и у стерженька, наблюдается у медного кубика или шарика, но явления первоначального вращения и отвлечения здесь отпадают (2310, 2315).

2326. Стержни из висмута и тяжелого стекла не дают такого рода явлений. Свообразные явления, производимые медью, так же отличны от действия вышеперечисленных веществ, как они отличны от обыкновенных магнитных действий.

2327. Пытаясь объяснить причину вышеописанных явлений, я склонен думать, что они связаны с превосходной проводимостью меди для электрических токов, с *постепенным* приобретением и утратой магнитной силы железным сердечником электромагнита и с возникновением тех магнитоэлектрических и индукционных токов, которые я описал в первой серии настоящих Экспериментальных исследований (55, 109).

2328. Препятствие, чинимое движению около собственной оси, когда стерженек находится под действием магнитных сил, в равной мере свойственно шарообразной и кубической форме. Но оно свойственно этим телам только тогда, когда их ось вращения перпендикулярна или наклонна к линиям магнитной силы, но не свойственно, когда она им параллельна, ибо горизонтальный стержень и вертикальный стержень, и куб, и шар вращаются с полной легкостью, когда они подвешены над вертикальным полюсом (2246). В этом случае вращение

и колебание протекают одинаково свободно; они тождественны с соответствующими движениями висмута и тяжелого стекла. Препятствие движению наиболее сильно, когда ось вращения перпендикулярна к линиям магнитной силы и когда стержень, куб и т. п. находятся поблизости от магнита.

2329. Не входя в подробное рассмотрение отдельных обстоятельств, я могу сказать, что рассматриваемое явление полностью объясняется электрическими токами, индуцируемыми в массе медного тела. Если обратиться ко второй серии настоящих Исследований (160)¹, то можно увидеть, что когда шар, находящийся под действием магнитных силовых линий, вращается около оси, перпендикулярной к этим линиям, то по этому шару в плоскости, параллельной оси вращения и магнитным линиям, пробегает электрический ток, который, естественно, создает в шаре магнитную ось, направленную перпендикулярно к магнитным кривым индуцирующего магнита. Поэтому магнитные полюсы этой оси направлены таким образом, что они совместно с основным магнитным полюсом стремятся увлечь шар назад, обратно тому направлению, в котором он вращается. Будем вращать кусок меди перед северным магнитным полюсом таким образом, что ближайшая к полюсу часть его будет двигаться направо; ясно, что правая сторона этой меди будет тогда иметь южно-магнитное состояние, а левая сторона — северно-магнитное; эти состояния будут стремиться противодействовать движению меди направо. Если же кусок меди будет вращаться в противоположном направлении, то правая сторона его будет иметь южно-магнитное состояние, а левая сторона — северно-магнитное состояние. Таким образом, в каком бы направлении медь ни стремилась вращаться вокруг собственной оси, в тот самый момент, когда она приходит в движение, возникает сила, имеющая такое направление, что она стремится остановить движение меди и привести ее в неподвижное состояние. Когда

¹ Philosophical Transactions, 1832, стр. 168.

медь недвижима в данном направлении, то не существует никакого остаточного или иного действия, которое стремилось бы это неподвижное состояние нарушить, и она здесь и остается.

2330. Когда вся масса меди перемещается параллельно самой себе и при этом мала по сравнению с плоскостью на конце магнитного полюса, против которого она находится, то она, правда, проходит через магнитные силовые линии и, следовательно, имеет склонность к образованию в ней магнито-электрических токов. Но так как все части этой массы движутся с одинаковой скоростью, в одном и том же направлении и через одинаковые магнитные силовые линии, то склонность к образованию тока оказывается одинаковой во всех ее частях и ток фактически не создается; как следствие, не происходит ничего такого, что могло бы каким-либо образом нарушить свободу движения меди. Этим и объясняется то обстоятельство, что вращение стержня или куба (2324, 2328) вокруг собственной оси сразу останавливается, но когда они колеблются как маятник, это движение не испытывает никакого препятствия.

2331. Мы видели, что ни то, ни другое движение не испытывает на себе никакой задержки, когда стержень или куб находятся над вертикальным полюсом (2328); это объясняется просто тем, что в обоих этих случаях [при указанных (относительных) размерах полюса и движущегося металла] линии частиц, по которым стремятся двигаться индуцированные ток, должны быть параллельны друг другу по всей массе; а потому не существует такого места, по которому мог бы проходить обратный ток; вследствие этого никакого тока не может создаться.

2332. Раньше, чем перейти к объяснению других явлений, необходимо указать на общеизвестный и, как я полагаю, общепризнанный факт, что для развития магнетизма в железном сердечнике с помощью электрического тока требуется время; оно нужно точно также для исчезновения магнетизма, когда ток прерывают. Об одном действии постепенного нарастания силы было доложено в последней серии настоящих

Исследований (2170). Для плохо отожженного железа это время, вероятно, больше, чем для очень хорошо и вполне отожженного. Последние доли магнетизма, который данным током можно развить в определенном железном сердечнике, получаются, по-видимому, медленнее, чем первые его доли; и эти доли (или то состояние железа, которому они обязаны своим существованием) тоже, по-видимому, исчезают медленнее других долей силы. Когда электрический ток включают только на мгновение, то вызванный ток магнетизм исчезает так же быстро при выключении тока, как он возникал при его появлении; но если держать ток включенным в течение трех или четырех секунд, то при его выключении магнетизм ни в коем случае не исчезает столь же быстро.

2333. Для того, чтобы шаг за шагом выяснить своеобразные явления с медью и их причину, рассмотрим условия, в которых находится горизонтальный стержень (2310, 2313), когда он висит в экваториальном положении между двумя магнитными полюсами или перед единственным полюсом, когда другого нет; пусть при этом точка подвеса лежит на одной линии с осью полюса и возбуждающей его проволочной катушки. Когда через катушку пропускают электрический ток, то и катушка и возбуждаемый ею магнит способствуют образованию в меди токов противоположного направления. Последнее явствует из моих прежних исследований (26) и можно доказать опытом; для этого нужно взять короткий или длинный провод, согнуть его в виде катушки (если это требуется) по форме стержня и отвести образующиеся в нем токи с помощью проводов к находящемуся на некотором расстоянии гальванометру. Подобные токи, возбуждаемые в меди, продолжают лишь в течение того времени, когда магнетизм в сердечнике нарастает, а затем они исчезают (18, 39); но *покуда* они продолжают, они сообщают настоящую магнитную полярность той поверхности медного стержня, которая противолежит определенному полюсу; эта полярность оказывается той же, что у полюса, к которому поверхность направлена. Таким образом, на той стороне

стержня, которая обращена к северному полюсу магнита, образуется северная полярность, а на стороне, обращенной к южному полюсу, возникает южная полярность.

2334. Легко видеть, что если в течение этого времени медь находится против одного только полюса или же, находясь между двумя полюсами, стоит ближе к одному полюсу, чем к другому, то указанное выше явление должно вызвать отталкивание меди. Однако оно не может объяснить всю величину отталкивания, которое наблюдалось как у меди, так и у висмута (2295). Дело в том, что эти токи длятся лишь мгновение, и вызываемое ими отталкивание должно прекратиться вместе с ними. Но они вызывают короткое отталкивательное усилие, чем главным образом и вызывается первая часть этого своеобразного действия.

2335. В самом деле, пусть стерженек будет направлен не параллельно поверхности магнитного полюса и, стало быть, будет стоять не под прямым углом к результирующей магнитной силе. Пусть угол, который он образует с ней, будет, например, 45° ; тогда индукционные токи будут двигаться вообще в плоскости, более или менее соответствующей указанному углу, подобно тому, как это они делают в пробной катушке (2333), если ее установить под таким же углом. Вследствие этого полярная ось медного стержня отклоняется в сторону, так что северная полярность теперь находится не прямо против северного полюса индуцирующего магнита; вследствие этого действие этого полюса, как и другого магнитного полюса, на обе полярности магнита будет клониться к тому, чтобы еще больше повернуть стержень и поставить его боком к полюсам, т. е. так, чтобы ширина его была параллельна проходящей через стержень магнитной равнодействующей (2323). Таким образом, стержень получает импульс, и создается впечатление, что ближайший к магниту конец стерженька получает толчок по направлению к магниту. Это действие, конечно, прекращается тотчас же, как только прекращается нарастание магнетизма сердечника катушки; тогда прекращается вызываемое

этой причиной движение, и медь подпадает под одно то действие, которое было описано выше (2295). В то же самое время, как происходит этот вращательный сдвиг, т. е. проделывается весьма малая часть оборота вокруг точки подвеса, центр тяжести всей массы отталкивается; таким образом, полагаю, объясняются все действия, происходящие в рассмотренных до сих пор условиях.

2336. Теперь скажем о отвлечении, которое наблюдается при прекращении электрического тока и спаде магнетизма в сердечнике. Согласно закону магнитоэлектрической индукции при исчезновении магнитной силы в медном стерженьке индуцируются кратковременные токи (28), но в направлении, противоположном тем токам, которые индуцировались в первом случае. Поэтому в той части меди, которая расположена ближе всего к северному полюсу, будет возникать южный полюс, а в той части ее, которая расположена дальше всего от того же полюса, образуется северный полюс. Вследствие этого проявится действующая на стерженек сила, которая будет стремиться повернуть его вокруг точки подвеса в направлении, противоположном предшествующему, и отсюда наблюдается отвлечение, ибо ближайший к магнитному полюсу угол стержня от него отступит, широкая поверхность (2323) или длина (2315) стержня повернется лицом к магниту, и произойдет действие, во всех отношениях противоположное первому действию, за исключением одного обстоятельства: в то время, как тогда движение составляло лишь немного градусов, в настоящем случае оно может дойти до двух или трех оборотов.

2337. Причина этого различия вполне очевидна. В первом случае медный стерженек двигался под действием влияний, которые сильно стремились его замедлить и остановить (2329); во втором случае этих влияний не стало, и стержень свободно вращается с силой, пропорциональной той силе, с которой магнит действует на токи, которые он сам индуцирует.

2338. Медь может иметь такую форму, что не дает направленной под углом составляющей магнитного действия инду-

цированных в ней токов, например, когда она представляет собою куб или шар; но и в этом случае вышеописанное действие все-таки проявляется (2325). Я взял медную пластину толщиной около трех четвертей дюйма и весом в два фунта, положил ее на несколько свободных деревянных колодок и заставил ее висеть на расстоянии около 0.2 дюйма от поверхности магнитного полюса; тогда при включении батареи она отталкивалась и удерживалась в некотором отдалении, пока батарея была замкнута; когда же я размыкал ток батареи, пластина возвращалась обратно к полюсу. Но это возвращение происходило с гораздо большей силой, чем когда оно вызывалось только тяжестью (как это было установлено с помощью опыта): пластина в этот момент действительно *притягивалась* к магниту и вместе с тем стремилась к нему благодаря тяготению, в результате чего сильно ударяла по магниту.

2339. Таково, полагаю, объяснение тех своеобразных явлений, которые медь дает в магнитном поле. А причину того, что эти явления обнаруживаются с этим металлом, но не обнаруживаются с висмутом или тяжелым стеклом, можно почти наверняка найти в его высокой электропроводности, что создает возможность возникновения в нем токов под действием индуктирующих сил, чего последние не могут произвести в соответствующей степени в висмуте и, конечно, совершенно не могут произвести в тяжелом стекле.

2340. Обычный магнетизм, свойственный металлам благодаря присущей им способности, или же наличие в них небольших долей магнитных металлов, должны противодействовать развитию тех явлений, которые я описал выше. Поэтому металлы, не обладающие абсолютной чистотой, нельзя в этом отношении сравнивать друг с другом. Тем не менее я наблюдал эти же явления и у других металлов; что же касается медлительности при вращательном движении, то я замечал ее даже у висмута. Нижеследующие металлы в большей или меньшей степени дали эти явления:

Медь.	Ртуть.
Серебро.	Платина.
Золото.	Палладий.
Цинк.	Свинец.
Кадмий.	Сурьма.
Олово.	Висмут.

2341. Согласие этих явлений с прекрасным открытием Араго (Arago),¹ с результатами опытов Гершеля (Herschel) и Бабеджа (Babbage)² и с моими собственными прежними изысканиями (81)³ вполне очевидно. Таковым ли было по своей природе то явление, которое получил Ампер со своим медным цилиндром и катушкой,⁴ об этом я не могу судить, поскольку не было приведено достаточно данных об условиях этого опыта и о мощности прибора, но, вероятно, оно было именно таким.

2342. Так как в силу других моих обязанностей может пройти три или четыре недели раньше, чем я окажусь в состоянии закончить проверку некоторых опытов и заключений, я сейчас представляю вниманию Королевского общества настоящие результаты, а в скором времени в другой серии настоящих Исследований я представлю доклад о действии магнитов на магнитные металлы, о действии их на газы и пары, а также представляю общие соображения по этим вопросам.

*Королевский институт,
27 ноября 1845 г.*

¹ Annales de Chimie, XXVII, 363; XXVIII, 325; XXXII, 213. И очень рад указать здесь на номер Comptes Rendus от 9 июня 1845, из которого видно, что г. Араго первый получил свои своеобразные результаты как с помощью электромагнита, так и с помощью обыкновенного магнита

² Philosophical Transactions, 1825, стр. 467.

³ Там же, 1832, стр. 146.

⁴ Bibliothèque Universelle, XXI, стр. 48.

ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ СЕРИЯ¹

Раздел 27. О новых магнитных действиях и о магнитном состоянии всякого вещества (продолжение). Глава V. Действие магнитов на магнитные металлы и их соединения. Глава VI. Действие магнитов на воздух и газы. Глава VII. Общие соображения.

—Поступило 24 декабря 1845 г. Доложено 8 января 1846 г.

РАЗДЕЛ 27

О НОВЫХ МАГНИТНЫХ ДЕЙСТВИЯХ, И О МАГНИТНОМ СОСТОЯНИИ ВСЯКОГО ВЕЩЕСТВА

ГЛАВА V

Действие магнитов на магнитные металлы и их соединения

2343. Хорошо известны магнитные свойства железа, никеля кобальта. Известен также тот факт, что при определенных температурах они свои обычные свойства теряют и при обычном испытании и наблюдении становятся немагнитными; они попадают таким образом в список диамагнитных тел и ведут себя подобно последним. Однако более близкое исследование показало мне, что они все-таки очень отличаются от других тел, что хотя в накаленном состоянии они представляются неактивными с обычными магнитами при обычных испытаниях, они являются таковыми не абсолютно, сохраняют известную величину магнитной силы при любой температуре и что эта

¹ Philosophical Transactions, 1846, стр. 41.

сила по своим свойствам тождественна с той, какой они обладают при обычных условиях.

2344. Кусочек железной проволоки, около дюйма длины и 0.05 дюйма в диаметре, был тщательно очищен, а затем подвешен за свою середину к тонкой платиновой проволоке; последняя была присоединена к подвесной нити (2249); таким образом кусочек висел между полюсами электромагнита. Он был нагрет с помощью спиртовой лампы и скоро достиг такой температуры, что стал совершенно нечувствительным к присутствию хорошего обыкновенного магнита, как бы близко последний ни подносили к накалившему железу. После этого путем регулировки лампы температура железа значительно повышалась и вводился в действие электромагнит. Накаленное железо тотчас же становилось магнитным и располагалось от полюса к полюсу. Магнитная сила его была невелика, и в этом отношении состояние железа находилось в разительном контрасте с тем состоянием, в каком оно находилось, когда оно было холодным; но характер силы был совершенно тот же.

2345. После этого я давал железу возможность постепенно охладиться — так, чтобы можно было проследить за усилением его магнитного состояния. Интенсивность силы, по-видимому, не повышалась, пока температура не приближалась к определенной точке; а когда затем тепло продолжало убывать, то железо быстро, но не мгновенно, приобретало свою высокую магнитную способность. Тогда его нельзя было удерживать на расстоянии от магнита; оно летело к нему, причем изгибало подвесной провод, и, пристав к одному из концов сердечника, дрожало, как бы от своей магнитной энергии.

2346. Подобным же образом был подвергнут экспериментальному испытанию небольшой стерженек из никеля. Этот металл, как я показал,¹ теряет свой магнетизм, если об этом судить на основании обычного испытания, несколько ниже

¹ Philosophical Magazine, 1836, VIII, стр. 179, или Experimental Researches, т. II, стр. 219; [Эксперимент. иссл., т. II, стр. 305].

теплоты кипящего масла, вследствие чего он весьма пригоден для того, чтобы выяснить, полностью ли магнитные металлы теряют под влиянием теплоты свою способность, или нет, а также, как происходит утрата всей или большей части их силы: сразу или же постепенно. Малый размер массы, над которой предстояло произвести этот опыт, очень благоприятствовал выяснению последнего вопроса. Будучи нагрет, никель скоро становился безразличным по отношению к обыкновенным магнитам; но даже при высокой температуре он все же принимал определенное положение в электромагните и притягивался к нему. Сила его была весьма незначительна, но несомненна. Ее было едва достаточно для того, чтобы держать никель на весу одним лишь магнитным действием, но она в полной мере выяснилась, когда металл был подвешен вышеуказанным способом (2344).

2347. Осторожно понижая температуру никеля, снова можно было установить, что переход от одной степени магнитной силы к другой происходит постепенно, а не мгновенно. При опытах с железом как при нагревании его, так и при охлаждении, трудно поддерживать все части его при достаточно близкой температуре, а потому не было уверенности в том, что в данном случае видимость средней степени магнетизма получается не благодаря соединению более горячих и более холодных участков. Но с никелем этого достичь не так трудно, так как при нем это изменение происходит более постепенно, и когда при охлаждении сила начинала нарастать, можно было затянуть охлаждение на некоторое время, прежде чем сила достигала полной своей величины. В течение этого срока можно было температуру слегка повысить, и хотя сила должна была тогда немного понизиться, ее можно было все-таки поддерживать на уровне, превышающем наиболее слабую силу. Было действительно нетрудно *поддерживать* никель на многих промежуточных степенях силы и таким образом устранить всякое сомнение в том, что полная величина силы достигается постепенно.

2348. Я высказывал когда-то мнение, причем основывался на различии температур, при которых магнитные металлы, по-видимому, теряют свои особые свойства,¹ что все металлы, по всей вероятности, оказались бы обладающими одинаковыми магнитными свойствами, если бы можно было достаточно понизить их температуру. Мне кажется, что описанные только что факты решительно говорят против этого мнения. Те металлы, которые являются магнитными, сохраняют часть своих магнитных свойств и после того, как произведено вышеописанное большое изменение, т. е. и в том состоянии, которое можно было бы назвать их диамагнитным состоянием. Другие же металлы, как висмут, олово и т. д., не обнаруживают ни следа их свойства; состояние, в котором они находятся, не есть состояние накаливаемого железа, никеля или кобальта. Действительно, последние располагаются по оси и притягиваются; остальные располагаются экваториально и отталкиваются. Поэтому я прошу разрешить мне взять обратно это мнение, высказанное мною ранее.

2349. Затем я исследовал разные виды перекиси железа и в согласии с наблюдениями Беккереля² и других нашел, что обе они, — как естественная, так и искусственная, — обладают при обычных температурах магнитной способностью. Я нагревал их в трубках, но нашел, что они остаются все же магнитными и не испытывают ослабления этого свойства при тех температурах, которым я мог их подвергнуть.

2350. Было установлено, что различные образцы окиси никеля обнаруживают те же явления. Они были магнитными как в горячем, так и в холодном состоянии. То обстоятельство, что теплота в данном случае не вызывает никаких изменений, является тем более поразительным, что температура, сообщен-

¹ Philosophical Magazine, 1836, VIII, стр. 177; там же, 1839, XIV, стр. 161, или Experimental Researches, т. II, стр. 217, 225. [Эксперимент. иссл., т. II, стр. 305 и 312].

² Annales de Chimie, 1827, стр. 337. Comptes Rendus, 1845, XX, стр. 1708.

ная окиси, была гораздо выше той, какая необходима, чтобы произвести большое магнитное изменение в самом металле (2346).

2351. Окись кобальта тоже оказалась магнитной, и притом одинаково магнитной в горячем и холодном состоянии. Стекло, окрашенное кобальтом в синий цвет, является, в результате присутствия в нем окиси названного металла, магнитным как в горячем, так и в холодном состоянии. Во всех этих случаях величина сохраняющихся магнитных свойств оказалась очень незначительной по сравнению со свойствами чистого металла.

2352. Перейдя затем к *солям* железа, я нашел, что и они магнитны. Чистые кристаллы протосульфата железа притягивались и очень хорошо устанавливались по оси. Так же обстояло дело и с сухой солью. Продолжая это исследование, я нашел, что всякая соль и соединение, содержащие в основной своей части железо, оказываются магнитными. Было бы утомительно перечислять все вещества, которые были подвергнуты испытанию. Нижеследующие вещества приведены для того, чтобы дать понятие о разнообразии их видов:

Протохлорид.	Протофосфат.
Перхлорид.	Перфосфат.
Иодид.	Нитрат.
Протосульфат.	Карбонат.
Персульфат.	Берлинская лазурь.

2353. Из естественных соединений:

Бурый железняк.	Железный колчедан.
Гематит.	Мышьяковый колчедан.
Хромат железа.	Медный колчедан.

Много других также оказались магнитными.

2354. Зеленое бутылочное стекло благодаря содержащемуся в нем железу сравнительно весьма магнитно; им нельзя пользоваться в виде трубок для исследования в них других веществ.

По той же причине магнитен и кронглас. Флинтглас не магнитен и устанавливается экваториально.

2355. Кристаллы желтой кровяной соли оказались немагнитными; они отталкивались и устанавливались экваториально; так же обстояло дело с красной кровяной солью.

2356. Согласно моим ожиданиям, растворы железных солей как водные, так и спиртовые оказались магнитными. Трубка, наполненная прозрачным раствором прото- или персульфата, а также прото- или перхлорид железа или растворов муриата железа притягивалась полюсами и очень хорошо устанавливалась между ними в осевом направлении.

2357. Эти растворы представляют собою очень важное средство для дальнейшего развития магнитных исследований, так как они дают нам возможность устроить магнит, который является одновременно жидким и прозрачным и в известных пределах дает возможность довести себя до любой степени силы. Отсюда получается возможность оптического исследования магнита. Отсюда получается также возможность помещать одни порции магнитного вещества внутри других и таким образом наблюдать динамические и иные явления в магнитных средах. В самом деле, можно не только помещать эти вещества в магнитном поле как магниты, но можно вообще заполнить ими поле и тогда испытывать другие тела и другие магниты с точки зрения их совместного или отдельного действия в этом поле (2361 и т. д.).

2358. Что касается солей никеля и кобальта, то чистые кристаллы сульфата никеля оказались отчетливо магнитными, таким же образом и чистые кристаллы сульфата кобальта. Растворы сульфата никеля, хлорида никеля и хлорида кобальта точно также оказались магнитными. Для того, чтобы быть вполне уверенным в этом, я обратился к м-ру Аскину в Бирмингеме, который хорошо известен своим умением отделять никель и кобальт друг от друга и от других металлов; известен и масштаб, в каком он производит эти операции; он любезно прислал мне раствор хлорида никеля, а также совершенно чистый рас-

твор хлорида кобальта. Между полюсами моего магнита оба они оказались определенно магнитными.

2359. Нагревание любого из этих магнитных растворов не уменьшало их магнитных свойств и вообще на них не влияло.

2360. Эти результаты, полученные с солими магнитных металлов, вместе с изложенными выше доказывают, по-видимому, что никаким изменением температуры нельзя немагнитные материалы сделать магнитными (2398) и что они представляют собою класс, отличный от железа, никеля и кобальта; ибо ни одно из соединений немагнитных металлов до сих пор не обнаружило какого-либо следа обычной магнитной силы, между тем как все соединения названных трех металлов ею обладают.

2361. Чтобы дать представление о силе, которую железные и другие подобные соединения обнаруживают при исследовании магнитных явлений (2357), а также ввиду тех общих выводов, которые предстоит сделать из всех описанных в настоящем сообщении фактов, я перейду к описанию некоторых наперед ожидавшихся результатов, которые были получены при работе с этими соединениями в магнитном поле.

2362. Был изготовлен прозрачный раствор протосульфата железа, в котором одна унция жидкости содержала в себе семьдесят четыре грана гидратированных кристаллов. Был изготовлен второй раствор, содержащий в себе один объем вышеуказанного раствора и три объема воды. Был сделан третий раствор из одного объема крепкого раствора и пятнадцати объемов воды. Я обозначу эти растворы номерами 1, 2 и 3; отношение кристаллов сульфата железа в них составляло соответственно около 16, 4 и 1 процента. Таким образом, можно считать, что именно эти числа определяют [только приблизительно (2423)] силу магнитной части этих жидкостей.

2363. Были изготовлены трубки вроде тех, какие были описаны выше (2279); они были наполнены указанными выше растворами и затем герметически запечатаны; при этом в них было оставлено возможно меньше воздуха. Были также изго-

товлены стеклянные сосуды для этих жидкостей; они были достаточно велики для того, чтобы в них свободно могли двигаться трубки, но в то же время такого размера и формы, чтобы их можно было установить между магнитными полюсами. Этим путем можно было исследовать и наблюдать действие магнитных сил на вещество внутри трубок: с одной стороны, когда трубки находились в диамагнитных средах, как воздух, вода, спирт и д. т., с другой — когда они находились в магнитных средах, а последние могли обладать либо большей, либо меньшей магнитной силой, чем вещества в трубках.

2364. Когда эти трубки были подвешены в воздухе между полюсами, то все они располагались аксиально, т. е. по направлению магнитной силы, как этого и можно было ожидать; притом сила была, видимо, пропорциональна крепости раствора. Когда они были погружены в спирт или в воду, то они тоже устанавливались в этом же направлении: наиболее крепкий раствор — очень хорошо, точно также и второй, но наиболее слабый раствор действовал слабо, хотя характер действия был вполне отчетлив (2422).

2365. Когда эти действия производились над трубками, погруженными в различные жидкости, содержавшие в себе железо, то результаты оказались весьма интересными. Трубка № 1 (наиболее сильная в магнитном отношении), находясь в растворе № 1, не проявила стремления завянуть под влиянием магнитной силы каков-нибудь особое положение, а оставалась в любом месте, куда бы она ни попала. Когда она находилась в растворе № 2, она хорошо устанавливалась в аксиальном направлении; в растворе № 3 она занимала то же положение, но еще с большей силой.

2366. Трубка № 2, находясь в растворе № 1, располагалась экваториально, т. е. подобно тяжелому стеклу, висмуту, или вообще диамагнитному телу, находящемуся в воздухе. В растворе № 2 она была безразлична и не устанавливалась ни в каком определенном положении, а в растворе № 3 устанавливалась в аксиальном направлении, т. е. подобно магнитному телу.

Трубка № 3, содержащая в себе наиболее слабый раствор, устанавливалась экваториально в растворах №№ 1 и 2 и не принимала никакого определенного направления в растворе № 3.

2367. Были приготовлены другие содержащие в себе железо растворы различной крепости; как общий и постоянный результат, было установлено, что каждая трубка устанавливалась в аксиальном направлении, когда раствор в ней был крепче окружающего ее раствора, и экваториально, когда раствор в трубке был из этих двух растворов слабейшим.

2368. Теперь трубки подвешивались вертикально, так что, находясь в различных растворах, они могли быть поднесены близко к одному из магнитных полюсов; тогда с ними можно было производить такие же опыты, как с пробным кубиком или шариком из висмута или из тяжелого стекла (2266). При этом получался постоянный результат, а именно: когда трубка содержала в себе более крепкий раствор, чем тот, который ее окружал, то она притягивалась к полюсу, а когда раствор в ней был слабее, то она отталкивалась. Последние явления были по своему внешнему виду во всех отношениях тождественны тем, какие наблюдались при отталкивании в воздухе тяжелого стекла, висмута и любого другого диамагнитного тела.

2369. Описав эти явления, я отложу дальнейшее их рассмотрение до последнего раздела настоящего доклада, а сейчас перейду к некоторым наблюдениям, которые имеют более близкое отношение к данной части настоящих исследований.

2370. Так как магнитные металлы — железо, никель и кобальт — дают в своих соединениях вещества, которые точно так же, в отличие от других, обладают магнитными свойствами (2360), то представлялось весьма вероятным, что этим путем может быть испытана магнитная природа других металлов, о магнитных свойствах которых были высказаны сомнения ввиду возможного присутствия в исследованных образцах железа; ибо представлялось вероятным, рассуждая по аналогии, что каждый металл, который сам по себе является магнит-

ным, будет магнитным и в своих соединениях и что, судя по общим свойствам большого класса диамагнитных тел (2275), нельзя будет получить магнитных соединений от такого металла, который сам по себе не является магнитным. В соответствии с этим я воспользовался указанным способом испытания в отношении к соединениям многих металлов и получил следующие результаты.

2371. **Т и т а н.** Воуластон описал магнитные явления с кристаллами титана и высказал в то же время мнение, что эти явления обязаны своим происхождением железу.¹ Я взял образец окиси титана, который, как я полагаю, был совершенно свободен от железа, и, заключив его в трубку (2279), подверг действию электромагнита (2246, 2247). Он оказался вполне магнитным. Другой образец, полученный от м-ра Джонсона, который считал его совершенно свободным от железа, оказался тоже магнитным. Отсюда я заключаю, что титан действительно является магнитным металлом.

2372. **М а р г а н е ц.** Насколько мне известно, Бертье первый указал, что этот металл при низких температурах является магнитным.² Я подвергал образцы различных кислородных соединений, которые считались чистыми, действию магнитной силы, и все они оказались магнитными, в особенности протоксида. Магнитными оказались следующие марганцевые соединения в чистом, сухом или кристаллическом состоянии: хлорид, сульфат, аммонийный сульфат, фосфат, карбонат, борат, равно как растворы хлорида, нитрата сульфата и аммонийного сульфата. Образец последней соли я подщелачивал, для чего прибавлял небольшое количество карбоната аммония; затем подвергал соль кипячению и, наконец, трижды тщательно перекристаллизовал. После этого кристаллы и раствор очищенной соли оказались вполне и отчет-

¹ Philosophical Transactions, 1823, стр. 400.

² Traité des Essais par la Voie Sèche, I, стр. 532; Philosophical Magazine, 1845, XXVII, стр. 2.

ливо магнитными. Поэтому у меня нет никаких сомнений в том, что марганец, как это высказал Бертье, является магнитным металлом. Если можно позволить себе составить мнение о магнитной силе металла на основании степени магнетизма его соединений, то я полагал бы, что марганец должен обладать значительной магнитной силой, когда находится при достаточно низкой температуре.¹

2373. Ц е р и й. Мне неизвестно, чтобы церий до сих пор относили к числу магнитных металлов. Прюделав опыты с гидратным протоксидом, карбонатом и хлоридом этого металла, а также с двойным сульфатом окиси церия и калия, которые были приготовлены с большою тщательностью, я нашел, что все они магнитны, а те из них, которые растворимы, магнитны в растворенном состоянии. Поэтому, поскольку соединения являются несомненно магнитными, имеются все основания полагать, что церий представляет собою магнитный металл (2370).

2374. Х р о м. Магнитные явления у соединений хрома очень интересны. Некоторые количества хромата и бихромата калия были очищены каждый путем трехкратной тщательной перекристаллизации; часть бихромата нагревалась в платиновом тигле до тех пор, пока второй эквивалент хромовой кислоты не превратился в кристаллический оксид, который и был отмыт и высушен; он оказался явно магнитным. Таковы же были и все другие образцы оксида хрома, которые были подвергнуты испытанию.

Образчик Уаррингтоновской (Warrington) хромовой кислоты оказался очень слабо магнитным.

2375. Хромат свинца, будучи подвергнут действию магнита, устанавливался экваториально и отталкивался. Так же обстояло дело с кристаллами хромата калия. Однако кристаллы бихромата калия вели себя иначе, а именно, когда их подвергали каким-либо образом магнитному действию, то они ока-

¹ Philosophical Magazine, 1845, XXVII, стр. 2.

ывались весьма слабо магнитными, обнаруживая этим влияние возросшей доли хромовой кислоты. Растворы обеих солей устанавливались экваториально и отталкивались, обнаруживая этим диамагнитное влияние присутствующей воды (2422).

2376. Как было только что указано, раствор бихромата, находившийся в трубке, располагался экваториально и отталкивался. Но затем к этому же раствору прибавлялось немного спирта или же небольшое количество чистой соляной или серной кислоты, и раствор в течение нескольких минут подогревался для восстановления хромовой кислоты до степени оксида или хлорида; если теперь влить его снова в трубку и подвергнуть влиянию магнита, то он оказывается сильно магнитным.

2377. Помнится, уже раньше высказывалось мнение, что хром является магнитным металлом. Так как указанные выше результаты были получены с его чистыми соединениями, то теперь для меня не остается никаких сомнений в том, что дело обстоит именно таким образом.

2378. С в и н е ц. Соединения свинца устанавливаются экваториально и отталкиваются. Испытанию были подвергнуты хлорид, иодид, сульфид, нитрат, сульфат, фосфат, карбонат, плавленный протоксид и ацетат. Небольшое количество тщательно перекристаллизованного нитрата было растворено и затем осаждено чистым цинком; полученный таким образом свинец был промыт разбавленной азотной кислотой для удаления неполных солей. Полученный таким образом свинец оказался свободным от магнетизма, вследствие чего этот металл как сам, так и при посредстве своих соединений попадает в разряд диамагнитных тел.

2379. П л а т и н а. Из образцов этого металла в деле я до сих пор не нашел таких, которые были бы свободны от магнетизма, даже из тех, которые были изготовлены лично м-ром Волластоном и пожертвованы им Королевскому обществу. Образцы чистой платины, полученные от м-ра Джонсона, тоже оказались слабо магнитными.

2380. Фольга и опилки чистой платины были растворены в чистой царской водке, и раствор был выпарен досуха. Как раствор, так и сухой хлорид устанавливались экваториально и отталкивались магнитом. Часть хлорида была растворена, подкислена и осаждена кислым раствором хлорида аммония; хлороплатинат аммония был отмыт и высушен. Он точно так же устанавливался в магните экваториально и отталкивался последним. Часть этого хлороплатината была разложена действием тепла в трубке из флинтгласа и превратилась в губчатую платину, которая, будучи спрессована в плитку, устанавливалась *аксиально* и притягивалась к магнитному полюсу, оказавшись таким образом магнитной.

2381. В настоящее время я полагаю, что платина как металл магнитна, хотя и в очень слабой степени. А в соединениях платины изменения ее состояния и присутствия других веществ, имеющих диамагнитную природу, достаточны для того, чтобы перекрыть указанное ее свойство и сделать все соединение диамагнитным (2422).

2382. П а л л а д и й. Весь находящийся в распоряжении Королевского общества палладий, приготовленный д-ром Волластоном, в общей сложности десять слитков и прокатанных листов, оказался магнитным. Поступившие от м-ра Джонсона образцы этого металла, которые признавались чистыми, оказались тоже слегка магнитными. Хлорид палладия, двойная двуххлористая соль с аммонием и цианид палладия устанавливались экваториально и отталкивались магнитом. Тот же цианид палладия, восстановленный нагреванием в открытом платиновом сосуде или в закрытой стеклянной трубке, дал палладий, обладающий в незначительной степени магнитными свойствами. Некоторое количество Волластонова палладия было растворено в чистой царской водке, и на этот раствор медленно действовали чистым цинком, свободным от железа и не магнитным. Было собрано последовательно пять порций осажденного металла, и все они оказались *магнитными*. На того же раствора с помощью чистого кислого хлорида ам-

мония была приготовлена двойная двухлористая соль аммония и палладия, которая была растворена в царской водке. Соль сама по себе отталкивалась, будучи диамагнитной. Но когда она была восстановлена нагреванием в стеклянной трубке или фарфоровом тигле, то полученный при этом палладий оказался магнитным. На основании результатов всех этих опытов я полагаю, что рассматриваемый металл является слабо, но определенно магнитным.

2383. Мышьяк. Этот металл потребовал совершенно особого исследования, и даже после двух- или трехкратной последовательной вогонки он вел себя таким образом, что иногда я должен был относить его к магнитным, а иногда — к диамагнитным телам. В общем, я склонен думать, что он принадлежит к последней группе веществ, причем он лишь на малую ступень отстает от нулевой или средней точки. Чистый белый мышьяк легко устанавливается в экваториальном направлении и отталкивается магнитным полюсом.

2384. По поводу установки коротких стержней между магнитными полюсами с большими плоскими поверхностями я должен заметить, что такие стержни принимают иногда аксиальное положение и кажутся магнитными, хотя они не принадлежат к этому классу, и отдельным полюсом отталкиваются. Причина этого явления была изложена выше (2298, 2299); ее можно устранить; для этого полюсы, которые служат для опытов, должны иметь клинообразные или конусообразные концы.

2385. Осмий. Осмиевая кислота от м-ра Джонсона в тонких прозрачных кристаллах была явно диамагнитной, так как она отталкивалась. Образцы этого металла и его протоксида были слегка магнитны. Протоксид был получен действием спирта на раствор осмиевой кислоты, которая была дважды перегнана с водой; металл можно было считать совершенно свободным от других веществ. Таким образом, возможно, что осмий принадлежит к разряду магнитных тел.

2386. И р и д и й. М-р Джонсон снабдил меня несколькими предаратами иридия. Оксид, хлорид и двойная хлористая соль с аммонием оказались магнитными; таковым же оказался один образец самого металла. Другой образец его, который казался очень чистым, был вряд ли магнитным. В общем я склонен думать, что иридий не допадает в разряд магнитных тел.

2387. Р о д и й. Хорошо отлитый образец этого металла, изготовленный д-ром Волластоном, оказался магнитным, но кристаллы хлорида и двойной хлористой соли натрия и родия, изготовленные тем же ученым, а равно другие кристаллы, полученные от м-ра Джонсона, оказались немагнитными, и прекрасно устанавливались в экваториальном направлении. Поэтому я считаю, что рассматриваемый металл, по всей вероятности, не магнитен, а если магнитен, то лишь немного отступает от нулевой точки.

2388. У р а н. Пероксид урана оказался немагнитным; протоксид его — очень слабо магнитным. Этот металл я отнес пока к диамагнитному разряду.

2389. В о л ь ф р а м. Был исследован оксид этого металла, а также его кислота; было найдено, что они определенно устанавливаются экваториально. Кислота отчетливо отталкивалась отдельным магнитным полюсом; оксид казался почти нейтральным. Поэтому пока я признаю вольфрам диамагнитным металлом.

2390. С е р е б р о немагнитно (2291); немагнитны и его соединения.

2391. С у р ь м а немагнитна (2291) так же, как и ее соединения.

2392. В и с м у т немагнитен (2291) так же, как его соединения.

Я подверг испытанию большое число соединений каждого из этих трех металлов и считал бы уместным отметить согласие, существующее между данными для этих соединений и их металлических оснований (2370).

2393. Натрий. Прекрасный крупный шарик, объемом в пол кубического дюйма, ясно отталкивался; следовательно, он являлся диамагнитным.

2394. Магний. Ни одно из соединений или солей этого основания не является магнитным.

2395.	Кальций.	Натрий.
	Стронций.	Калий.
	Барий.	Аммоний.

Ни одно из соединений или солей этих веществ не является магнитным.

2396. Таким образом, из свойств соединений, равно как из прямых указаний, касающихся некоторых металлов, по-видимому, следует, что кроме железа, никеля и кобальта магнитными являются также следующие металлы: титан, марганец, церий, хром, палладий, платина. Весьма вероятно, однако, что могут существовать металлы, которые обладают определенными магнитными свойствами, но в столь слабой степени, что подобно платине и палладию они не проявляют в своих соединениях никакого ее следа. Так может обстоять дело с вольфрамом, ураном, родием и др.

2397. Некоторые из диамагнитных металлов я нагрел и доводил даже до точки их плавления, но не мог заметить никакого изменения ни в характере, ни в степени их магнитных свойств.

2398. Возможно, что охлаждение некоторых из тех металлов, соединения которых, подобно соединениям железа, никели и кобальта, являются магнитными, могло бы вызвать в них силу более высокой степени, чем та, какой они обладают по нашим нынешним сведениям. С этой точки зрения очень большой интерес представляют марганец, хром, церий, титан. Осмий, иридий, родий и уран заслуживают того, чтобы подвергнуть их тому же испытанию.

2399. В нижеследующем я делаю попытку расположить некоторые из металлов в ряд с точки зрения их отношения к маг-

нитной силе. При этом предполагается, что 0° или средняя точка представляет собою состояние металла или вещества, безразличного к магнитной силе в смысле их притяжения или отталкивания в воздухе или в пустом пространстве. Чем дальше от этой точки стоит вещество, тем яснее оно проявляет способность притягиваться или отталкиваться магнитом. Тем не менее несма возможно, что при более тщательном исследовании этот порядок окажется неточным:

	<i>Д и а м а г н и т н ы е</i>	
		Висмут.
		Сурьма.
		Цинк.
		Олово.
		Кадмий.
М а г н и т н ы е		Натрий.
Железо.		Ртуть.
Никель.		Свинец.
Кобальт.		Серебро.
Марганец.		Медь.
Хром.		Золото.
Церий.		Мышьяк.
Титан.		Уран.
Палладий.		Родий.
Платина.		Иридий.
Осмий.		Вольфрам.
		0°

ГЛАВА VI

Действие магнитов на воздух и газы

2400. При экспериментальном исследовании, подобном тому, которое было только что описано, можно было добиться какого-либо успеха только одним способом: руководствоваться какими-нибудь теоретическими предположениями о способе

действия тел, вызывающих эти явления. Когда я бегло разбирался в этих предположениях, наибольший интерес, казалось мне, представляло то, по-видимости, среднее состояние, которое среди магнитных и диамагнитных веществ занимает в е в д у х; это привело меня ко многим опытам над его возможным влиянием; эти опыты я теперь вкратце опишу.

2401. Тонкая трубка из флинтгласа, в которую герметически был заключен обыкновенный воздух, подвешивалась в воздухе между магнитными полюсами (2249), и наблюдалось действие на нее магнитной силы. При этом выявилось некоторое очень слабое стремление трубки занимать экваториальное положение; оно было обязано своим происхождением веществу трубки, в которой был заключен воздух.

4202. После этого воздух вокруг трубки был в большей или меньшей степени удален, а под конец — выкачан до того максимального предела, какого можно было достичь с помощью хорошего воздушного насоса. Но какова бы ни была степень разрежения, наблюдение показывало, что действие, которое испытывала трубка с воздухом, совершенно таково же, как если бы она была окружена воздухом его естественной плотности.

2403. Тогда я окружал трубку последовательно водородом и углекислотой. Однако и в первом и во втором газе, равно как при различных степенях разрежения этих газов, трубка с воздухом оставалась столь же безразличной, как раньше.

2404. Отсюда, по-видимому, следует, что не существует никакой заметной разницы между плотным и разреженным воздухом или, поскольку это можно заключить из настоящих опытов, между одним газом или паром и каким-нибудь другим.

2405. Нельзя было считать совершенно невероятным, что экваториальное и аксиальное положение тел или их отталкивание и притяжение могут быть связаны с противоположными действиями окружающей их среды (2361); поэтому я перешел к изучению того, что может произойти с диамагнитным веществом, если изменить плотность или природу окружающего его

воздуха или газа, и что может случиться с самим воздухом, если его окружить этими веществами.

2406. Трубка с воздухом (2401) подвешивалась горизонтально в воде (под поверхностью воды она удерживалась висмутным кубиком, укрепленным на ней как раз под точкой подвеса, так что он не мог повлиять на ее направление). Затем она подвергалась действию магнитных сил и при этом немедленно устанавливалась явно в аксиальном направлении, т. е. так, как это произошло бы с магнитом. Если она была ближе к какому-нибудь полюсу, то при возникновении магнитной силы она приходила в движение, как если бы она притягивалась наподобие магнитного тела; так это происходило все время, пока оставалась в действии магнитная сила.

2407. Трубка с воздухом подвергалась действию магнитной силы таким же образом, но погружалась при этом в спирт и в терпентинное масло; результаты оказались те же, что и в воде. Во всех этих случаях действие воздуха в жидкостях было в точности таким же, как действие магнитного тела в воздухе. Трубка с воздухом подвергалась действию магнита даже под поверхностью ртути, но и здесь она устанавливалась в аксиальном направлении.

2408. Для того, чтобы расширить экспериментальные данные о воздухе и газах, я стал помещать в них вещества из разряда диамагнитных. Так, внутри сосуда с воздухом был подвешен стержень из тяжелого стекла (2253), а затем воздух около него был более или менее разрежен; однако, как и раньше, при опытах с трубкой, наполненной воздухом (2402), изменения такого рода не производили никакого действия. Все равно, каков был воздух, в котором находился стержень: при обычном давлении, или разрежен до предела, какого можно было достичь с помощью насоса, он всегда устанавливался экваториально и, по-видимому, эта сила все время была одинакова.

2409. Внутри сосуда подвешивался стерженец из висмута (2296), и плотность воздуха подвергалась тем же изменениям,

что и раньше, но это не вызвало никакой перемены в действии на висмут — ни по роду этого действия, ни по его величине. После этого в сосуд вводились последовательно углекислый и водородный газы; они точно так же находились внутри сосуда при различных разрежениях, но результаты оставались прежними: в действии на висмут не произошло никаких изменений.

2410. Кубик из висмута подвешивался в воздухе и в газах при обыкновенном давлении, а также в газах, разреженных до пределов возможного; при этих различных условиях я подводил его к магнитному полюсу и наблюдал его отталкивание. Действие его во всех этих случаях было совершенно таким же, как в воздухе.

2411. Медная палочка (2323) вертикально подвешивалась в *вакууме* ближе к одному магнитному полюсу, но ее положение, замедлительные движения и отвлечение (*revulsion*) оказались совершенно теми же, что и раньше в воздухе (2324).

2412. Трубки (2401) с вакуумом, воздухом, водородом, углекислым газом, сернистым газом и парами эфира были погружены в воду и затем подвергнуты действию магнитной силы. Все они устанавливались в аксиальном направлении и — насколько я мог заметить — с одинаковой силой. Когда они были погружены в спирт, имело место то же явление.

2413. Те же трубки, когда они были окружены воздухом или углекислым газом, все устанавливались в экваториальном направлении.

2414. Аксиальное положение трубок в жидкости (2412) сиянно, без сомнения, с отношением содержимого трубки к окружающей среде, ибо поскольку установка зависит от плотности трубки, то последнее стремилось бы сообщить ей экваториальное положение. В последовавших опытах (2413), при которых трубки с газами были окружены газами, экваториальное положение вызывалось именно этим действием стекла трубки; а если оно каждый раз вызывает свое слабое действие, остающееся неизменным при всех изменениях газов и паров,

то это доказывает только, насколько последние схожи друг с другом и не представляют различий.

2415. Я подвешивал трубку с жидкой серной кислотой в газообразной серной кислоте. Под действием магнита жидкость сейчас же устанавливалась экваториально. Я окружал жидкую азотную кислоту газообразной азотной кислотой; жидкость отчетливо устанавливалась экваториально. Я помещал жидкий эфир в парах эфира; первый устанавливался экваториально. Когда трубка с парами эфира была подвешена в жидком эфире, то пар устанавливался в аксиальном направлении.

2416. Таким образом, при всех видах испытания и при любой форме опыта газы и пары неизменно занимают положение, среднее между магнитным и диамагнитным разрядами веществ. Далее, каковы бы ни были химические и другие свойства этих веществ, как бы ни был различен их удельный вес и как бы ни изменялась степень их разрежения, все они оказываются одинаковыми по своему отношению к магнетизму и, видимо, не отличаются от совершенного вакуума. Тела с весьма заметными диамагнитными свойствами тотчас же теряют всякие следы этих свойств, как только приходят в газообразное состояние (2415). Было бы чрезвычайно интересно знать, испытало ли бы такое же изменение тело из разряда магнитных, например хлорид железа.

Г Л А В А VII

Общие соображения

2417. Таковы те факты, которые вместе с фактами, очерпаемыми из световых явлений, обнаруживают новое для нас магнитное действие или состояние материи. Под этим действием стерженек диамагнитного вещества обычно (2253, 2384) устанавливается перпендикулярно к магнитным силовым линиям; этот результат можно свести к более простому действию отталкивания вещества обоими магнитными полюсами. Указан-

ная ориентация стерженька диамагнитного вещества и отталкивание всей его массы существуют все время, в течение которого поддерживается магнитная сила; они прекращаются с ее прекращением.

2418. Под действием этого нового состояния силы движущееся тело может перемещаться либо *вдоль* магнитных линий, либо *поперек* их, причем оно может двигаться и вдоль и поперек в обоих направлениях. Таким образом, две массы вещества, находящиеся одновременно под действием этой силы, можно заставить приблизиться друг к другу, как если бы они взаимно притягивались, или же разойтись, как если бы они взаимно отталкивались. Все эти явления можно свести к тому, что масса такого вещества, находясь под магнитным действием, стремится двигаться из мест или точек большей силы в места или точки меньшей силы. Когда вещество окружено линиями магнитной силы одинаковой со всех сторон интенсивности, то оно не стремится двигаться и представляет собою тогда явный контраст с линейным током электричества, находящимся в тех же условиях.

2419. Это состояние и явление ново не *только* с точки зрения прояления действия магнита на тела, которые ранее считались безразличными к его влиянию, но *ново* и как магнитное действие, дающее нам другой способ, которым магнитная сила может проявить свое влияние. Эти два способа находятся в том же общем отношении противоположности друг с другом, как положительное и отрицательное в электричестве, как северное и южное в (магнитной) полярности, или как линии электрической и магнитной силы в магнито-электричестве; при этом диамагнитные явления оказываются более важными, так как они широко и в новом направлении распространяют то свойство двойственности, которым, как это было уже до некоторой степени ранее известно, магнитная сила обладает.

2420. Всякое вещество, по-видимому, подвержено действию магнитной силы; это — столь же универсальное явление, как то, что оно подвержено тяготению, силам электрической, хими-

ческой и сцеплению; ибо та материя, которая не подвержена ее влиянию способом обычного магнитного действия, подвержена ему тем способом, который я теперь описал, если только материя находится в это время в твердом или жидком состоянии. Таким образом, вещества рвспадаются, по-видимому, на два больших раздела: на разряд магнитных веществ и на разряд тел, которые я назвал диамагнитными; контраст между этими разрядами оказывается весьма большим и полным, хотя он и варьирует по величине, так что, когда вещество из одного разряда притягивается, то тело из другого разряда отталкивается, и где стержень из вещества одного разряда принимает некоторое определенное направление, там стержень из вещества другого разряда принимает направление, перпендикулярное к первому.

2421. До сих пор я не нашел еще ни одного твердого или жидкого тела, — если это только не смесь, — которое оказалось бы совершенно нейтральным по отношению к приведенным выше двум перечням тел, т. е. которое не притягивалось бы или не отталкивалось бы в воздухе. Для рассмотрения магнитного действия было бы, вероятно, важно знать, существует ли в природе простое вещество, обладающее таким свойством в твердом или жидком состоянии. Среди сложных или смешанных тел их может быть множество; и так как это может оказаться важным для прогресса экспериментального исследования, то я опишу те принципы, на основе которых было изготовлено такое вещество, когда понадобилось иметь его в качестве окружающей среды.

2422. Очевидно, что свойство магнитных и диамагнитных тел в отношении их динамических действий противоположны друг другу, и, стало быть, при надлежащем смешении тел из этих двух разрядов можно получить вещество, обладающее промежуточной степенью свойств каждого из них. Протосульфат железа принадлежит к магнитному разряду, а вода — к диамагнитному. Пользуясь этими веществами, я легко изготовил раствор, который, находясь в воздухе, не притяги-

вался и не отталкивался и не принимал определенного направления. Будучи окружен водою, этого растаор устанавливался по оси. Когда его несколько ослабляли в смысле содержания железа, то он в воде располагался в аксиальном направлении, а в воздухе — в экваториальном. Его можно было переводить все дальше в магнитный или в диамагнитный класс, прибавляя железный купорос или воду.

2423. Таким образом, была получена *жидкая* среда, которая практически, поскольку я это мог заметить, обладала всеми магнитными свойствами и действиями газа или даже вакуума; а так как у нас имеется как магнитное, так и диамагнитное стекло (2354), то, очевидно, можно изготовить *твердое* вещество, которое обладало бы такими же нейтральными магнитными свойствами.

2424. При нынешнем несовершенном состоянии нашего знания попытка составить общий список веществ была бы весьма преждевременной. Поэтому нижеприведенный список дан только для того, чтобы составить себе представление о своеобразном порядке, в каком тела располагаются по отношению к магнитной силе, а также для того, чтобы быть некоторой общей основой в дальнейшем:

Железо.	Эфир.
Никель.	Спирт.
Кобальт.	Золото.
Марганец.	Вода.
Палладий.	Груть.
Кронглас.	Флинтглас.
Платина.	Олово.
Осмий.	Тяжелое стекло.
Воздух при 0°	Сурьма.
и вакуум.	Фосфор.
Мышьяк.	Висмут.

2425. Весьма интересно заметить, что веществами, стоящими на концах этого списка, являются металлы, так что среди по-

следних находятся тела, наиболее сильно отличающиеся друг от друга по своим магнитным свойствам. Весьма достопримечательным является и то обстоятельство, что эти различия и отступления от среднего состояния имеют место в двух крайних металлах, железе и висмуте, совмещаясь с малой электропроводностью их обоих. В то же время, когда обдумываешь возможное состояние их молекул при действии на них магнитной силы, приходит в голову *контраст* между этими металлами в отношении их волокнистого и зернистого состояния, их ковкости и хрупкости.

2426. Раз высказывалось мнение, что все тела магнитны, подобно железу, то желательно, чтобы возражение на это мнение [поскольку дело касается металлов и других диамагнитных тел (2286), не принадлежащих к классу металлов] не сводилось к простому отрицанию такого утверждения и чтобы при этом были приведены доказательства того, что эти тела находятся в другом, прямо противоположном, состоянии и способны оказать противодействие значительной магнитной силе (2448).

2427. Как уже было указано, действие магнитной силы на тела магнитного и диамагнитного класса резко различно: когда она вызывает притяжение одних, она производит отталкивание других; и хотим мы или не хотим, мы вынуждены как-то сводить явление к влиянию на молекулы или на массы подвергнутых действию вещества; это влияние должно приводить их при этом в различные состояния и соответственно различно на них действовать. С этой точки зрения является весьма поразительным сопоставление настоящих результатов с теми, которые были получены нами с помощью поляризованного луча, в особенности потому, что при этом выявляется и замечательное различие между ними. Действительно, если взять прозрачные тела из обоих классов, например тяжелое стекло или воду из диамагнитного класса и кусок зеленого стекла или раствор зеленого купороса из магнитного класса, то данная магнитная силовая линия вызовет отталкивание одного из них и притяжение другого. Но та же силовая линия, которая столь различно дейст-

вует на частицы, действует на проходящий через них поляризованный луч в обоих случаях совершенно одинаково, ибо оба эти тела вызывают вращение луча в *одном и том же* направлении (2160, 2199, 2224).

2428. Это соображение становится еще более важным, если связать его с диамагнитными и оптическими свойствами тел, вращающих поляризованный луч. Так, раствор железа и кусок кварца, обладающие способностью вращать луч, устанавливаются под влиянием *одной и той же* магнитной силовой линии — один аксиально, а другой экваториально; вращение же, вызываемое в лучах света этими двумя телами, если они находятся под влиянием одной и той же магнитной силы, оказывается у них обоих *одинаковым*. Далее, это вращение совершенно независимо и совершенно отлично от вращения кварца в наиболее важном пункте. В самом деле, кварц сам по себе способен вращать луч только в одном направлении, но под влиянием магнитной силы он может вращать его как вправо, так и влево, в соответствии с ходом луча (2231, 2232). Далее, если взять два куска кварца (или две трубки с терпентинным маслом), которые способны вращать луч в *различных* направлениях, то добавочная вращательная сила, обнаруживаемая ими, когда они находятся под действием магнетизма, имеет всегда *одно и то же* направление, и это направление можно сделать правым или левым в обоих кристаллах кварца. В то же время *контраст* между кварцем, как диамагнитным телом, и раствором железа, как магнитным телом, остается неизменным. У меня не выходят из головы некоторые основанные на указанных выше контрастах соображения о природе луча; если у меня найдется время подвергнуть их дальнейшему опытному исследованию, то и надеюсь представить их Обществу.

2429. Теоретически движения диамагнитных тел и все динамические явления, вытекающие из действий на них магнитов, можно объяснить, если допустить, что состояние, которое вызывает в них магнитная индукция, противоположно тому, какое она вызывает в магнитных телах; т. е. если в магнитном поле

поместить по частице вещества того и другого рода, то обе они станут магнитными и в каждой из них ось будет параллельна проходящей через нее равнодействующей магнитной силы; но у частиц магнитного вещества положение, которое займут северный и южный полюсы, будет противоположно полюсам индуцирующего магнита, т. е. они будут обращены к его противоположным полюсам; у диамагнитных частиц, наоборот, будет иметь место противоположное явление. Отсюда в одном веществе получится приближение, в другом удаление.

2430. С точки зрения теории Ампера это представление эквивалентно следующему допущению: в железе и в магнитных веществах возбуждаются токи, параллельные токам в индуцирующем магните или в батарейном проводе; наоборот, токи, индуцируемые в висмуте, тяжелом стекле и (вообще) в диамагнитных телах, имеют противоположное направление. Это значит, что в диамагнитных телах токи имеют то же направление, какое имеют токи, индуцируемые в диамагнитных проводниках при *возникновении* индуцирующего тока, а в магнитных телах — то же направление, какое имеют токи, возникающие при *прекращении* того же индуцирующего тока. При этом не возникает никаких затруднений в отношении непроводящих магнитных и диамагнитных тел, так как гипотетические токи, согласно предположению, проходят не в массе, а вокруг частиц материи.

2431. Если опыт до сих пор и приводит к такому воззрению, то мы должны, с другой стороны, отметить, что известные нам индукционные действия на *массы* магнитных и диамагнитных металлов *тождественны*. Если прямолинейный железный стержень переносить поперек магнитных силовых линий или же если держать этот стержень или катушку из железных стержней или из проволоки вблизи магнита, когда сила последнего возрастает, то возбуждаются электрические токи, которые проходят по стержням или по катушке в некоторых определенных направлениях (38, 114 и др.). Если при тех же обстоятельствах стержень или катушка, взятые для опыта, будут из висмута, то индуцируются токи и теперь — в том же самом направлении,

что и в железе; здесь, значит, не получается никакого различия в направлении индуцируемого тока; не очень большое различие наблюдается и в его силе; во всяком случае, оно не больше, чем различие между током, индуцируемым в одном из этих двух металлов и в каком-либо металле, взятом вблизи нейтральной точки (2399). Но между условиями этого опыта и тем, что, по гипотезе, происходит в случае намагничения, остается то различие, что при первом индукция обнаруживается с помощью токов в массах, а при последнем, т. е. при особых магнитных и диамагнитных действиях, токи, если они существуют, идут, по всей вероятности, вокруг частиц материи.

2432. Чрезвычайно интересно отношение к магнетизму газообразных тел. Кислород или азот занимают промежуточное положение между магнитным и диамагнитным классами; они занимают такое место, какого не может занять ни один твердый или жидкий элемент; они не обнаруживают никакого изменения при разрежении до возможного предела, даже когда занимаемое ими пространство переходит в вакуум; в магнитном отношении они тождественны со всяким другим газом или паром; они занимают место не в конце, а в самой середине большого ряда тел, и все газы и пары, от наиболее разреженного состояния водорода и до наиболее сгущенного состояния углекислоты, серной кислоты или паров эфира, одинаковы; все эти обстоятельства, конечно, поразительны, и сразу создается уверенность в том, что воздух должен играть большую и, быть может, активную роль в физическом и земном расположении магнитных сил.

2433. Я когда-то 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 хотя легко приготовить жидкую среду, которая будет действовать на другие тела подобно воздуху (2422), она все же не будет

находиться в совершенно таком же отношении к этим телам: она не допускает разбавления, так как прибавление к ней воды или другого подобного вещества приводит к повышению диамагнитной способности этой жидкости; а если бы было возможно превратить ее в пар и таким образом разделить с помощью теплоты, то она перешла бы в класс газов и ее нельзя было бы в магнитном отношении отличить от прочих газов.

2434. Чрезвычайно интересно также наблюдать видимое исчезновение магнитного состояния и действия, когда тела приходят в парообразное или газообразное состояние, и сопоставить его одновременно с аналогичным отношением их к свету; ибо до сих пор не удалось добиться того, чтобы какой-либо газ или пар обнаружил магнитное влияние на поляризованный луч, если даже пустить в дело такие силы, которых было бы более чем достаточно для того, чтобы свободно обнаружить подобное действие в жидких и твердых телах.

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 с одной из трубок г-на Каньяр де ла Тура с эфиром, но ожидаю встретить большие затруднения при его осуществлении, главным образом в связи с той прочностью и, стало быть, с массой трубки, которая необходима для предотвращения расширения заключенного в ней нагретого эфира.

2436. Замечательное свойство воздуха и его отношение к телам, взятым из магнитного и диамагнитного классов, приводит к тому, что он устанавливается экваториально в первых и аксиально во вторых. А если мы ищем у опыта ответа в виде притяжения или отталкивания, то воздух движется таким образом, как если бы в магнитной среде он отталкивался, а в среде из диамагнитного класса притягивался. Отсюда создается впечатление, как будто воздух является магнитным по сравнению

с диамагнитными телами, но принадлежит к последнему классу по сравнению с магнитными телами.

2437. Я полагал, что этот результат можно объяснить, если сделать допущение, что висмут и родственные ему вещества безусловно отталкиваются магнитными полюсами, и что если в данном явлении не участвует никаких других тел, помимо магнита и висмута, то последний равным образом отталкивается. Я предполагаю, далее, что притяжение железа и сходных с ним веществ также является непосредственным результатом взаимодействия между ними и магнитом. Наконец, я допускал, что эти действия удовлетворительно объясняют как аксиальное, так и экваториальное расположение воздуха, а также видимое его притяжение и отталкивание. Я считал, что в этих случаях действие вызывается переходом воздуха в то место, которое стремится оставить магнитные и диамагнитные тела.

2438. Но явления с воздухом в этих опытах совершенно тождественны с теми явлениями, которые получаются с растворами железа различной крепости (2365), а здесь все тела принадлежат к магнитному классу, и явление вызывается, очевидно, большей или меньшей величиной магнитной силы у растворов. Если слабый раствор в более сильном устанавливается, подобно диамагнитному телу, экваториально и если он отталкивается, то не потому, что он не стремится, благодаря притяжению, к аксиальному положению, а потому, что стремится к этому положению с меньшей силой, чем окружающее его вещество. Таким образом, встает вопрос, почему отталкиваются и стремятся к экваториальному положению диамагнитные тела, находясь в воздухе: не вследствие ли того, что воздух является более магнитным, чем они, и стремится занять аксиальное пространство? Легко понять, что если все тела магнитны в различной степени и образуют единый большой ряд от одного конца до другого, с воздухом по середине этого ряда, то явления должны протекать именно так, как они протекают на самом деле. Любое тело из средней части ряда будет устанавливаться экваториально в телах, находящихся ниже его. Ибо если вещество

подобно висмуту переходит из точки сильного действия в точку слабого действия, то оно может это делать только потому, что вещество, находящееся уже в месте слабого действия, стремится перейти в то место, где действие сильно, совершенно так же, как при электрической индукции тела, обладающие наибольшей способностью проводить силу, увлекаются в кратчайшую линию действия. Таким же образом воздух в воде или даже под ртутью увлекается — или кажется увлекающимся — по направлению к магнитному полюсу.

2439. Но если это воззрение правильно, и воздух действительно обладает среди других тел такой силой, что занимает место посередине между ними, то можно было бы ожидать, что разрежение воздуха повлияет на его место и сделает его, быть может, более диамагнитным или во всяком случае изменит его положение в списке тел. Если бы это было так, то тела, занимающие в воздухе экваториальное положение при некоторой его плотности, должны были бы с изменением его плотности изменять свое положение и в конце концов установиться аксиально. Но этого они не делают; и когда мы сравниваем разреженный воздух с телом магнитного или диамагнитного класса или даже со сгущенным воздухом, все равно он остается на своем месте.

2440. При подобном воззрении должно было быть магнитным и чистое пространство, и притом — в такой же степени, как воздух и газы. Хотя весьма возможно, что пустота, воздух и газы вообще относятся к магнитной силе одинаково, но предположение, что все они являются абсолютно магнитными и находятся посередине ряда тел, кажется мне большим добавочным допущением: ведь возможно также предположить, что они находятся в нормальном или нулевом состоянии. Поэтому в настоящее время я склоняюсь к последнему воззрению и, стало быть, к тому мнению, что диамагнитные тела обладают особым действием, прямо противоположным обычному магнитному действию, и что таким образом они представляют нам новое для нашего познания магнитное свойство.

2441. Размер этой силы в диамагнитных телах, если его оценивать по динамическому действию, кажется очень малым, но движение, которое она способна производить, является, быть может, не самой показательной мерой ее силы. Весьма вероятно, что когда мы ближе ознакомимся с ее природой, то мы узнаем и о других вызываемых ею явлениях, овладеем новыми указателями и мерами ее мощности, вместо тех столь несовершенных способов, которые публикуются в настоящем докладе; может статься, что для ее выявления и для показа ее действий будут даже служить явления каких-нибудь новых видов. В самом деле, разве не удивительно бывает наблюдать, как слаба катушка, когда она действует одна, и какую поразительную силу она обнаруживает и воспринимает, если соединить ее с куском мягкого железа. Так вот и здесь мы можем надеяться обнаружить какой-нибудь новый способ выявления рассматриваемого элемента силы, столь новой до сих пор для нашего опыта. Нельзя даже на мгновение допустить, что хотя она и сообщена телам природы, она является излишней или недостаточной, или ненужной. Нет сомнения в том, что она имеет свое назначение, и притом такое, которое связано со всей массой земного шара; и, может быть, именно благодаря ее связи со всей Землей величина ее в тех порциях вещества, с которыми мы имеем дело и над которыми мы производим опыты, по необходимости (так сказать) столь незначительна. Но как бы ни была мала эта сила, насколько огромнее она, даже в динамических своих проявлениях, чем, например, мощная сила тяготения, связывающая воедино весь мир, когда она обнаруживается в массах материи одинаковой величины!

2442. В полной уверенности, что в дальнейшем значение этой силы в природе выявится и что, подобно действиям других естественных сил, ее действия окажутся не только важными, но и существенными, я позволю себе сделать несколько беглых замечаний.

2443. Когда вещество подвергается действию магнитных сил, оно со своей стороны не может не принять участия в явле-

ии и не оказать в свою очередь должную долю влияния на магнитную силу. Достаточно только взглянуть, чтобы убедиться в том, что когда магнит действует на кусок мягкого железа, то железо со своей стороны, благодаря тому состоянию, которое поспринимают его частицы, передает силу отдаленным точкам, сообщает ей направление и сосредоточивает ее самым удивительным образом. Таким образом, и здесь состояние, в которое приходят частицы промежуточных диамагнитных веществ, может оказаться именно тем состоянием, которое передает силу и вызывает перенос ее через эти вещества. В прежних работах (1161 и др.)¹ я предложил теорию электрической индукции, основанную на действии смежных частиц, которой в настоящее время я даже более удовлетворен, чем в то время, когда я ее высказал; там я рискнул предположить, что, возможно, боковое действие электрических токов, которое эквивалентно электродинамическому или *магнитному* действию, тоже передается аналогичным образом (1663, 1710, 1729, 1735). В то время я еще не открывал какого-либо особого состояния промежуточной или диамагнитной материи; но теперь мы научились распознавать такого рода действие, и оно оказалось столь *сложим* по своей природе в столь *несложим* по природе телах и благодаря этому столь *сложим* по своим свойствам с магнетизмом по способу, каким оно проникает в тела всех видов; оно присутствует всюду и в этом смысле является универсальным, и столь же универсально оно по своему действию; теперь доказано, что диамагнитные тела не являются безразличными телами. И вот я с еще большей уверенностью повторяю это предположение и задаю вопрос: не происходит ли передача магнитной силы посредством действия смежных или следующих непосредственно друг за другом частиц? И то особое состояние, которое приобретается диамагнитными телами, когда они находятся под действием магнитных сил, — не есть ли это то состояние, посредством которого осуществляется такое распространение силы?

¹ Philosophical Transactions, 1838, часть I.

2444. Какого бы воззрения мы ни придерживались на твердые и жидкие тела, будем ли мы считать, что они образуют два класса или же один большой магнитный класс (2424, 2437), это, насколько я понимаю, не изменяет данного вопроса. Все они подчиняются влиянию проходящих через них магнитных силовых линий, и возможное различие в свойствах и характере между двумя какими-нибудь веществами, взятыми из различных мест перечня (2424), остается неизменным, ибо их взаимные действия управляются разностным отношением между этими двумя веществами.

2445. Некоторую трудность для понимания представляет группа, в которую входят воздух, газы, пары и даже вакуум; но здесь имеет место чудесное изменение физического строения тел, и последние в некоторых отношениях сохраняют высокую силу; в то же время другие силы у них, по-видимому, исчезают; поэтому мы можем с достаточным правом ожидать, что они приходят в некоторое особое состояние в отношении столь универсальной силы, как магнетизм. Электрическая индукция, являющаяся действием на расстоянии, в твердых и жидких телах значительно изменяется, но когда она проявляется в воздухе и в газах, где она наиболее заметна, то во всех них она по своей величине одинакова (1292); она не изменяется по своей величине, как бы воздух ни был разрежен или сгущен (1284). Но магнитное действие можно рассматривать как простую функцию электрической силы, и меня несколько не удивило бы, если бы оказалось, что магнитное действие соответствует электрической силе в ее особом отношении к воздуху, газам и пр.

2446. Относительно способа, каким электрическая сила, статическая или динамическая, может переноситься от частицы к частице, когда они отделены друг от друга известным расстоянием, или через вакуум, я не имею ничего прибавить к тому, что сказал ранее (1614 и сл.). Допущение, что подобный перенос возможен, не может представлять собою ничего поразительного для тех, кто старался подвести излучение и теплопроводность под единый принцип действия.

2447. Положим, что мы рассматриваем магнитные свойства Земли в целом, не принимая во внимание ее возможного отношения к Солнцу. Представим себе огромное количество диамагнитного вещества, образующего, как мы знаем, ее кору; вспомним, что через эти вещества проходят магнитные кривые определенной мощности и распространенные повсюду; что они поддерживают их постоянно в том состоянии напряжения и, стало быть, действия, которое, надеюсь, мне удалось раскрыть. Тогда мы не можем усумниться в том, что этим для системы и для нас, ее обитателей, достигается некая великая полезная цель, и я буду иметь удовольствие попытаться ее выявить.

2448. Среди веществ, составляющих земную кору, подавляющая часть приходится на долю веществ диамагнитного класса; и хотя вещества, содержащие железо, а также другие магнитные вещества, обладающие более энергичным действием, и по тому самому более поражают нас проявлениями, тем не менее с нашей стороны было бы слишком поспешно заключить отсюда, что они полностью пересиливают действие первых тел. Что касается океанов, озер, рек и атмосферы, то они оказывают свое особое действие, почти не испытывая на себе влияния со стороны какого-либо заключающегося в них магнитного вещества, а что касается скал и гор, то их диамагнитное влияние, может быть, больше, чем можно было бы предположить. Я упоминал, что, подобрав смесь воды с солью железа, я получил раствор, который в воздухе оказался неактивным (2422). Это значит, что при надлежащем сочетании сил веществ, взятых из обоих классов, т. е. воды и соли железа, магнитная сила последней была уравновешена магнитной силой первой, и их смесь не притягивалась и не отталкивалась. Для того, чтобы добиться такого результата, потребовалось к 10 кубическим дюймам воды прибавить более 48.6 гран кристаллического протосульфата железа (так как при этой пропорции раствор все еще устанавливался экваториально), т. е. столь большое количество, что я был весьма изумлен, когда увидел, что вода может его преодолеть. Поэтому вполне

вероятно, что многие из масс, образующих кору нашего земного шара, обладают избытком диамагнитных свойств и действуют соответственно.

2449. Хотя общее расположение магнитных кривых, пронизывающих и окружающих наш земной шар, весьма напоминает их расположение у очень короткого магнита и потому дает силовые линии, которые вообще быстро расходятся, однако большие размеры этой системы лишают нас возможности заметить какое-либо уменьшение их силы на небольших протяжениях, так что всякая попытка наблюдать на поверхности земли стремление материя переместиться из более сильных мест действия в более слабые оказалась бы, вероятно, неудачной. Однако теоретически на первый взгляд мне представляется, что фунт висмута или воды, взвешенный на экваторе, где магнитная стрелка не дает наклона, должен показать меньший вес, если его перенести в широты, где наклонение значительно; наоборот, фунт железа, никеля или кобальта должен при том же изменении условий показать больший вес. Если бы в действительности это оказалось так, то, если на концы чувствительного коромысла весов подвесить два шара, железный и висмутный, то коромысло показало бы различный наклон в различных местах земной поверхности, и представляется не вполне исключенной возможность того, чтобы на этом начале был устроен прибор для измерения одного из свойств земной магнитной силы.

2450. Если мысленно представить себе действие всей системы кривых на очень большие массы, и эти массы имели бы пластинчатую или кольцеобразную форму, то, по аналогии с магнитным полем, они устанавливались бы экваториально. Если бы Сатурн был, подобно Земле, магнитом и если бы его кольцо состояло из диамагнитных веществ, то магнитные силы стремились бы придать кольцу то положение, которое оно занимает на самом деле.

2451. Любопытно наблюдать, как кусок дерева, мяса или яблоко, или бутылка с водой, отталкиваются магнитом, или,

если взять лист с дерева и подвесить его между полюсами магнита, наблюдать, как он принимает экваториальное положение. Происходят ли подобные явления в природе среди мириадов видов, которые во всех местах земной поверхности окружены воздухом и находятся под действием линий магнитной силы, это вопрос, на который ответ можно дать лишь в результате будущих наблюдений.

2452. Мы ничего не знаем о внутренности Земли, но имеется много оснований полагать, что она находится при высокой температуре. Исходя из этого предположения, я недавно указал, что на некотором расстоянии под поверхностью магнитные вещества должны быть совершенно лишены способности сохранять магнетизм или намагничиваться индукцией от токов в земной коре или от других причин.¹ Это, очевидно, ошибка. Что железо и другие сами по себе не могут сохранить магнитное состояние, это, вероятно, правильно, но что магнитные металлы и все их соединения сохраняют некоторую способность становиться магнитными под влиянием индукции, при какой бы температуре они ни находились, это теперь доказано (2344 и сл.). Таким образом, хотя массы, залегающие глубоко в Земле, сами по себе, вероятно, не образуют центрального магнита, они находятся как раз в таком состоянии, что по отношению к окружающим токам и другим индуцирующим действиям они ведут себя как очень слабый железный сердечник и, весьма вероятно, представляют в этом отношении большой интерес. Каким будет действие диамагнитной части под влиянием подобных индуцирующих сил, этого мы не в состоянии еще сказать, но поскольку можно судить по моим наблюдениям, свойства этих тел не испытывают ослабления под влиянием теплоты (2397).

2453. Если Солнце имеет какое-нибудь отношение к магнетизму земного шара, то возможно, что часть действия магне-

¹ Philosophical Magazine, 1845, XXVII, стр. 3. [Настоящий том, стр. 615].

тизма обязана происхождением влиянию света, приходящего к нам от солнца. С этой последней точки зрения кажется, что воздух расположен вокруг Земли наиболее поразительным образом, облекая последнюю прозрачным диамагнитным веществом, которое таким образом оказывается проницаемо для солнечных лучей и в то же время с большой скоростью движется поперек этих лучей. Эти условия позволяют, по-видимому, предположить, что при этом возможно возбуждение магнетизма. Но я лучше воздержусь от изложения подобных туманных мыслей (хотя они не выходят у меня из головы) и подвергну их сначала строгому экспериментальному исследованию и уже затем, если окажется, что они того заслуживают, доложу их Королевскому обществу.

Королевский институт.

22 декабря 1845 г.

2 февр. 1846. Прилагаю к настоящим Исследованиям нижеследующие примечания и указания:

Бругманс первый наблюдал отталкивание висмута магнитом в 1778 г.: Antonii Brugmans Magnetismus seu de affinitatibus magneticis observationes magneticae. Lugd. Batav. 1778, § 41.

Г-н де Байи об отталкивании магнита висмутом и сурьмой, Bulletin Universel, 1827, VII, стр. 371; VIII, стр. 87, 91, 94.

Сэней (Saigey) о магнетизме некоторых естественных соединений железа и о взаимном отталкивании тел вообще. Там же, 1828, IX, стр. 89, 167, 239.

Зеебек (Seebeck) о магнитной полярности различных металлов, сплавов и окисей. Там же, 1828, IX, стр. 175.

ДВАДЦАТЬ ВТОРАЯ СЕРИЯ ¹

Раздел 28. О кристаллической полярности висмута и других тел и ее отношении к магнитной форме силы. Глава I. Кристаллическая полярность висмута. Глава II. Кристаллическая полярность сурьмы. Глава III. Кристаллическая полярность мышьяка. Глава IV. Кристаллическое состояние различных тел. Глава V. Природа магнекристаллической силы и общие сообщения. Глава VI. О положении кристалла сульфата железа в магнитном поле.

Поступило 4 октября. Доложено 7 декабря 1848 г.

РАЗДЕЛ 28

О кристаллической полярности висмута и других тел и ее отношении к магнитной форме силы

2454. Уже неоднократно меня смущали многие результаты, которые я получал, подвергая висмут действию магнита, и я либо довольствовался несовершенным их объяснением, либо откладывал их до будущего исследования. Это именно исследование я теперь предпринял, и оно привело меня к нижеследующим открытиям. Я не могу, однако, начать изложение этого вопроса лучше, чем кратким описанием тех аномалий, которые мне встретились и которые легко наблюдать вновь когда угодно.

2455. Возьмем узкую открытую стеклянную трубку с выдутым в средней ее части шариком, поместим в этом шарике некоторое количество хорошо очищенного висмута и распла-

¹ Philosophical Transactions, 1849, стр. 1. Чтение памяти Бэкера.

вим его на спиртовой лампе; если тогда перевести этот металл в трубчатую часть прибора, то легко отлить его в виде длинных цилиндров. Последние оказываются очень чистыми и при изломе имеют кристаллический вид; плоскости кливажа обычно идут в поперечном направлении. Я изготовляю их диаметром от 0.05 до 0.1 дюйма, и если стекло тонкое, то я обычно отламываю его вместе с висмутом и получаю таким образом небольшие цилиндры в стеклянной оболочке.

2456. Я брал наудачу несколько этих цилиндров и подвешивал их между полюсами электромагнита (2247); при этом они обнаруживали следующие явления. Первый из них устанавливался аксиально; второй — экваториально; третий — экваториально при одном положении и под углом к экватору, если его повернуть около его оси на 50 или 60°; четвертый, при тех же условиях, экваториально и аксиально. А когда они были подвешены вертикально, то каждый принимал определенное положение и колебался около определенного конечного положения; последнее, по-видимому, несколько не было связано с формой цилиндров. Во всех этих случаях висмут был сильно диамагнитным (2295 и др.); он отталкивался от отдельного магнитного полюса, а когда я ставил его между двумя полюсами, он отклонялся в ту или другую сторону от аксиальной линии. На подобный же кусок мелкозернистого (зерненого) висмута, при тех же обстоятельствах и в то же самое время, магнит действовал совершенно правильным образом: цилиндр принимал экваториальное положение (2253), как это должно быть с обыкновенным диамагнитным телом. Причина вышеуказанных отступлений в конце концов была найдена в правильном кристаллическом строении металлических цилиндров.

Г Л А В А I

Кристаллическая полярность висмута

2457. Некоторое количество висмута было кристаллизовано обычным образом, а именно, висмут расплавлялся в чистой железной ложке, после чего ему была предоставлена возмож-

ность частью затвердеть; затем жидкая внутренняя часть его была вылита. Полученные таким образом куски были затем разбиты с помощью медного молотка и медного долота; были отобраны группы кристаллов, которые имели симметрическое строение и относительно которых можно было поэтому думать, что они будут, вероятно, действовать в одном направлении. Если какая-либо часть куска находилась в соприкосновении с железной ложкой, то она подвергалась очистке посредством оселка или шкурки. Указанным путем были легко получены куски весом от 18 до 100 гранов.

2458. Для первых опытов был взят описанный выше (2247) электромагнит со съёмными концами, благодаря чему он мог иметь конические, круглые или плоские полюсы. Для того, чтобы подвешивание висмута было легко произвести и не возбуждало подозрений со стороны магнитного влияния, обычно служило следующее приспособление. Отдельное шелковое волокно длиной от 12 до 24 дюймов было наверху привязано к удобному выступу, а внизу прочно прикреплено к концу куска тонкой прямой хорошо очищенной медной проволоки длиной около 2 дюймов. Нижний конец этой проволоки был свернут в виде маленькой шляпки, и на нее посажен шарик из замазки; замазка готовилась из чистого белого воска, который сплавлялся с канадским бальзамом (примерно четвертая часть веса воска). Эта замазка была достаточно мягка, чтобы пристать к любому сухому телу, если ее к нему прижать, но достаточно тверда, чтобы держать грузы до 300 гранов и даже больше. После изготовления этот подвес один был подвергнут действию магнита с тем, чтобы удостовериться, что он сам по себе не проявляет никакого стремления принять какое-либо определенное положение и не испытывает никакого влияния. Без этой предосторожности нельзя было бы отнестись с доверием к результатам этих опытов.

2459. Кусок отобранного висмута (2457) весом в 25 гран подвешивался между полюсами магнита; он двигался там весьма свободно. Образующие его нубики соединялись друг

с другом обычным образом — преимущественно по линии, соединяющей два противоположных телесных его угла, и эта линия проходила по наибольшей длине куска. Как только возникала магнитная сила, висмут начинал сильно колебаться около определенной линии, на которой в конце концов и останавливался; а когда его выводили из этого положения, то, будучи отпущен, он к нему возвращался; он устанавливался в этом положении со значительной силой; его наибольшая длина направлялась *аксиально*.

2460. После этого был выбран другой кусок, имевший более плоскую форму; будучи подвергнут действию магнитной силы, он принимал определенную установку с той же легкостью и силой, причем наибольшая длина его располагалась экваториально; но линия, по которой кубики стремились соединиться диаметрально, шла, как и раньше, по *аксиальному* направлению. Затем брались другие куски различных форм, или же им придавалась различная форма шлифовкой на камне; все они принимали ясно выраженное положение, но их конечное положение не имело никакой связи с их формой и было явно связано с кристаллическим строением вещества.

2461. Во всех этих случаях висмут был диамагнитен и сильно отталкивался от обоих полюсов или от *аксиальной* линии. Действие наблюдалось только в то время, когда присутствовала магнитная сила. Он устанавливался в некотором постоянном и вполне определенном положении; будучи из него выведен, он всегда возвращался к нему; только когда размах движения превышал 90° , кусок висмута продолжал свое круговое движение и занимал новое положение, диаметрально противоположное первому; его он сохранял с такой же силой и таким же образом. Это явление оказывается общим для всех тех опытов, о которых я имею доложить; я обозначу его термином «диаметральный»: диаметрально установка или положение.

2462. Указанное явление имеет место и при одном магнитном полюсе; в этом случае бывает удивительно наблюдать,

как удлиненный кусок столь диамагнитного вещества, каким является висмут, отталкивается и тем не менее одновременно с силой поворачивается в аксиальное положение, т. е. концом к полюсу, как это было бы с куском магнитного вещества.

2463. Безразлично, какой вид имеют магнитные полюсы (2458), которыми мы пользуемся: остроконечный, закругленный или плоский: действие их на висмут оказывается все же одинаковым. Тем не менее форма полюсов оказывает значительное влияние второстепенного характера, и некоторые формы полюсов удобнее для этих исследований, чем другие. Когда полюсы имеют остроконечную форму, то магнитные силовые линии (2149) быстро расходятся, и интенсивность силы с приближением к середине расстояния между полюсами уменьшается. Когда же форма полюсов плоская, то хотя силовые линии искривляются и изменяются по своей интенсивности у краев плоских поверхностей и по направлению к последним, но посередине магнитного поля существует пространство, где их можно считать параллельными магнитной оси и всюду одинаковыми по силе. Если плоские поверхности имеют квадратную или круговую форму и расстояние между ними составляет примерно треть их диаметра, то пространство, в котором сила однородна, имеет значительное протяжение. При моих опытах центральная или аксиальная часть магнитного поля заметно слабее, чем прилегающие части, но дело в том, что посередине каждой полюсной поверхности имеется небольшое завинтованное отверстие, служащее для прикрепления полюсных наконечников других видов.

2464. Итак, закон действия висмута, как *диамагнитного* тела, заключается в том, что висмут стремится перейти из мест большей магнитной силы в места меньшей силы (2267, 2418), но как *магнекристаллическое* тело он никакого подобного действия не испытывает, и линии равной силы действуют на него так же сильно, как и всякие другие. И вот, когда кусок аморфного висмута подвешен в магнитном поле однородной силы, кажется, что он совершенно утратил свою диамагнитную

силу и не стремится приходить в какое-либо движение, помимо того, которое вызывается кручением подвесной нити или воздушными течениями; но кусок правильно кристаллизованного висмута при тех же условиях испытывает очень сильное воздействие благодаря своим магнекристаллическим свойствам.

2465. Отсюда — большая ценность магнитного поля однородной силы; и если впоследствии настоящие исследования будут распространены на тела с очень малой величиной кристаллических свойств и для них потребуется иметь совершенно однородное поле, то его легко будет создать, для чего нужно будет сообщить поверхности полюса несколько выпуклую форму и более или менее закруглить ее на краях. Требуемую форму можно будет определить вычислением или, быть может, еще лучше опытом с помощью пробного цилиндрика из висмута в зернистом или аморфном состоянии, либо из фосфора.

2466. В дополнение к настоящим соображениям можно заметить, что небольшие кристаллы и кристаллические массы, близкие по общему своему виду к кубической или шарообразной форме, будут лучше, чем большие и удлиненные куски; если в силе магнитного поля будут иметься некоторые неправильности, то такие куски будут, по всей вероятности, меньше чувствовать их влияние.

2467. Когда кристалл висмута находится в магнитном поле одинаковой интенсивности, то он испытывает на себе одинаковое действие, независимо от того, где он находится: посередине поля или же ближе к тому или другому полюсу; т. е. число его колебаний в равные промежутки времени остается, по-видимому, одинаковым. Однако при оценке его подобными средствами требуется большая осторожность, так как в экваториальном направлении имеются два положения неустойчивого равновесия, и колебания по большим дугам происходят гораздо медленнее, чем по малым дугам; между тем трудно добиться того, чтобы размах колебаний в различных случаях был одинаков.

2468. Не имеет значения, какова величина магнитной силы, в поле которой находится висмут — велика она или мала; как расположены магнитные полюсы: в тесной близости от куска висмута или же раздвинуты настолько, что расстояние между ними составляет пять или шесть дюймов или даже фут; где находится висмут: на линии максимальной силы или он поднят выше этой линии, или опущен ниже ее; каков электрический ток: силен или слаб, и соответственно какова магнитная сила: велика или мала; если висмут вообще испытывает какое-нибудь действие, последнее всегда одинаково.

2469. Эти результаты, во всей их совокупности, резко отличаются от результатов, вызываемых диамагнитным действием (2418). Равным образом они отличны от результатов, полученных Плюккером и описанных им в его прекрасных исследованиях об отношении оптической оси к магнитному действию, ибо там сила имеет экваториальное направление, а здесь она направлена аксиально. Таким образом, они представляют нам, по-видимому, новую силу, или новую форму силы, в молекулах материи; этой силе я для удобства условно дам новое название: *магнекристаллическая сила*.

2470. Направление этой силы по отношению к магнитному полю является *аксиальным*, а не *экваториальным*, что доказывается многими опытами. Так, например, когда кусок правильно кристаллизованного висмута подвешен в магнитном поле, то он устанавливается в определенном направлении. Он удерживался в этом положении, а точка привеса (на куске) была перемещена на 90° в экваториальной плоскости (2252), так что когда кристалл снова свободно повис, то проходящая через кристалл линия, которая раньше была горизонтальной в экваториальной плоскости, теперь стала вертикальной. Кусок снова устанавливался в определенном направлении, и притом вообще с большей силой, чем раньше. Проходящую через кристалл линию, совпадающую с магнитной осью, можно теперь принять за силовую линию, и сколько раз ни повторять процесс поворота на четверть круга в экваториальной плос-

кости, кристалл не перестает устанавливаться линией, принятой за силовую, по магнитной оси, и притом с очень большой силой. Теперь точку прикрепления переместим на 90° в плоскости оси, т. е. к концу линии, принятой за силовую, и снова подвесим кристалл; тогда эта линия станет вертикальной, и кристалл будет обнаруживать свое особое действие в минимальной степени; он почти, а то и совсем потеряет свою способность устанавливаться в определенном направлении и будет проявлять по отношению к магниту лишь обычную диамагнитную силу (2418).

2471. Если бы эта сила была экваториальной и полярной, то максимум ее действия проявлялся бы при перемещении точки прикрепления на 90° не в экваториальной плоскости, а в аксиальной, и такое же перемещение после этого в аксиальной плоскости не нарушало бы максимальной силы; наоборот, однократное перемещение точки прикрепления на 90° в экваториальной плоскости привело бы силовую линию в вертикальное положение (как в Плюккеровском опыте с исландским шпатом) и свело бы действие к минимуму или к нулю.

2472. Таким образом, направляющая сила и положение, принимаемое кристаллом, имеют *аксиальное* направление. Начало этой силы, несомненно, в частицах кристалла. Она такова, что кристалл может с равной легкостью и постоянством устанавливаться в двух диаметрально противоположных направлениях, а между ними имеется два положения экваториального равновесия, которые, конечно, являются по своей природе неустойчивыми. Один конец массы или ее молекул и в рассматриваемых явлениях, как и вообще в свойствах кристаллов, ничем не отличается от другого конца, и потому по многим случаям слова *аксиально* и *аксиальность* выражают их свойства лучше, чем слова *полярно* и *полярность*. Когда я обдумал все эти явления, я пришел к заключению, что смысл, присущий первым словам, является здесь более подходящим.

2473. Если *металл* поставлен в другое положение и, значит, приведен в вынужденное состояние, то сила магнита, как бы

она ни была велика и сколь бы долго она ни действовала, не вызывает никакого изменения в силе висмута — ни в ее величине, ни в ее направлении.

2474. Трудно просто описать направление этой силы по отношению к кристаллу, хотя его весьма легко определить опытом. Кристаллы висмута имеют, как утверждают, форму куба, а его первичные частицы — форму правильного октаэдра. Мне лично кажется, что эти кристаллы представляют собой не кубы, а ромбоиды или ромбические призмы, которые очень приближаются к кубам. Мои измерения были весьма несовершенны, а кристаллы были неправильны, но в среднем из многих наблюдений получилось, что плоскости кристалла наклонены друг к другу под углами $91\frac{1}{2}^\circ$ и $88\frac{1}{2}^\circ$, а ребра в гранях под $87\frac{1}{2}^\circ$ и $92\frac{1}{2}^\circ$. Но какова бы ни была действительная их форма, из осмотра кристаллов явствует, что агрегатная сила (aggregating force) стремится создавать кристаллы, имеющие более или менее ромбоидальную форму и ромбические грани, и что эти кристаллы соединяются в симметрические группы, обычно в направлении их наибольших диаметров. И вот, линия *магнекристаллической* силы почти всегда совпадает с этим направлением, когда последнее можно определить.

2475. *Скалывание* кристаллов висмута уничтожает их телесные углы и замещает их гранями, так что имеется четыре направления, которые образуют октаэдр. Эта скалываемость (согласно моему опыту) происходит не с одинаковой легкостью; получающиеся грани не одинаково блестящи и совершенны. Две или чаще одна из этих плоскостей оказывается более совершенной, чем остальные; этой наиболее совершенной является та плоскость, которая получается у наиболее острого телесного угла (2474); обычно ее бывает легко узнать. Когда у кристалла висмута получено много плоскостей скола и он подвешен в магнитном поле, то одна из этих плоскостей поворачивается в сторону одного из магнитных полюсов, а соответствующая ей другая плоскость, если таковая имеется, — в сторону другого полюса, так что линия *магнекристаллической* силы оказывается

перпендикулярной к этой плоскости. Эта плоскость соответствует той, о которой я выше сказал, что она обычно бывает наиболее совершенной и что она срезает острый угол кристалла.

2476. Был выбран отдельный кристалл висмута; он был вырезан из всей массы с помощью медных реэцов, а места, где он срабатывался, были обтерты шкуркой; таким образом получился кубообразный осколок с шестью гранями; четыре из этих граней были естественные. Один из телесных углов, который предположительно представлял собой упомянутый выше концевой угол, т. е. лежал в направлении магнекристаллической линии, был сколот, так что образовалась небольшая плоскость скола, которая, как это и ожидалось, была блестящей и совершенной. Когда этот кристалл был подвешен в магнитном поле и указанная выше плоскость была вертикальна, то кристалл сейчас же со значительной силой установился в определенном направлении, повернувшись этой плоскостью к одному из магнитных полюсов; таким образом, магнекристаллическая ось теперь, видимо, лежала горизонтально и действовала с наибольшей силой. Когда эта аксиальная линия была направлена по вертикали, а упомянутая плоскость, значит, расположилась горизонтально (это положение было подогнано с большой тщательностью), то кристалл совершенно перестал устанавливаться в каком-нибудь определенном направлении. После этого я его подвешивал раз за разом за все углы и грани куба; каждый раз он с большей или меньшей силой устанавливался в определенном направлении, но при этом всегда так, что линия, проведенная перпендикулярно к показательной плоскости скола (эта линия представляла собой, значит, силовую линию), всегда лежала в той же вертикальной плоскости, в которой находилась магнитная ось. Если, наконец, блестящая поверхность разлома была расположена горизонтально, а линия направляющей силы шла вертикально, то незначительным наклоном последней в заданном направлении можно было достичь того, что любая часть кристалла становилась по направлению к магнитным полюсам.

2477. Те же результаты были получены с *группной* кристаллов висмута, конец которой совпадал с единственной малой гранью разлома.

2478. Иногда попадались такие группы кристаллов (2457), что для них, казалось, нельзя было найти такого положения, при котором они совершенно теряли свою направляющую силу, у них некоторый минимум этой силы оставался. Однако весьма невероятно, чтобы все группы были совершенно симметричными по расположению своих частей. Удивительно скорее то обстоятельство, что поведение кристаллов оказывается столь отчетливым. Представляется вероятным, что по отношению к висмуту и многим другим телам магнитная сила даст более важное указание о существенной и действительной структуре их массы, чем это можно сделать по их форме.

2479. Я указал выше, что *магнесталлическая* сила не обнаруживается путем притяжения или отталкивания и что во всяком случае она не вызывает приближения или удаления; она определяет только *направление*. Закон ее действия заключается, по-видимому, в том, что *линия или ось магнесталлической силы* (являющаяся результирующей действия всех молекул) *стремится расположиться параллельно или касательно к магнитной кривой, или магнитной силовой линии, проходящей через то место, где находится кристалл.*

2480. Далее, я брал некоторое количество висмута, плавил его, давал затвердеть обычным способом и разбивал его на куски. Я отбирал несколько таких кусков, которые показались мне наиболее правильно кристаллическими, и подвергал их испытанию. Оказалось почти невозможным найти кусочек, который не подчинялся бы действию магнита и не принимал бы с большей или меньшей легкостью определенного направления. Я отбирал тонкие пластинки с совершенными плоскостями разлома и легко получил образцы, которые вели себя во всех отношениях одинаково с кристаллами. Однако более толстые пластинки, а также куски от углов зачастую давали

очень сложные явления, хотя на вид они представлялись простыми и правильными по форме. В некоторых случаях оказалось, что та плоскость *разлома*, которую я раньше принимал за перпендикулярную к силовой линии (2475), на самом деле такой не была; однако, установив опытным путем направление магнекристаллической силы, я во всех случаях либо отыскивал, либо путем скалывания получал такую плоскость, которая имела описанный выше (2475) вид и свойства. Если разламывать висмутовые пластинки толщиной от одной двадцатой до одной десятой части дюйма, ограниченные параллельными и схожими плоскостями, то зачастую оказывалось при разглядывании, что они имеют сложное и неправильное строение.

2481. Если хорошо отобранную висмутовую пластинку (мои пластинки имели длину и ширину около 0.3 дюйма и толщину примерно 0.05 дюйма) подвесить за край в магнитном поле, то она колеблется и затем устанавливается таким образом, что ее плоскости обращены к магнитным полюсам; она может занимать и диаметрально-противоположное положение (2461). За какую бы точку края ее ни подвесить, результат получается прежний. Но если пластинку подвесить горизонтально, так что плоскости скола куска и магнитная ось будут параллельны плоскости движения пластинки, то она остается совершенно безразличной, ибо в этом случае линия магнекристаллической силы перпендикулярна к магнитной силовой линии при любом положении, которое может занять пластинка.

2482. Но если пластинку хоть сколько-нибудь наклонить из указанного выше положения, то она начинает устанавливаться в определенном направлении, и притом сила, с которой это происходит, тем больше, чем больше пластинка приближается к вертикальному положению (2475), и те явления, которые были описаны выше для кристалла (2476), могут быть также получены с нашими осколками; и любую точку края пластинки можно заставить принять аксиальное направление,

если ее поднять выше или опустить ниже горизонтальной плоскости.

2483. Если с помощью магнита отобрать несколько таких пластинок, то можно затем взять немного хорошей замазки (2458) и соединить их в один кусок, и он будет обладать совершенно правильным магнекристаллическим действием; в этом отношении он будет вполне сходен с кристаллом, о котором была речь выше (2459, 2468, 2476). Этим путем можно также нейтрализовать *диамагнитное* действие висмута; ибо легко устроить призму, у которой ширина и толщина будут одинаковы; и если ее подвесить длиною по вертикали, то она будет хорошо устанавливаться в определенном направлении, не встречая при этом никакого препятствия со стороны диамагнитного действия.

2484. Если три одинаковые пластинки расположить взаимно перпендикулярно, то получится система, которая потеряла всякую способность устанавливаться в определенном положении под действием магнита, так как в любом направлении сила оказывается нейтрализованной. То же самое имеет место в случае мелко кристаллического, или аморфного висмута, и тот же результат (имеющий ту же природу) можно получить, если взять отобранную однородную массу кристаллов (2457), расплавить ее в стеклянной трубке и предоставить ей затвердеть; если только кристаллы не крупны и не видны на глаз, что случается редко, то получающийся при этом кусок висмута кажется лишенным магнекристаллической силы. Подобный же результат получается, если кристалл разбить, мелкие обломки его или пыль насыпать в трубку и все вместе подвергнуть действию магнита.

2485. Указанные выше опыты с висмутом нетрудно повторить, так как за исключением тех опытов, которые требуют внезапного возникновения или исчезновения магнитной силы, все остальные можно произвести с помощью обычного подковообразного магнита. Магнит, с которым я довольно ус-

пешно работал, состоял из семи поставленных рядом стержней; они были заделаны в коробку, а полюсы выпущены наружу; два колена магнита были друг от друга на расстоянии дюйма с четвертью; между полюсами образуется магнитное поле с силовыми линиями горизонтального направления. Полюсы магнита следует покрывать, каждый в отдельности; бумагой, дабы избежать прилипания к ним частиц железа или ржаачины. Наилучшим местом для кусков висмута служит, конечно, пространство между полюсами, но не на одном уровне с верхними концами двух колен, а на расстоянии от 0.4 до 1.0 дюйма ниже этого уровня (2463), дабы можно было получить действие плоских полюсов. Если желательно усилить магнитные силовые линии, то этого можно достигнуть введением куска железа между полюсами магнита; таким образом, благодаря как бы сближению последних, протяженность магнитного поля между ними уменьшается.

2486. Магнит, которым я пользовался, удерживает на своем якоря 30 фунтов; но если делать опыты с небольшими кусочками висмута, можно легко получать все явления при помощи магнитов, которые сами весят не более 7 унций и которые в состоянии держать на весу лишь 22 унции. Таким образом, эти опыты доступны каждому.

2487. Пока кристалл висмута находится в магнитном поле, на него очень заметно и даже сильно действует приближение мягкого железа или магнитов, причем это происходит ниже-следующим образом. Пусть рис. 180 представляет положение двух главных магнитных полюсов и находящегося между ними куска кристаллического висмута, который благодаря своему магнекристаллическому свойству принимает аксиальное направление. Если теперь на лицевую поверхность полюса, например в *e*, положить кусок мягкого железа близко к висмуту, например к его точке *a*, то это окажет действие на последний и заставит его приблизиться к железу. Если подобным же образом железо поместить в *f*, *g* или *h*, то это приведет к та-

кому же результату и вызовет движение висмута: части висмута, обозначенные буквами b , c и d , будут соответственно приближаться к нему, как бы притягиваясь им. Если не давать мягкому железу соприкасаться с магнитным полюсом, а держать его между полюсом и висмутом, так что каждый раз их относительное положение будет прежнее, то получаются те же явления, но в более слабой степени.

2488. Хотя эти движения обнаруживают как будто притягательное действие, я все-таки думаю, что они вызываются

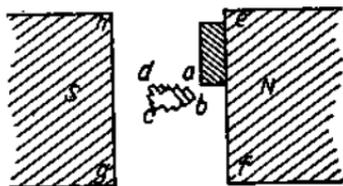


Рис. 180

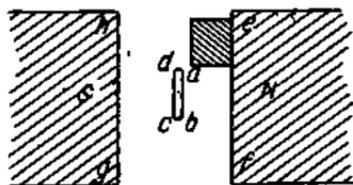


Рис. 181

вовсе не этой причиной, а действием указанного ранее закона (2479). Состояние магнитного поля, бывшего ранее однородным, благодаря присутствию железа шарушается. Из угла a железа в представленном на рисунке положении или из соответствующих углов в других положениях исходят магнитные силовые линии большей интенсивности, чем прочие (ибо теперь форма полюса более или менее приближается к конусу или острiu); поэтому кристалл висмута поворачивается около оси подвеса так, что получается возможность установления линии магнекристаллической силы параллельно или касательно к результирующей магнитных сил, которые проходят через его массу.

2489. Если вместо группы кристаллов взять кристаллическую пластинку висмута (2481), то явления, происходящие при подобных же условиях, производят впечатление *отталкивания*; в самом деле, пусть рис. 181 представляет рассматриваемое положение вещей; тогда, если приложить кусок железа в e , это заставит пластинку отойти от него в точке a , а если его

приложить в f , g или h , то он вызывает отход висмута от него в точках b , c и d . Но хотя эти явления имеют вид отталкивания, тем не менее, как я полагаю, они представляют собою не более, как последствия того стремления, которое, согласно изложенному выше закону (2479), висмут проявляет: расположить линии магнетокристаллической силы параллельно или по касательной к результирующей магнитной силы, проходящей через висмут.

2490. Я помещал кусок железной проволоки длиной около $1\frac{1}{2}$ дюймов и толщиной от 0.1 до 0.2 дюйма в экваториальной

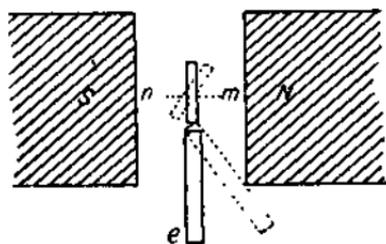


Рис. 182.

плоскости около края пластинки (рис. 182); тогда последняя не изменяла своего положения; но если отклонить конец проволоки e к одному из полюсов, то пластинка приходит в движение и движется сильнее всего, если железо прикасается к полюсу, как это показано на рисунке. Когда этот кусок про-

волоки приближался или прикасался к полюсу N , то кристаллическая пластинка висмута наклонялась так, как это показано на рисунке пунктиром. Когда он прикасался к полюсу S , то пластинка отклонялась в противоположную сторону. Когда конец e стерженька из мягкого железа приводится в соприкосновение с полюсом N , а другой конец его стоял в положении m , то висмут не испытывал на себе никакого действия. Но когда затем этот вспомогательный полюс передвигался в ту или другую сторону по направлению к краю пластинки, то последняя начинала вращаться вместе с движением полюса, причем она стремилась все время стать к нему своей плоской стороной, очевидно, вследствие стремления магнетокристаллической оси установиться параллельно к результирующей магнитной силе, проходящей через висмут. Те же результаты были при подобных условиях получены с кристаллом (2487); соответствующ-

щие результаты были получены, когда стержень мягкого железа был помещен между стороной S магнита и висмутом. Подобные же явления были получены и с пластинками мышьяка и сурьмы.

2491. Если вместо мягкого железа взять магнит, получают соответствующие явления. Следует только помнить, что если основной магнит очень силен, то он зачастую может нейтрализовать или же переменить магнетизм небольшого поднесенного к нему магнита, и это может случиться с последним (в смысле его внешнего влияния) в то время, когда он находится в магнитном поле, хотя бы даже будучи выведен оттуда, он казался не изменившимся.

2492. Так, например, я подвесил пластинку висмута между полюсами подковообразного магнита (2485) (рис. 181) и в *a* или *b* поместил северный полюс небольшого магнетика (клинок карманного ножа); это вызвало отход от него ближайших точек висмута и по тем же самым причинам, какие действовали, когда там находилось мягкое железо. Когда я поместил этот вспомогательный полюс в *c* или *d*, то действие оказалось более слабым, чем в первом случае; оно теперь заключалось в том, что этот участок висмута приблизился к полюсу. Так как это положение вспомогательного полюса ограничивает и нейтрализует некоторые из магнитных силовых линий, исходящих из южного полюса подковообразного магнита, то результирующая силовых линий, проходящих через висмут, изменяет свое направление и становится наклонной по отношению к своему прежнему ходу совершенно так же, как это показывает движение висмута в его стремлении установить свою силовую линию параллельно силовым линиям в их новом положении.

2493. Если приблизить южный полюс, то он вызывает движение в противоположном направлении.

2494. Когда я помещал вспомогательный полюс у края пластинки, а меньший магнетик находился в экваториальном положении (рис. 182), то он не вел себя нейтрально, как же-

лезо, а заставляя пластинку двигаться в касательном направлении вправо или влево, в зависимости от того, какой это был полюс: южный или северный — совершенно так, как это делало железо, когда при его наклоне приближившийся конец его становился полюсом (2490). Это явление обнаруживалось а еще более поразительной степени с кристаллом висмута (2487), так как благодаря его форме и положению наиболее подвергавшиеся действию добавочного полюса магнитные кривые захватывались висмутом в большей мере, чем в том случае, когда опыты производились с пластинкой.

2495. Можно получать бесчисленные вариации этих движений, а также, по желанию, явления притяжения или отталкивания или действия по касательной, пользуясь кристаллами, у которых магнекристаллическая ось совпадает с их длиной, или пластинками, в которых она совпадает с их толщиной, и привлекая к делу постоянные или временные вспомогательные магнитные полюсы. Если подвижной полюс медленно перемещать вокруг висмута из нейтральной точки m в другую нейтральную точку n (рис. 182), то можно при этом воспроизвести все эти явления; при этом окажется, что все они сводятся к ранее изложенному общему закону (2479), согласно которому магнекристаллическая ось и результирующая магнитной силы, проходящей через висмут, стремятся стать параллельными.

2496. В силу этого кристаллик (или пластинка) висмута (или мышьяка) (2532) может оказаться очень полезным и важным в качестве прибора, указывающего направление силовых линий в магнитном поле, ибо, занимая положение, показывающее ход последних, они собственным своим действием не нарушают его в заметной степени.

2497. Многие из этих движений схожи и связаны с теми движениями, которые были описаны Пюккером, Рейхом и другими и которые были получены при действии железа и магнитов на висмут в его простом диамагнитном состоянии. По мнению вышеназванных и других лиц, эти явления указывают

на то, что висмут, как первоначально и я это предполагал (2429 и др.), в диамагнитном своем состоянии фактически обладает магнитными свойствами, противоположными свойствам железа. Я не знаком со всеми полученными ими результатами и с их соображениями по поводу этих результатов (так как последние опубликованы на немецком языке), но поскольку они мне известны и были мною вновь получены, мне кажется, что они представляют собою простые следствия того закона, который я изложил выше (2267, 2418), а именно, что диамагнитные тела стремятся переходить из мест большей магнитной силы в места меньшей силы; мне кажется, что они не дают какого-либо нового или добавочного доказательства в пользу предполагаемой обратной полнрности висмута, как не дают его и приведенные мною примеры действия, подходящие под действие указанного выше закона.

2498. Предполагая, что промежуточное или окружающее вещество может каким-либо образом повлиять на магнекристаллическое действие висмута и других тел, и установил магнитные полюсы на определенном друг от друга расстоянии (приблизительно два дюйма), подвесив посередине магнитного поля кристалл висмута, и наблюдал его колебания и окончательное расположение. Затем, не производя никаких других изменений, я вводил в промежуток между полюсами и кристаллом экраны из висмута, представлявшие собою пластинки величиною около двух дюймов в квадрате и толщиной в 0.75 дюйма, но не мог заметить, чтобы их появление вызвало какие-либо изменения в явлениях.

2499. Кристалл висмута (2459) был подвешен в воде между магнитными полюсами подковообразного магнита. Он хорошо устанавливался в соответствии с общим законом (2479), и потребовалось пять оборотов указателя кручения на верхнем конце подвесной шелковой нити, чтобы сдвинуть его с места и заставить повернуться в диаметрально противоположное направление. Насколько я мог заметить, это — та же вели-

чина силы кручения, какая требовалась для того, чтобы вызвать смещение этого кристалла, когда он был помещен в том же положении, но окружен только воздухом.

2500. Тот же висмут был затем подвешен в насыщенном растворе протосульфата железа (служившего магнитной средой), но он устанавливался в прежнее направление без какого-либо заметного отличия; а когда я применял силу кручения, то опять, как и раньше, потребовалось пять оборотов указателя, чтобы вызвать смещение кристалла и его переход в диаметрально противоположное направление.

2501. Таким образом, независимо от того, куда погружают кристаллы висмута: в воздух, в воду или в раствор железного купороса, или помещают их между толстыми кусками висмута, если магнитная сила, действию которой они подвергаются, одна и та же, то проявляемая ими магнекристаллическая сила остается неизменной как по своей природе, так и по направлению и по величине.

2502. Представлялось возможным и вероятным, что магнитная сила повлияет на кристаллизацию если не других тел, то висмута. В самом деле, эта сила действует на массу кристалла благодаря тому свойству, которым обладают ее частицы, и которую она сообщают кристаллу как целому благодаря своему полярному [или аксиальному (2472)] и симметрическому состоянию; далее, окончательное положение кристаллической массы в магнитном поле можно рассматривать как состояние наименьшего принуждения; поэтому казалось достаточно вероятным, что если висмут в жидком состоянии поставить под действие магнетизма, то отдельные частицы его будут стремиться занять одно и то же аксиальное положение, и таким образом можно будет до известной степени определить заранее и направлять по своей воле расположение кристалликов и всей массы при ее отвердевании.

2503. Итак, в стеклянной трубке было расплавлено некоторое количество висмута; он стоял неподвижно в сильном

магнитном поле до тех пор, пока висмут не отвердел. Затем он был вынут из стеклянной трубки и подвешен; таким образом он мог под влиянием магнита установиться в прежнем направлении; однако никаких признаков *магноткристаллической* силы при этом обнаружено не было. Я не ожидал, чтобы оказалась правильно кристаллизованной вся масса, но полагал, что выявится некоторое *различие* между тем или иным направлением. Ничего подобного однако не получилось, каково бы ни было направление, в котором был подвешен кусок висмута; а когда я его разломал, то обнаружил, что кристаллизация внутри него была мелкая, беспорядочная и во всех возможных направлениях. Возможно, что если бы этому делу посвятить больше времени и работать с постоянным магнитом, то результат был бы лучше. Я возлагал на этот процесс много надежд, связывая его с кристаллическим строением золота, серебра, платины и вообще металлов, а также других тел.

2504. Я не мог обнаружить, чтобы кристаллы висмута приобретали какую-нибудь силу, временную или постоянную, которую они могли бы *унести с собою* из магнитного поля. Я держал кристаллы в различных положениях в поле интенсивного действия сильного электромагнита с очень близкими друг к другу ковшескими полюсами; спустя некоторое время я вынимал их оттуда и тотчас же подносил к очень чувствительной аstaticеской магнитной стрелке, но не заметил, чтобы они оказали на нее хотя бы малейшее добавочное действие, проявляющееся после такой обработки.

2505. Так как кристалл висмута чувствителен к действию магнитных силовых линий (2479) и подчиняется их влиянию, то отсюда следует, что он должен подчиняться и действию Земли и должен устанавливаться в определенном направлении, хотя и с очень слабой силой. Я подвешивал хороший кристалл на длинном коконовом волокне и защитил его как мог от воздушных течений посредством концентрических стеклянных трубок. Мне кажется, я наблюдал признаки того, что кри-

сталл принимал определенное положение или направление. Кристалл был подвешен таким образом, что магнекристаллическая ось образовала с горизонтальной плоскостью тот же угол (около 70°), какой дает стрелке магнитноеклонение; мне казалось, что ось и наклоненне стремятся совпасть. Однако эти опыты требуют тщательного повторения.

2506. Более важным делом с точки зрения природы полярных и аксиальных сил висмута представляется ответ на вопрос, могут ли два кристалла или две однородно кристаллизованные массы висмута действовать друг на друга, и если это так, то какова природа этих взаимодействий, каково соотношение между экваториальными и концевыми участками и каково направление сил. Я произвел в связи с этим вопросом много опытов как в магнитном поле, так и вне его, но получил лишь отрицательные результаты. Но эти опыты производились лишь с небольшими массами висмута, и я ставлю себе целью в более подходящее время года повторить эти опыты с большими массами, подготовив эти массы, если понадобится, описанным выше способом (2483).

2507. Едва ли мне нужно говорить о том, что в кольце или в катушке, по которым проходит электрический ток, кристалл висмута должен принимать определенное направление, и притом такое, что его магнекристаллическая ось окажется параллельной оси кольца или катушки. Опыт показал мне, что дело обстоит именно таким образом.

Г Л А В А II

Кристаллическая полнрность сурьмы

2508. С у р ь м а является *магнекристаллическим* телом. Приготовленные вышеописанным способом (2457) куски кристаллов сурьмы были разбиты медным долотом, и таким образом было получено некоторое количество превосходных групп кристаллов, весом каждая от десяти до двадцати гран; в этих группах все составляющие их кристаллы представлялись рас-

положенными однородно. Отдельные кристаллы были в целом очень хороши и гораздо чаще, чем кристаллы висмута, имели завершенные и полные грани. Они были очень блестящие, серо-стального или серебряного оттенка, и на глаз более походили на куб, чем кристаллы висмута, хотя то здесь, то там попадались явно ромбоидальные грани. Телесные углы у них можно срезать плоскостями *разлома* и, как у висмута, здесь тоже имеется одна грань, вообще более блестящая и совершенная, чем остальные.

2509. Прежде всего было установлено, что все кристаллы диамагнитны и притом в высокой степени.

2510. Затем было установлено, что, как и у висмута, все они со значительной силой обнаруживают магнекристаллические явления, указывая этим на существование силовой линии (2470); при вертикальном положении этой линии она давала кристаллу возможность свободно устанавливаться в любом направлении (2476), но при горизонтальном положении она заставляла кристалл устанавливаться в определенном направлении; при этом сама она принимала направление, параллельное результирующей магнитной силе, проходящей через кристалл (2479). Эта линия, как и у висмута, проходила от одного из телесных углов до противоположного и была направлена перпендикулярно к упомянутой только что блестящей плоскости *разлома* (2508).

2511. Таким образом, действие магнита на эти кристаллы оказалось в общем таким же, как на кристаллы висмута; но здесь имеются и некоторые пункты расхождения, которые требуют более подробного изложения и рассмотрения.

2512. Прежде всего, когда магнекристаллическая ось была расположена горизонтально, то выбранный для опытов кристалл при возникновении магнитной силы медленно направился к своему окончательному положению и установился в нем сразу неподвижно. Если этот кристалл вывести из указанного положения в ту или другую сторону, он сразу к нему возвращается; при этом не происходило никаких колебаний.

Другие кристаллы двигались так же, но не совсем, а иные проделывали одно или, может быть, два колебания; но при всех кристаллах получалось впечатление, будто они движутся в густой жидкости, и в этом отношении они были совершенно не похожи на висмут, который совершал колебания свободно и легко (2459).

2513. Далее, когда кристаллы висели таким образом, что их магнекристаллическая ось была направлена вертикально, то не было заметно никакого стремления занять определенное направление и никаких других признаков магнекристаллической силы; но при этом обнаруживались некоторые другие явления. А именно, когда кристаллическая масса вращалась, а в это время возбуждалась магнитная сила, то масса внезапно останавливалась и задерживалась в некотором положении; как было установлено опытом, это могло иметь место в любом положении. Но когда наибольшая длина массы находилась вне аксиального или экваториального положения, то при прекращении электрического тока наблюдалось явление отвлечения (2315). Это отвлечение (revulsion) никогда не было особенно сильно и достигало наибольшей величины; когда длина массы образовала с осью магнитного поля угол примерно в 45° .

2514. При дальнейшем исследовании выяснилось, что эта задержка и вторичное действие были по своему характеру совершенно тождественны с теми, какие наблюдались раньше у меди и у других металлов (2309), и что они зависели от той же причины, а именно от возникновения в металлах круговых электрических токов под влиянием индуцирующей силы магнита. Тогда стало понятно, почему в приведенном выше случае кристаллы сурьмы не совершали колебательных движений (2512), а также почему они подходили к своему положению равновесия сразу; в самом деле ток, возбуждаемый движением, как раз таков, что стремится остановить движение (2329),¹

¹ Если кто пожелает составить себе достаточное представление о задерживающих силах этих индукционных токов, пусть возьмет кусок массивной меди, приближающийся к кубической или шарообразной форме,

и хотя магнекристаллическая сила была достаточна для того, чтобы заставить кристалл двигаться и установиться в определенном направлении, но как раз вызываемое этим движение создавало ток, который противодействовал стремлению к движению и таким образом был причиной того, что масса продвигалась к своему положению равновесия так, как будто она двигалась в густой жидкости.

2515. Раз мы знаем о задержке и отвлечении сурьмы (явления эти связаны с более высокой по сравнению с висмутом проводящей способностью сурьмы в этом плотном кристаллическом состоянии), нетрудно установить тождество магнекристаллической силы этого металла с той же силой висмута и показать соответствие явлений во всех существенных чертах и деталях. В большинстве кусков кристаллов сурьмы эта сила, казалось, была меньше, чем в висмуте, но фактически это, может быть, и не так, ибо описанное только что действие индукционных токов склонно скрывать магнекристаллические явления.

2516. Различные куски сурьмы также отличаются на вид друг от друга по своей способности устанавливаться в определенном направлении, а также по своей склонности давать явления отвлечения; однако эти различия либо только кажутся такими, либо легко объяснимы. Действия задержки и отвлечения в значительной мере связаны с непрерывностью строения куска, так что один большой кусок обладает им в гораздо большей мере, чем несколько малых кусков, а последние, в свою очередь, в большей мере, чем вещество, растолченное в пыль. Даже у меди можно совершенно уничтожить действие отвлечения, если большой кусок ее превратить в опилки. Таким

весом от четверти до половины фунта, подвесит его на длинной нити, сообщит ему быстрое вращательное движение и затем внесет его, покуда он вращается, в магнитное поле электромагнита; он увидит, что движение куска меди моментально прекратится; а когда он затем попытается вновь привести этот кусок, покуда он в поле, во вращательное движение, то убедится в том, что это неосуществимо.

образом, легко понять, что из двух групп кристаллов сурьмы, имеющих симметрическое внутреннее строение, одна может содержать в себе крупные кристаллы, хорошо связанные друг с другом, поскольку дело идет об индукции токов во всей массе, а в другой кристаллы могут быть мельче и соединены друг с другом не столь благоприятно. Явления, которые будут давать эти группы, различаются по силе, с какой в них будут проявляться задержка движения и последующее отвлечение; по той же причине они будут различаться по тому, с какой легкостью в них будут обнаруживаться магнекристаллические явления, хотя в действительности величина этой силы в них совершенно одинакова.

2517. Когда я перешел к опытам с пластинками из сурьмы, я получил дальнейшие примеры явлений, вызываемых только что описанными причинами, то одновременно обнаружилось многочисленное доказательство существования в этом металле магнекристаллического состояния. Пластинки были, как и в случае висмута (2480), отобраны из обломков разбитых кусков. Скоро было найдено несколько пластинок, которые действовали просто, мгновенно и хорошо; их большие грани представляли собою блестящие плоскости *разлома*. Будучи подвешены за какую-нибудь точку края, эти плоскости поворачивались к магнитным полюсам, и пластинка совершала колебания в обе стороны от своего окончательного положения, постепенно подходя к своему состоянию равновесия.

2518. Когда эти пластинки были подвешены так, что их плоские грани стали горизонтальными, то они не проявляли никакой способности устанавливаться в определенном направлении в магнитном поле. Когда же грани были наклонены, то те их точки, которые стояли выше всех над горизонтальной плоскостью или ниже всех под этой плоскостью, располагалась ближе всего к магнитным полюсам (2482).

2519. Когда несколько пластинок было соединено в плотный пакет (2483), то *диамагнитное* действие исчезло, а магнекристаллическое колебание и стремление занять определенное

направление стало обнаруживаться весьма легко и характерно.

2520. Таким образом, ясно, что во всех этих случаях существовала линия магнекристаллической силы, перпендикулярная к плоскости пластинок, вполне тождественная по своему положению и действию с силой, найденной ранее в объемистых кристаллах сурьмы.

2521. Но затем была отобрана другая пластинка сурьмы; ее вид позволял думать, что она окажется способна воспроизвести все явления, полученные с прежними пластинками; и тем не менее, когда она была подвешена за край, то она не обнаружила никаких признаков магнекристаллической силы. А именно сначала она подалась немного вперед (2310), затем задержалась и остановилась на месте: когда она так стояла в некотором положении между аксиальным и экваториальным направлениями, был выключен батарейный ток, и она испытала рывок, обнаруживая, таким образом, явления, подобные тем, какие дает медь (2315). Было испробовано много других пластинок и с тем же самым результатом.

2522. Когда я поместил эту пластинку (2521) в поле интенсивной силы между двумя коническими магнитными полюсами, то она обнаружила те же явления; однако, несмотря на задерживающее действие, она продолжала медленно продвигаться, пока не установилась в экваториальном направлении, результат, который, по всей вероятности, получился благодаря совместному действию как *магнекристаллической*, так и *диамагнитной* силы. Когда эта пластинка была подвешена таким образом, что ее плоские грани стали горизонтальными, то явления задержки и отвлечения исчезли, так как вызывавшие их раньше индукционные токи не могли уже теперь существовать за отсутствием надлежащей вертикальной плоскости. Далее, она не обладала и способностью устававливаться в определенном направлении, из чего было ясно, что ни вдоль длины, ни вдоль ширины пластинок не существовало оси магнекристаллической силы.

2523. Затем были найдены другие пластинки, которые могли давать смешанные явления, и притом — в различной степени. Так, некоторые из них, подобно первой, свободно совершали колебания, хорошо устанавливались в определенном направлении и не проявляли никаких признаков явлений задержки и отвлечения. Другие колебались вяло, хорошо устанавливались в определенном направлении и проявляли известное стремление задерживаться. Третьи хорошо устанавливались в определенном направлении и, подойдя к своему месту, останавливались неподвижно, но все это так, как если бы они двигались в жидкости; а если я прекращал магнитную силу раньше, чем пластинка дошла до своего окончательного положения, то она получала слабое отвлечение. Наконец, некоторые пластинки сразу же останавливались, не шли к определенному направлению (за все время моего наблюдения) и испытывали сильное отвлечение.

2524. В конце концов, тщательное исследование, проведенное как с помощью подковообразного магнита (2485), так и с помощью большого электромагнита (2247), выяснило причину этих различий в явлениях.

2525. Следует прежде всего отметить, что по временам попадалась такая пластинка сурьмы (2517), которая имела очень блестящие и совершенные по своему виду грани и которая давала, таким образом, основание думать, что она будет хорошо устанавливаться в магнитном поле; однако, когда она была подвергнута действию подковообразного магнита, ничего подобного не наблюдалось: пластинка устанавливалась вкось, неохотно и в двух направлениях, которые, может быть, не были диаметрально противоположны. Я несколько не сомневаюсь, что все это происходит вследствие того, что в данном случае кристаллизация была сложной и беспорядочной. Если такую пластинку, и притом достаточной ширины и длины (т. е. не меньше четверти или трети дюйма), подвергнуть действию электромагнита, она очень хорошо покажет явление задержки (2310) и отвлечения (2315).

2526. Далее, нам следует помнить, что для развития индукционных токов, вызывающих явления задержки и отвлечения, пластинка должна иметь достаточно большие размеры в вертикальной плоскости (2329). Токи образуются в массе, а не вокруг отдельных частиц (2329), и результирующая магнитных силовых линий, проходящих через вещество, является осью, вокруг которой возбуждаются эти токи. Вот почему рассматриваемое явление не наблюдается у пластинок, подвешенных в горизонтальном положении, между тем как при вертикальном положении они его показывают прекрасно; та же картина прекрасно видна, если взять диск диаметром в полдюйма из токой фольги или листа меди, серебра, золота, олова и почти каждого ковкого металла, хотя больше всего для этого пригодны хорошие проводники (электричества). Но это условие не имеет никакого значения для *магнекристаллического* действия, и узкая пластинка обладает такой же силой, как и широкая, имеющая равную с ней массу. Первая пластинка, которую я случайно отобрал (2517), была правильно кристаллическая, толстая и узкая. Потому то она оказалась благоприятной для магнекристаллического действия, неблагоприятной для действия задержки и отвлечения; она почти и не обнаруживала признаков последнего вида действия.

2527. Если имеется широкая и правильная кристаллическая пластинка, то обнаруживаются оба ряда явлений. Так, если эта пластинка вращается, то при возбуждении магнитной силы скорость пластинки на мгновение увеличивается, а затем пластинка останавливается; а когда магнитная сила сразу прекращается, то пластинка получает отвлечение, точно так, как это произошло бы с куском меди (2315). Но если магнитная сила не перестает действовать, то можно заметить, что остановка является лишь кажущейся, ибо пластинка движется, хотя и с весьма уменьшившейся скоростью, и продолжает двигаться до тех пор, пока она не примет своего магнекристаллического направления. Она движется, как в густой жидкости. Таким образом, здесь налицо магнекристаллическая сила, и

она оказывает свое действие полностью; а причина того, что явления имеют несколько иной вид, заключается в том, что то самое движение, которое сила стремится сообщить и сообщаст массе, порождает те магнитоэлектрические токи (2329), которые благодаря взаимодействию с магнитом стремятся приостановить движение. Отсюда — медленность последнего и, наконец, полная остановка в определенном направлении (2512, 2323).

2528. Более слабый магнит [например, описанный выше подковообразный прибор (2485)] в гораздо меньшей степени возбуждает токи путем индукции; зато такой магнит хорошо выявляет магнекристаллическую силу; поэтому при некоторых условиях он больше подходит для подобного рода исследований, поскольку он помогает отличить одно действие от другого.

2529. Легко видеть, что нельзя производить даже грубого сравнения магнекристаллической силы пластинок — все равно, из одного и того же металла или из различных металлов — на основании колебаний этих пластинок: под влиянием указанных выше индукционных токов пластинки с одинаковой магнекристаллической силой колеблются совершенно различным образом. Я взял пластинку и оклеил (2458) ее плоские грани особо подобранной бумагой, а затем наблюдал, как она ведет себя в магнитном поле. Она медленно устанавливалась в определенном направлении и обнаруживала явления задержки и отвлечения (2521). После этого я раздавил ее в ступке и таким образом разбил ее на много частей, которые, однако, остались на своих прежних местах. Тогда пластинка стала двигаться свободнее и быстрее и обнаруживала явления отвлечения в очень слабой степени.

2530. Хотя, таким образом, суждение на основании колебания оказывается ненадежным, тем не менее сила кручения, как я полагаю, остается для нас весьма точным мерилom силы, с которой тело устанавливается в определенном направлении (2500), и стало быть — величины магнекристаллической силы; быть может, подвес из коконового волокна несколько смещается,

по стеклянная нить, рекомендуемая Ритчи, должна вполне отвечать своей цели.

2531. Сурьма должна быть хорошим проводником электричества в направлении пластинок кристалла; в противном случае она не показывала бы столь ясно явлений отвлечения. Группы кристаллов сурьмы (2508) обнаруживали это явление в очень высокой степени, и это дало мне основание думать, что кубики, из которых они состоят, обладают этой способностью почти в одинаковой мере во всех направлениях. Но кусок мелко кристаллической или зернистой сурьмы не обнаруживает этой способности в такой же степени, вследствие чего можно было бы думать, что в месте соприкосновения двух несоответствующих друг другу кристаллов или же между смежными пластинками кристаллов существуют какие-то условия, очень похожие на те, которые создаются при раздроблении; по-видимому, они и влияют на проводящую способность в указанных направлениях.

ГЛАВА III

Кристаллическая полярность мышьяка

2532. Кусок металлического мышьяка, проявившего кристаллическое строение (2480), был разбит, и из обломков было отобрано несколько пластинок, имевших хорошие плоские поверхности разлома, около 0.3 дюйма длиной, 0.1 дюйма шириной и 0.03 дюйма толщиной. Когда они были подвешены против конусообразного полюса, то оказались совершенно диамагнитными; когда же они висели несколько далее перед этим полюсом или между двумя полюсами, то оказались в высокой степени *магнесталлическими*. У меня имеется пара полюсов с плоскими поверхностями, в центре которых устроены отверстия для винтов; эти отверстия настолько ослабляют интенсивность магнитных силовых линий около середины поля, что когда полюсы находятся друг от друга на расстоянии полдюйма, то цилиндр из зернистого висмута длиной в 0.3 дюйма

устанавливается *аксиально*, т. е. от полюса к полюсу (2384). Но когда между этими же полюсами подвешена пластинка из мышьяка, то она такого стремления не проявляет: настолько магнекристаллическая сила превышала диамагнитную силу этого вещества.

2533. Когда пластинки мышьяка были подвешены так, что их плоскости были горизонтальны, то между плоскими полюсами они совершенно не стремились встать в какое-либо определенное направление. Если такую плоскость наклонить к горизонтальной линии, у нее возникает стремление занять определенное направление, причем это происходит с большей или меньшей силой в зависимости от того, насколько плоскость ближе или дальше от вертикального положения, точно так же, как это было ранее описано относительно висмута и сурьмы (2482, 2518).

2534. Таким образом, установлено, что мышьяк вместе с висмутом и сурьмой обладает магнекристаллической силой или свойством.

Королевский институт.

23 сентября 1848 г.

ГЛАВА IV

Кристаллическое состояние различных тел

Поступило 31 октября. Доложено 7 декабря 1848 г.

2535. Ц и н к. Явления, которые наблюдались с пластинками цинка, выломанными из кристаллической массы, были нерегулярны, а так как пластинки были магнитными вследствие имевшихся в них примесей, то указанные явления могли полностью зависеть от этих обстоятельств. Чистый цинк был осажден электрохимическим путем на платине из растворов хлорида и сульфата цинка. Из первого он получался в форме разветвленных древовидных групп небольших кристаллов, из второго — в сплошной плотной форме. И тот и другой оказались свободными от магнитного действия и сильно диамагнитными, но ни тот, ни другой не обнаружили никакого следа магнекристаллического действия.

2536. Т и т а н.¹ Некоторое количество хороших кристаллов, полученных со дна печи для плавки железа, было очищено последовательной обработкой кислотами и флюсами, пока железо было очищено настолько, насколько я мог этого добиться. Кристаллы были блестящие, хорошей формы и магнитные (2371) и, как я полагаю, содержали в себе железо, рассеянное по всей их массе, так как царская водка при продолжительном кипячении непрерывно выделяла из них титан и железо. Эти кристаллы обладали некоторым магнитным свойством, которое я склонен отнести за счет их кристаллической структуры. Будучи помещены между полюсами электромагнита, они принимали определенное направление, а когда электрический ток прерывался, то они продолжали занимать то же положение между полюсами ослабленного теперь магнита, как раньше. Будучи предоставлен самому себе, кристалл всегда устанавливался в *одном и том же* направлении: отсюда видно, что он приобрел постоянный магнетизм в этом самом направлении. Но если кристалл, подвешенный между магнитными полюсами, поддержать в другом направлении при включенном электрическом токе, а затем ток выключить и предоставить кристаллу свободу, то он устанавливается между полюсами ослабленного магнита в этом новом направлении; из этого видно, что теперь магнетизм действует в массе кристалла в другом направлении, а не в том, в каком он действовал раньше. Если затем магнит с помощью электрического тока снова усилить, то кристалл сейчас же начинает кружиться, и его магнетизм получает первое, т. е. первоначальное направление. Фактически эти кристаллы можно было намагнитить в любом направлении, но существовало одно направление, по которому они могли намагнититься с большей легкостью и силой, чем в каком-либо другом. Судя по внешней картине явления, я склонен отнести его за счет кристаллической структуры,

¹ Этим и многими другими кристаллами я обязан любезности сэра Генри Т. Де ла Бич и м-ра Геннапта.

но возможно также, что оно вызывается неправильным распределением железа в массе титана. Кристаллы были слишком мелки, чтобы я мог разобраться в этом вопросе до конца.

2537. М е д ь. Я отобрал несколько хороших кристаллов природной меди и, тщательно отделив их от массы, исследовал их в отношении их магнекристаллической силы. С подковообразным магнитом (2486) они не проявили признаков подобной силы, в каком бы направлении их ни подвешивали, и оставались неподвижными в любом положении; при всяком самом малом закручивании верхнего конца подвесной нити кристалл внизу тотчас же поворачивался, и притом в точности на тот же угол. Когда эти кристаллы подвергались действию электромагнита, то получались явления задержки и отвлечения (2513, 2310), как этого и следовало ожидать. Если после задержки магнитная сила продолжала действовать, то при этом не происходило медленного движения кристалла к какому-нибудь определенному направлению (2512); он оставался совершенно неподвижным в любом положении. Таким образом, в данном случае нет никакого указания на существование магнекристаллического действия.

2538. О л о в о. Из кускового и из зернистого олова я отобрал несколько кусков, которые, судя по их внешней форме, а также по виду поверхности, которая получалась при действии кислот, казались имеющими правильное кристаллическое строение. Вырезав из них небольшие куски, я тщательно исследовал их с помощью магнитов, но в них не обнаружилось никаких признаков магнекристаллической силы. Получались указания на существование явления задержки и отвлечения, а также диамагнитной силы, но ничего другого. Я исследовал также несколько кристаллов олова, полученных электрохимическим осаждением. Они оказались чистыми и диамагнитными; они задерживались и испытывали отвлечение, но не обнаруживали никаких признаков магнекристаллического действия.

2539. С в и н е ц. Для кристаллизации свинца он был расплавлен и частью превращен в твердое состояние; оставшаяся

жидкость была слита (2457); таким путем было получено несколько очень хороших кристаллов, имевших вообще форму октаэдров. При исследовании их с помощью магнитов они обнаруживали слабые явления задержки и отвлечения, но не давали магнекристаллических явлений. С помощью магнита было исследовано несколько кристаллических пластинок, помученных электрохимически, путем разложения ацетата цинком. Они оказались чистыми, диамагнитными, задерживались и испытывали рыбок, но не обнаружили никакого признака магнекристаллического действия.

2540. З о л о т о. Было исследовано три прекрасных крупных кристалла золота. Они оказались диамагнитными и легко задерживались (2310, 2340). Отвлечения не было вследствие их октаэдрической или округлой формы. Они не дали никаких магнекристаллических явлений.

2541. Т е л л у р. Было исследовано два обломка этого вещества, имевших большие и параллельные плоскости *разлома*. Оба они стремились принять определенное направление, и наибольшее их протяжение устанавливалось между плоскими полюсами (2463), поперек аксиальной линии. Я думаю, что эти явления отчасти, если не полностью, вызывались магнекристаллическим состоянием этого вещества, но не думаю, чтобы это можно было считать вполне доказанным.

2542. С п л а в и р и д и я и о с м и я. Природные зерна иридия и осмия зачастую оказываются плоскими; две их плоскости имеют вид граней кристаллов и параллельны друг другу даже в тех случаях, когда зерна толсты. Из них было отобрано несколько крупнейших и наиболее кристаллических; они были прокалены с флюсом и прокипячены в царской водке, а затем были исследованы с помощью магнита. Некоторые из них оказались более магнитными, чем другие, и притягивались; другие оказались очень слабо магнитными. Последние были отобраны и подвергнуты более тщательному исследованию. Все они стремились занять определенное направление и делали это сравнительно очень легко и с большой силой; в самом

деле, они были длиною не более одной пятнадцатой дюйма и все-таки легко устанавливались в определенном направлении, когда магнитные полюсы находились друг от друга на расстоянии 3 или 4 дюймов. Плоские грани кристаллических частиц были *всегда* обращены в сторону полюсов и, значит, их длина располагалась не *вдоль*, а *поперек* аксиальной линии, причем это происходило независимо от того, каково было расстояние между полюсами: большое или малое, и какие полюсы были у магнита: плоские или конусообразные. Я полагаю, что эти кристаллы были магнекристаллическими.

2543. Легкоплавкий металл. Кристаллы легкоплавкого металла (2457) стремились занять определенное направление; они имели вид четырехугольных пластинок или призм, но были нехороши, и результаты опытов с ними были неясны и неотчетливы.

2544. Проволоки. Я считаю возможным, что в тонких проволоках, которые при действии на них кислоты обнаруживали волокнистое строение, частицы находятся в некотором состоянии, приближающемся к кристаллическому, и поэтому подверг действию магнита мотки платиновой, медной и оловянной проволоки; однако при этом не выявилось никаких указаний на магнекристаллическое действие.

2545. Я подвергал действию магнита ряд металлических соединений и при этом располагал их так, чтобы уловить как-нибудь признаки магнекристаллических явлений. Гален, натуральная киноварь, окись олова, сернистое олово, натуральная красная окись меди, брукит или окись титана, железный колчедан, а также алмаз, плавиковый шпат, каменная соль и борацит — все они были правильно кристаллические и оказались диамагнитными, но не обнаружили признаков магнекристаллической силы. Натуральная и правильно кристаллическая сернистая медь, сернистый цинк, кобальтовый блеск и лойцит оказались магнитными. Мышьяковистое железо, железный блеск и магнитная окись железа оказались еще более

магнитными. Ни у одного из этих веществ я не мог установить каких-либо магнитных явлений, которые вызывались бы кристаллическим состоянием.

2546. При исследовании магнитных солей некоторые из них показали весьма замечательные магнекристаллические явления. Так, при исследовании сульфата железа первый исследованный мною кристалл был подвешен вертикально магнекристаллической осью и не обнаружил никаких особых явлений; лишь наиболее протяженное горизонтальное его направление установилось с небольшой силой вдоль магнитной оси. Но когда этот кристалл был повернут на 90° (2470), то он тотчас же с большой силой устремился занять определенное направление, и наибольшее его протяжение установилось экваториально. Этот кристалл состоял из расположенных друг над другом плоских кристаллов или пластинок, и магнекристаллическая ось была направлена прямо поперек них. Поэтому было легко после одного-двух испытаний сказать наперед, как следует этот кристалл подвесить и в каком направлении он установится. Все равно, какие это были кристаллы: длинные, косые, неправильные — во всех случаях магнекристаллическая сила пересиливала и определяла положение кристалла; это происходило независимо от того, какими полюсами я пользовался: остроконечными или плоскими, и на каком расстоянии друг от друга они находились: близко или далеко. Магнекристаллическая сила направлена перпендикулярно или почти перпендикулярно к двум сторонам ромбидальной приамы. У меня имеется несколько небольших призматических кристаллов, у которых длина призмы почти в три раза больше ее ширины, но когда и длина и магнекристаллическая ось направлены горизонтально, то никакая сила магнита, никакая форма или положение его полюсов не в состоянии заставить длину занять аксиальное направление, так как это направление всегда занимает магнекристаллическая ось: до такой степени сила ее преобладает над простой магнитной силой кристалла. А между тем последняя настолько значи-

тельна, что рывывает иногда подвесную нить, когда кристалл висит выше полюсов (2615).

2547. Сульфат никеля. Когда в магнитном поле был подвешен кристалл сульфата никеля, то его длина установилась аксиально. Это могло вызываться либо просто магнитной силой, либо отчасти и магнекристаллической силой. Поэтому я вырезал из кристалла кубик, две грани которого были перпендикулярны к длине первоначальной призмы. Этот кубик принимал некоторое вполне определенное направление в магнитном поле, причем линия, совпадающая с длиной призмы, оказалась той самой линией, которая стремилась занять аксиальное направление; она представляла собой магнекристаллическую ось. Кубик был затем укорочен в указанном направлении и превращен в квадратную пластинку, толщина которой совпадала с магнекристаллической осью; но и тогда она принимала столь же определенное направление, как раньше, хотя теперь аксиальными были ее кратчайшие измерения.

2548. Персульфат аммония-железа и сульфат марганца не обнаружили никаких признаков магнекристаллических явлений; сульфат аммония-марганца, как мне кажется, их обнаруживает, но кристаллы были нехороши. Сульфаты калия и никеля оказались магнекристаллическими. Все три соли были магнитны.

2549. Отсюда видно, что помимо висмута, сурьмы и мышьяка некоторые другие тела тоже обнаруживают магнекристаллические явления. К их числу относятся соли иридия и осмия, возможно — теллур и титан и наверняка — сульфаты железа и никеля. В заключение я позволю себе отметить, что, вероятно, это свойство вводило меня иногда раньше в заблуждение (2290). Отсюда очень легко могла получиться также ошибка с мышьяком (2383).

ГЛАВА V

*О природе магнекристаллической силы и общие соображения*¹

2550. Магнекристаллическую силу следует, по-видимому, определенно отличать как от магнитной, так и от диамагнитной силы, поскольку она не вызывает ни приближения, ни удаления. Она состоит не в притяжении или отталкивании, а сообщает находящейся под ее влиянием массе некоторое определенное направление, т. е. она приводит некоторую данную относительно массы линию в некоторое данное отношение к направлению внешней магнитной силы.

2551. Я считал необходимым подвергнуть особо тщательной проверке и доказательству тот вывод, что эта сила несколько не связана ни с притягательными, ни с отталкивательными влияниями. Для этой цели я устроил крутильные весы с бифилярным подвесом из коконовой нити, состоящей из двух пучков по семи волокон в каждом, длиною в 4 дюйма и на расстоянии одной двенадцатой дюйма друг от друга. На одном конце рычага я подвесил кристалл висмута (2457) таким образом, чтобы его можно было установить и держать в любом положении. Эти весы были защищены стеклянным футляром, вне которого был установлен конический конец одного полюса большого электромагнита (2247); полюс имел горизонтальное направление, перпендикулярное к коромыслу крутильных весов, и находился в таком положении, что кристалл висмута приходился на продолжении оси полюса и был в состоянии равновесия приблизительно на расстоянии половины дюйма от его конца. Другой полюс, стоявший на расстоянии 4 дюймов от первого, был оставлен широким — для того, чтобы магнитные силовые линии сильно расходились от конца конического полюса и быстро убывали по своей интенсивности. Задача заключалась в том, чтобы наблюдать величину отталкивания висмута, как диамагнитного тела, магнитом; оценивать эту

¹ См. ниже 2836 и др.

величине можно было либо по расстоянию, на какое он отталкивался, либо по кручению, какое требовалось для того, чтобы привести его в первоначальное положение; в задачу входило также проделать это с висмутом, когда его магнекристаллическая ось расположена сначала аксиально, т. е. параллельно к магнитным силовым линиям, а потом — экваториально, и выяснить, получается ли при этом какое-нибудь различие.

2552. Поэтому сначала кристалл был помещен магнекристаллической осью параллельно магнитным силовым линиям, а затем был повернут четыре раза подряд на 90° в горизонтальной плоскости, дабы наблюдать его при всех положениях магнекристаллической оси; однако ни в одном случае нельзя было заметить различия в величине отталкивания. При других опытах ось ставилась вкось, но результат был тот же. Значит, если здесь и имеется какое-либо различие, то оно должно быть крайне незначительным.¹

2553. В другом таком же опыте кристалл был подвешен, как маятник, на коконовых нитях длиной в 30 футов, но и тут результат был тот же.

2554. Другой весьма убедительный ряд доказательств того, что это явление не вызывается ни притяжением, ни отталкиванием, был получен нижеследующим образом. Пучок из пятнадцати коконовых волокон, длиной приблизительно в 14 дюймов, был укреплен на верхнем конце, а на нижнем его конце был подвешен груз в одну унцию или несколько больше. Середина этого пучка приходилась у середины магнитного поля электромагнита, а квадратный груз внизу лежал на дорвянном бруске; таким образом получалась устойчивая шелковая вертикальная ось без колебаний или вращений. Посередине этой оси и поперек нее была прикреплена небольшая полоска картона приблизительно в полдюйма длиной и одну десятую дюйма шириной, а затем к этому картону был

¹ См. теперь 2839 и др.

прикреплен призматический кристаллик сульфата железа около 0.3 дюйма длины и 0.1 толщины; при этом его длина, а также магнекристаллическая ось находились в горизонтальной плоскости. Вся длина кристалла находилась на одной стороне шелковой оси, так что при вращательном колебании кристалла его длина образовала радиус описываемого круга, а магнекристаллическая ось была параллельна касательной.

2555. Указанный кристалл приходил в положение равновесия, которое зависело от силы кручения шелкового пучка подвеса; его можно было изменять по желанию, поворачивая находившийся внизу груз. Сила кручения была такова, что когда кристалл приводился в колебания около его шелковой оси, то он совершал в минуту сорок полных (т. е. туда и назад) колебаний.

2556. Когда кристалл был установлен между плоскими полюсами (2463) в косвенном направлении, как это показано на рис. 183, то в момент возбуждения магнита кристалл приходил в движение, стремясь установиться своей длиной экваториально, т. е. своей магнекристаллической осью параллельно магнитным силовым линиям. Когда полюс *N* был удален и опыт повторен, то происходило то же явление, но не с такой силой, как раньше, и, наконец, когда полюс *S* был приданут к кристаллу возможно ближе, только не прикасаясь к последнему, то получился тот же результат и с большей силой, чем в последнем случае.

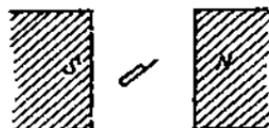


Рис. 183.

2557. Таким образом, кристалл сульфата железа является магнитным телом и сильно притягивается магнитом, подобным тому, каким мы здесь пользовались; он в двух последних опытах фактически удалялся от магнитного полюса под влиянием своих магнекристаллических свойств.

2558. Если удалить полюс *S* и для действия на кристалл оставить полюс *N* (с меткой), то кристалл тогда приближается к полюсу, побуждаемый к этому как магнитной, так и магне-

кристаллической силой. Но если кристалл повернуть около шелковой оси на 90° влево или на 180° вправо, так, что он займет обратное или противоположное положение, тогда этот полюс отталкивает кристалл, вернее, заставляет его отойти на некоторое расстояние точно так же, как это производил первый полюс. Этот опыт требует большой тщательности, и я считаю, что конусообразные полюсы для данной цели мало пригодны; но при достаточном внимании я мог чрезвычайно легко получать описанные результаты.

2559. После этого сульфат железа был заменен кристаллической пластинкой (2480) висмута, которая была помещена, как и раньше, с одной стороны шелкового подвеса с горизонтально направленной магнекристаллической осью. Ей было придано такое же положение, какое кристалл занимал по отношению к полюсу *N* в предшествующем опыте (2556), т. е. так, что для установки осью параллельно магнитным силовым линиям пластинка должна была приблизиться к полюсу; затем магнит был приведен в действие; тогда пластинка пришла в соответствующее движение и стала приближаться к полюсу — вопреки своим диамагнитным свойствам, но под влиянием магнекристаллической силы. Это действие было слабо, но отчетливо.

2560. Забегая немного вперед, я приведу один результат рассуждений, которые будут приведены ниже (2607); я опишу соответствующее явление, полученное с красной кровяной солью. У кристалла этой соли были сточены острые углы, так что он превратился в пластинку с плоскостями, параллельными плоскостям оптической оси, и затем он был поставлен на место пластинки висмута. Когда кристалл находился в описанном ранее положении (2556) и в действие был введен магнит, то кристалл пришел в движение; при этом плоскость оптической оси установилась экваториально, как это описывает Плюккер. Когда полюс *N* был удален, а полюс *S* придвинут к кристаллу, то произошло то же движение, и кристалл *отошел* от полюса; а когда был удален полюс *S* и к кристаллу был

придвинут полюс N , то кристалл пришел в такое же движение, как и раньше, причем он весь *приблизился* теперь к полюсу. Когда кристалл был отклонен в другую сторону, т. е. висел по другую сторону экваториальной линии, полюс S заставлял его *приближаться*, а полюс N — *отходить*. Выходит, таким образом, что один и тот же полюс может как будто и притянуть к себе и оттолкнуть от себя одну и ту же сторону кристалла, и с каждым из этих полюсов можно обнаружить эту кажущуюся силу — то притягательную, то отталкивательную.

2561. Отсюда — доказательство того, что стремления к занятию определенного положения не производит ни притяжение, ни отталкивание, т. е. они не определяют окончательного положения ни данного тела, ни любых других тел, движения которых вызываются той же причиной (2607).

2562. Далее, эта сила по своему характеру и действиям отличается от магнитной и диамагнитной форм силы. С другой стороны, она находится во вполне очевидной связи с кристаллической структурой висмута и других тел и, таким образом, с молекулами и с той силой, которая позволяет этим молекулам выстраиваться в кристаллические массы. Мне кажется, что описанные результаты можно понять, только допустив взаимодействие между магнитной силой, с одной стороны, и силой частиц кристалла, с другой; а это приводит нас к другому заключению, а именно, что, поскольку эти силы в состоянии действовать друг на друга, они должны быть одной и той же природы; а последнее, полагаю, привносит новый вклад для решения великой проблемы физики молекулярных сил, которая исходит из допущения, что все они имеют одно общее начало (2146).

2563. Что бы мы ни рассматривали: кристалл или частицу висмута, их полярность имеет весьма необычный характер, если сравнить ее с полярностью обыкновенного магнитного состояния или если сравнить ее с двойственным характером любой другой физической силы; ибо в данном случае противоположные полюсы имеют *одинаковый* характер; это явствует

прежде всего из того обстоятельства, что массы стремятся занять диаметрально направление (2461), а также вообще из физических особенностей и отношений кристаллов. Молекулы, как они лежат в массе кристалла, ни в коем случае не могут изображать собою состояние кучки железных опилок между магнитными полюсами или частиц железа в приставленном к месту якоря, и сами не могут быть изображены ими; ибо у последних имеются полюсы *различных* наименований и качеств, обладающие способностью приставать друг к другу и образующие, таким образом, некоторую структуру. Между тем в кристалле молекулы обращены друг к другу полюсами одинаковой природы, ибо здесь все полюсы, так сказать, одинаковы.

2564. Как показывают опыты, магнекристаллическая сила представляет собою силу, действующую на расстоянии, так как кристалл приводится в движение магнитом на расстоянии (2556, 2574), и в свою очередь кристалл может привести в движение магнит на расстоянии. Для того чтобы произвести это последнее явление, я намагнитил стальное шило длиной около 3 дюймов и затем подвесил его вертикально на отдельном коконовом волокне длиной в 4 дюйма к небольшому горизонтальному стержню, который в свою очередь был подвешен в своем центре на другом отрезке коконового волокна к неподвижной точке. Таким образом, шило могло свободно вращаться около собственной оси и могло также описывать круг с диаметром приблизительно в $1\frac{1}{2}$ дюйма. Этому последнему движению не препятствовало стремление стрелки занять определенное направление под влиянием Земли, так как она могла занять любое положение на окружности и все же остаться параллельной самой себе.

2565. Из стеклянной палочки и медной проволоки была устроена совершенно саободная от магнитного влияния стойка, которая проходила через дно и находилась на продолжении верхней оси вращения и, следовательно, была концентрична с тем кругом, который мог описывать магнитик. Высота стойки

была такова, что она могла держать кристалл или какое-либо другое вещество на уровне полюса на нижнем конце стрелки и в центре небольшого круга, по которому полюс мог вращаться около кристалла. Перемещением нижнего конца стойки можно было верхний конец ее приближать к магниту или удалять от последнего. Все это было покрыто стеклянным колпаком и оставлено на время, в течение которого установка могла принять постоянную температуру и прийти в состояние покоя; тогда магнитная игла принимала *постоянное* положение под влиянием силы кручения подвесной нити. Далее, вращение стойки, устроенной из стекла и медной проволоки, не производило никакого изменения в окончательном положении магнита, ибо хотя движение воздуха увлекало магнит в сторону, он в конце концов возвращался на прежнее место. При отводе его из этого места сила кручения шелкового подвеса заставляла эту систему колебаться; продолжительность половины колебания, т. е. передвижения в одном направлении, составляла около трех минут, и, следовательно, полного колебания — шесть минут.

2566. Когда на опорной стойке был укреплен кристалл висмута с магнекристаллической осью в горизонтальном направлении, то его можно было поставить вблизи нижнего полюса магнита в любое положение. Если затем его оставить на два или три часа или до тех пор, пока путем повторных испытаний можно установить, что магнитный полюс занял устойчивое положение, то можно определить это положение, а также величину и направление влияния, которое на него оказывает висмут. Эти наблюдения требовали чрезвычайных мер предосторожности, и наблюдатель не должен был при своем приближении к месту опыта иметь при себе никаких стальных и железных предметов, как очки, яжи, ключи и т. п.; кроме того, в этом случае приходилось пользоваться стеклянными подсвечниками. Производимое висмутом действие было весьма незначительно, но все же оказалось, что когда направление магнекристаллической оси составило угол в 10, 20 или 30°

с линией, идущей от магнитного полюса до середины кристалла висмута, то полюс следовал за ней, стремился привести обе эти линии в параллельное положение. Это происходило независимо от того, какой конец магнитной оси был обращен к полюсу, и в какую сторону он от него был отклонен. Путем повторных движений висмута можно было довести отклонение магнитного полюса до 60° .

2567. Таким образом, кристалл висмута может действовать на магнит и влиять на него на расстоянии.

2568. Но хотя, таким образом, это влияние имеет характер силы, действующей на расстоянии, оно все же вызывается той силой частиц, которая заставляет их соединяться в правильном порядке и сообщает всей массе ее кристаллическую структуру; мы называем ее иногда агрегатным сцеплением и зачастую говорим о ней, что она действует на *неощутимых* расстояниях.

2569. Для дальнейшего выяснения природы этой силы я исследовал затем влияние на кристаллы висмута теплоты, когда они находятся в магнитном поле. Кристаллы подвешивались на тонкой платиновой или медной проволоке и нагревались, иногда — с помощью небольшой спиртовой лампы, которая подносилась прямо к кристаллу, а иногда — в масляной ванне, помещенной между магнитными полюсами. Хотя в этих случаях восходящие токи воздуха и жидкости были весьма сильны, они были все же слишком слабы, чтобы преодолеть вызываемое магнекристаллическим действием стремление кристаллов установиться в определенном направлении; они скорее помогали узнавать, когда это действие ослабляется или прекращается.

2570. Если температуру воздуха постепенно повышать, то кристалл висмута продолжает устанавливаться в определенном направлении, но затем внезапно становится безразличным в этом отношении и начинает под влиянием восходящих токов воздуха поворачиваться в разных направлениях. Если сейчас же после этого удалить пламя лампы, висмут начинает

медленно и правильно вращаться, как если бы у него не было стремления занять какое-либо одно направление предпочтительно перед другим или как если бы у него не оставалось более никакой магнекристаллической силы. Однако спустя несколько секунд, когда температура упадет, он вновь приобретает свою способность устанавливаться в определенном направлении, и притом — мгновенно и в полном объеме; при этом он устанавливается в том же самом направлении, что и вначале. При тщательном осмотре кристалла его внешний вид и разлом показали, что как кристалл он не претерпел никаких изменений. Лишь небольшой шарик висмута, выступивший в одном месте на его поверхности, показал, что температура подошла очень близко к точке плавления.

2571. Тот же результат получался и в масляной ванне, только удаление лампы от масляной ванны не прекращало в тот же момент поступления тепла в висмут, и последний расплавился в большем количестве: около четвертой части его превратилось в каплю, которая висела на нижнем конце. И снова вся масса теряла при высокой температуре свою (магнекристаллическую) силу, и эта сила при охлаждении появилась вновь в прежнем направлении, но в меньшем размере. Причина ослабления силы была выяснена, когда кристалл был разбит: а именно та часть его, которая была расплавлена, закристаллизовалась теперь неправильно, вследствие чего, будучи активной в начале опыта, она к концу последнего стала нейтральной.

2572. Поскольку теплота оказывает такое действие, прежние ожидания (2502), что висмут в магнитном поле будет кристаллизоваться правильно, является, конечно, необоснованным; ибо металл должен прийти в твердое состояние и его температура должна, вероятно, понизиться на несколько градусов, только тогда он приобретет способность проявлять магнекристаллические явления. Если теплота оказывает такое же действие на все тела до их плавления, то, конечно, ни с одним из них нельзя воспользоваться таким процессом.

2573. Тот же опыт был произведен с куском кристаллической сурьмы, и последняя тоже потеряла свою магнекристаллическую силу ниже темно-красного каления, как раз когда она начала размягчаться настолько, что на ней появлялся след той медной петли, на которой она висела. После охлаждения она не вернулась к прежнему состоянию, а стала просто магнитной и начала устанавливаться в определенном направлении. Магнитность, как я полагаю, возникла благодаря железу под действием пламени и теплоты спиртовой лампы. В самом деле, теплоты оказалось достаточно для того, чтобы часть сурьмы сгорела и поднялась в виде паров окиси сурьмы, а, значит, это могло освободить и некоторое количество железа, которое затем было приведено (2608) углеродом и водородом пламени в сильно магнитное состояние.

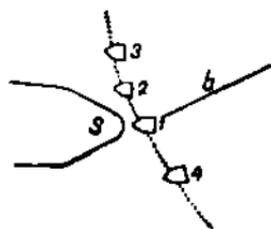


Рис. 184

2574. Для дальнейшего выяснения взаимодействия между висмутом и магнитом висмут был подвешен, как это было описано выше (2551), на бифилярных весах, но был повернут так, что его магнекристаллическая ось, будучи горизонтальна, не была ни параллельна, ни перпендикулярна к плечу коромысла, а стояла под некоторым углом к нему, как это показано на рис. 184; здесь 1 изображает прикрепленный к плечу весов *b* кристалл висмута, ось которого расположена таким образом, что кристалл может при своем колебании проходить через различные положения 1, 2, 3, 4; *S* — полюс магнита, который отделен от кристалла лишь стеклом колпачка. Ясно, что в положении 1 магнекристаллическая ось и магнитная силовая линия друг другу параллельны; в положениях же 2, 3, 4 они образуют друг с другом некоторый угол. Когда этот прибор установлен так, что кристалл висмута находится в равновесии в 1, то возникновение полной магнитной силы гонит его в 4; это — результат диамагнитного действия. Однако, когда вис-

мут находится в равновесии в 2, то возбуждение магнитной силы толкало его не в 3, как можно было бы ожидать по прежним опытам, а к 1; до этого места он обычно доходил, а иногда даже заходил за него и проходил немного далее по направлению к 4. В этом случае магнекристаллическая и диамагнитная силы были направлены противоположно друг другу, и до положения 1 первая из них имела перевес.

2575. Однако, хотя в приведенных выше опытах кристалл двигался поперек силовых линий в магнитном поле, нельзя ожидать, что он будет вести себя так же в таком поле, где линии идут параллельно и одинаковы по силе, как это имеет место между плоскими полюсами; здесь кристалл вынужден двигаться лишь параллельно самому себе, так как при этих условиях силы в обоих направлениях и по обе стороны от массы одинаковы, и единственное стремление, которое кристалл имеет благодаря своему магнекристаллическому состоянию, заключается в том, чтобы вращаться около вертикальной оси до тех пор, пока он окажется в своем естественном положении в магнитном поле.

2576. Затем относительно магнекристаллической силы возникает чрезвычайно важный вопрос, а именно, является ли она первоначальной силой, присущей кристаллу висмута и др., или же она возбуждается под магнитным и электрическим влиянием. Когда мы держим кусок мягкого железа вблизи магнита, то он приобретает новые силы и свойства. Одни полагают, что это связано с возникновением благодаря индукции в мягком железе и его частицах новой силы, которая по своей природе подобна силе индуцирующего магнита. Другие думают, что эта сила уже первоначально существовала в частицах железа и что индуктивное действие заключается лишь в том, что оно приводит все эти элементарные силы в одно общее для всех направление. В применении к кристаллам висмута мы не можем прибегнуть к последнему допущению без всякого изменения, ибо в данном случае все частицы наперед имеют

определенное расположение, причем именно это расположение частиц и их сил и сообщает висмуту его свойство. Если частицы какого-нибудь вещества находятся в беспорядочном состоянии, как частицы железа, когда последнее не намагничено, то магнитная сила может возбудить магнитное, а также диамагнитное состояние, которое, вероятно, является состоянием индукции; однако отсюда сразу не явствует, чтобы она могла возбудить такое состояние, какое мы сейчас рассматриваем.

2577. Что частицы в широком объеме сохраняют свои особенности во всех явлениях, это становится ясным, если принять в соображение, что они обладают некоторой присущей им способностью или силой — силой кристаллизационной, которая от них совершенно неотъемлема, так что ее нельзя изменить какой бы то ни было обработкой; это и есть та самая сила, которая, располагая частицы в правильном порядке в массе вещества, делает их способными действовать совместно на магнит или на электрический ток и влиять на них или же испытывать на себе их влияние; и когда частицы не расположены вышеуказанным образом, а расположены в массе во всех направлениях, тогда сумма их сил во вне равна нулю, и никакое индуцирующее действие магнита или тока не может произвести ни малейшего следа этих явлений.

2578. А что частицы даже до кристаллизации могут до некоторой степени действовать на расстоянии благодаря своей кристаллизационной силе, на это, я думаю, указывает следующий факт. В склянке содержалось около кварты раствора сернонатриевой соли такой крепости, что в холодном состоянии для его кристаллизации достаточно было прикоснуться к нему кристаллом этой соли или посторонним телом; эта склянка была случайно оставлена в течение недели или дольше без присмотра и в полном покое. Раствор оставался жидким, но достаточно было прикоснуться к склянке — и сразу во всей массе произошло кристаллизация, причем получились светлые, отчетливые, прозрачные пластинки, имевшие длину в дюйм или больше, ширину около полдюйма; они были очень тонки,

вероятно, около одной пятидесятой или шестидесятой части дюйма. Все они были расположены горизонтально и, конечно, параллельно друг другу, и, если память мне не изменяет, они были направлены своей длиной одинаково и были схожи по своему характеру, а также, по-видимому, по своему количеству во всех частях склянки. При опрокидывании склянки они держали на весу почти всю жидкость, а когда жидкость была вылита, они представляли собою прекрасную и однородную коллекцию кристаллов. Это явление привело меня тогда к убеждению, что хотя влияние частицы в растворе в момент, близкий к кристаллизации, должно распространяться непосредственно и преимущественно на соседние с ней частицы, она может все-таки оказывать влияние и за их пределами, без чего вся масса раствора едва ли могла бы быть приведена в состояние столь однородной кристаллизации. Может ли быть связано горизонтальное положение пластинок с почти вертикальным направлением магнитных силовых линий, которые в течение всего времени пребывания склянки в покое проходили через нее от земного магнетизма — это выходит за пределы того, что я решаюсь утверждать.

2579. В нижеследующем приведены соображения, имеющие отношение к большому вопросу (2576) о том, каково это состояние: первоначальное или индуцированное.

2580. Прежде всего, висмут не уносит с собой из магнитного поля никакой силы или особого состояния, которое сообщало бы ему способность действовать на магнит (2504); стало быть, если состояние, приобретенное кристаллом, является индуцированным, то оно, по всей вероятности, является переходящим и наблюдается в течение только того времени, когда кристалл находится под действием индукции. Хотя доказательство, почерпаемое из этого факта, имеет по существу только отрицательное значение, этот факт все же находится — в том виде, как он установлен — в согласии с указанным выше допущением.

2581. Далее, допустим, что указанное действие именно в кристалле полностью вызывается некоторой первоначальной

присущей массе силой; тогда мы могли бы надеяться установить, что земной магнетизм или какой-либо слабый магнит окажет на кристалл некоторое влияние. Ведь, в самом деле, малая магнитная сила должна *индуцировать* в кристалле висмута некоторое определенное состояние точно так же, как большая, но лишь в соответствующей пропорции. Но если это состояние присуще кристаллу и величина его не изменяется в зависимости от величины действующей на него магнитной силы, то малая магнитная сила должна действовать на висмут более явственно, чем она действовала бы, если бы это состояние в висмуте индуцировалось и притом лишь пропорционально индуцирующей силе. Какова бы ни была ценность этого соображения, оно побудило меня очень тщательно повторить опыт касательно влияния Земли (2505). Я подвешивал кристаллы в небольшие колбы или склянки, заключенные в защитные склянки большего размера, и производил опыт и подвале с ровной и постоянной температурой; таким образом я мог исключить всякое действие воздушных течений, так что кристаллы повиновались малейшему кручению, сообщаемому подвесной нити посредством находившегося наверху указателя. При этих обстоятельствах я не мог найти никаких указаний на стремление установиться в определенном направлении под влиянием земли ни у кристаллов висмута, ни у кристаллов сульфата железа. Быть может, на экваторе, где силовые линии идут горизонтально, эти указания можно было бы сделать заметными.

2582. В-третьих, если допустить, что в кристаллах и их молекулах существует первоначальная сила, то можно было бы ожидать, что они обнаружат какое-либо непосредственное влияние друг на друга, независимо от магнитной силы, и если бы это оказалось так, то этим путем был бы получен наилучший возможный аргумент в пользу того, что сила, которая обнаруживается в магнитном поле, присуща самим кристаллам. Однако, помещая большой кристалл с горизонтально направленной магнекристаллической осью под небольшим подвешен-

ным кристаллом или рядом с ним, я не мог заметить никакого признака взаимодействия; не было их и тогда, когда я сошлифовал или выравнял путем растворения сближаемые части кристаллов, чтобы таким образом возможно теснее приблизить друг к другу две массы, устроить большие поверхности на возможно малом расстоянии друг от друга. Эти опыты требуют чрезвычайной тщательности (2581), так как в противном случае происходит много явлений, которые как будто указывают на существование какого-то взаимодействия между этими телами.

2583. Не мог я найти никакого следа взаимодействия и между двумя кристаллами висмута или сульфата железа, когда оба они находились в магнитном поле и один из них был подвешен, а другой перемещался из одного положения в другое вблизи первого.

2584. Отсутствие или крайняя незначительность способности кристаллов висмута влиять друг на друга, а также действие теплоты, которая способна отнять у кристалла его силу раньше, чем он потеряет свое чисто кристаллическое состояние (2570), заставляет меня думать, что сила, обнаруживающаяся в кристалле, когда он находится в магнитном поле, проявляющаяся посредством внешних действий и вызывающая движение его массы, является преимущественно и почти полностью *индуцированной* каким-то путем, зависящим, конечно, от кристаллической силы, и в конце концов прибавляется к последней; но в то же время она повышает эту силу и ее действия до некоторой величины, какой они не достигли бы без индукции.

2585. В таком случае следовало бы по отношению к этой силе применить слово «магнитокристаллическая», так как она возникает или возбуждается под влиянием магнита. Словом «магнекристаллическая» я пользовался специально для обозначения того, что, по моему мнению, принадлежит самому кристаллу; в этом смысле я и в дальнейшем буду говорить о магнекристаллической оси и т. п.

2586. Эта сила представляется мне очень странной и удивительной по своему характеру. Она не полярна, так как в данном случае нет ни притяжения, ни отталкивания. Затем, какова природа той механической силы, которая вращает кристалл (2460) или сообщает ему способность действовать на магнит (2564)? Кристалл ведет себя не так, как вращающаяся проволочная катушка, на которую действуют магнитные силовые линии, ибо для действия катушки требуется электрический ток, и затем кольцо все время обладает полярностью и сильно притягивается или отталкивается.¹

2587. Можно было бы временно допустить, что аксиальное положение таково, что в нем кристалл не испытывает действия, но что при косвенном положении магнекристаллическое аксиальное направление испытывает действие и становится полярным; при этом появляются два натяжения, вращающие кристалл; но тогда одновременно должны были бы иметь место притяжения, и подвешенный вкось кристалл должен был бы притягиваться отдельным полюсом или ближайшим из двух полюсов. Однако никакого подобного действия не наблюдалось.

2588. Можно еще предположить, что в направлении магнекристаллической оси кристалл по сравнению с другими направлениями несколько больше поддается магнитной индукции или несколько меньше поддается диамагнитной индукции. Но если это так, то он должен был бы обязательно обнаруживать полярные притяжения в случае магнитных тел, как сульфат железа (2557, 2583); а в случае диамагнитных тел, как висмут, он должен был бы обнаруживать различие в величине отталкивания, когда он подвешен магнекристаллической осью параллельно или перпендикулярно к магнитным силовым линиям (2552). Но кристалл этого не делает.

2589. Я до сих пор не знаю примера силы, подобной рассматриваемой, когда тело приводится только в определенное направление без притяжения или отталкивания.

¹ Возможно, что в дальнейшем эти пункты будут объяснены действием смежных частей (1663, 1710, 1729, 1735, 2443).

2590. Если эта сила индуцируется, то она должна быть, вообще говоря, подобна главенствующим индуцирующим силам, а таковыми в настоящем случае являются силы магнитные и электрические. Если она индуцируется, то, будучи подвергнута действию силы кристаллизации (2577), она должна показать внутреннюю связь между этой силой и вышеуказанными. Поэтому какой надеждой мы должны быть преисполнены, что эти опыты помогут нам раскрыть двери к полному познанию этих сил (2146) и тех сложных условий, в которых они пребывают в частицах материи и оказывают свое влияние, производя вызываемые ими чудесные явления!

2591. Я не могу воздержаться от того, чтобы высказать здесь еще один взгляд на эти явления — взгляд, который, быть может, является правильным. Можно думать, что магнитные силовые линии до некоторой степени подобны лучам света, теплоты и т. д. и допустить, что при прохождении через тела они встречают известное затруднение и таким образом испытывают на себе их действие — так же, как его испытывает свет. Так, например, когда на их пути имеется кристаллическое тело, то по направлению магнекристаллической оси они могут проходить через них легче, или с меньшим сопротивлением, чем по другим направлениям. В этом случае то направление, которое кристалл принимает в магнитном поле, т. е. такое, при котором магнекристаллическая ось направлена параллельно магнитным силовым линиям, — это направление, может быть, таково, что при нем сопротивление отсутствует или же является наименьшим; тогда это направление будет направлением покоя и устойчивого равновесия. Все диаметральные действия оказались бы в согласии с этим воззрением. Тогда магнекристаллическая ось была бы для магнитных силовых линий совершенно тем же, чем оптическая ось является для поляризованного света, а именно — тем направлением, в котором они не испытывают на себе никакого влияния. Если бы это было так, то, поскольку эти явления имеют место в кристаллических телах, мы могли бы надеяться открыть ряд явлений,

связанных с замедлением или с влиянием направления, и они были бы параллельны тем прекрасным явлениям, которые дает в подобных телах свет. Высказывая это предположение, я не забываю об инерции и количестве движения, но то представление, которое я могу составить себе об инерции, не исключает вышеизложенного воззрения, как совершенно иррационального. Я вспоминаю также, что когда магнитный полюс и провод, по которому идет электрический ток, скреплены вместе таким образом, что один не может вращаться без другого, то если один из них сделать осью, то другой будет вращаться и увлекать за собою первый; я вспоминаю еще, что если магнит заставить плавать в ртути и пропустить через него ток, то магнит будет вращаться под действием тех сил, которые существуют *внутри* его массы. При моих несовершенных математических познаниях мне представляется, что для объяснения этих движений имеется столько же затруднений, как и для объяснения того, которое я здесь предполагаю; поэтому я и решаюсь выдвинуть эту идею.¹ Надежды получить поляризованный пучок магнитных сил сами по себе уже достаточны для того, чтобы побудить к серьезной работе над таким вопросом, какой стоит перед нами хотя бы только мысленно; а я могу определенно утверждать, что ни у кого, кто производит научные исследования усердно, беспристрастно и осторожно, экспериментальная работа никогда не останется тщетной.

2592. В одном из своих прежних докладов (2469) я упоминал уже о прекрасном открытии Плюккера и о явлениях, связанных с отталкиванием оптической оси² некоторых кристаллов магнитом, и указал на их отличие от моих собственных, полученных с висмутом, сурьмой и мышьяком; в них нет ни отталкивания, ни притяжения. При этом я вместе с Плюккером полагал, что обнаружившаяся там сила является силой опти-

¹ См. примечание (2839).

² Об отталкивании оптических осей кристаллов полюсами магнита. Poggendorff's Annalen, LXXII, октябрь 1847, или Scientific Memoirs Тейлора (Taylor), V, стр. 353.

ческой оси и действует в экваториальном направлении, а потому направлена перпендикулярно к той силе, которая вызывает магнекристаллические явления.

2593. Но обе эти силы имеют отношение к кристаллической структуре и, следовательно, к той силе, которая создает это состояние; это вполне очевидно. Другие соображения, касающиеся положения, установки в определенном направлении и вращения, точно так же указывают на то, что отношение, в котором эти две силы находятся друг с другом, сильно отличается от того отношения, какое существует между ними и магнитной и диамагнитной силой. Поскольку, таким образом, ясно устанавливается, с одной стороны, указанное выше сходство, а с другой стороны, отчетливое различие, я попытаюсь сопоставить эти два ряда явлений и выяснить, не тождественны ли те силы, которые их вызывают.

2594. Я имел благоприятную возможность проверить под руководством самого Плюккера его опыты с турмалином, ставролитом, красной кровяной солью и исландским шпатом. Позднее, в связи с настоящей работой, я тщательно исследовал шпат, поскольку он принадлежит к телам, которые, с одной стороны, свободны от магнитного действия, а с другой, имеют столь простую кристаллическую структуру, что обладают лишь одной оптической осью.

2595. Когда небольшой ромбоид, наибольшее протяжение которого составляет около 0.3 дюйма, подвешен с горизонтально направленной оптической осью между остроконечными полюсами электромагнита (2458), придвинутыми друг к другу настолько, чтобы только не мешать движению кристалла, то ромбоид устанавливается в экваториальном направлении, и оптическая ось его совпадает с магнитной осью. Но если полюсы раздвинуть друг от друга на расстояние половины или трех четвертей дюйма, то ромбоид поворачивается на 90° и устанавливается своей оптической осью в экваториальном направлении, а наибольшей длиной — аксиально. В первом случае диамагнитная сила одерживала верх над силой опти-

ческой оси; во втором случае сила оптической оси оказалась большей из этих двух сил.

2596. Для того чтобы устранить диамагнитное действие, я воспользовался плоскими полюсами (2463); в этом случае наш небольшой ромбонд всегда устанавливался так, что его оптическая ось была направлена экваториально, или же колебался около этого положения.

2597. Я взял также три кубика известкового шпата (1695) со сторонами в 0.3, 0.5 и 0.8 дюйма, в которых оптические оси были перпендикулярны к двум из их граней, и последовательно помещал их в магнитном поле между плоскими и остроконечными полюсами. Во всех случаях оптическая ось, если она была направлена горизонтально, принимала экваториальное положение; когда же она была направлена вертикально, то кубики оказывались в отношении направления безразличными. Методом двух положений (2470) было легко найти силовую линию, которая, будучи направлена вертикально, прекращала действие магнита на массу, а будучи расположена горизонтально, принимала экваториальное направление. Когда кубик затем исследовался в поляризованном свете, то оказалось, что эта линия совпадает с оптической осью.

2598. Даже подковообразный магнит (2485) достаточно силен для того, чтобы воспроизвести указанные выше явления.

2599. Я подверг испытанию два подобных кубика горного хрусталя (1692), но не мог заметить ни следа явлений, которые имели бы магнеоптическое, магнекристаллическое или какое-нибудь иное отношение к кристаллической структуре их масс.

2600. Таким образом, вполне достоверно, что в кристалле известкового шпата имеется линия, совпадающая с оптической осью; эта линия, видимо, представляет собою результирующую сил, заставляющих кристалл принимать некоторое определенное направление в магнитном поле; равным образом достоверно, что эта линия устанавливается в экваториальном направлении. И тем не менее, если ее рассматривать как силовую

линию, т. е. как линию, изображающую направление той силы, которая приводит кристалл в это положение, то, мне кажется, она содержит в себе нечто аномальное по своему характеру. В самом деле, здесь действие направляющей и определяющей силовой *линии* как будто истощается тем, что она стремится стать в некоторой *плоскости* (экваториальной), а в ней она может занять безразлично любое из бесчисленного множества положений; я не могу себе составить об этом ясное представление и прихожу к мысли, что здесь имеется еще какое-то действие или остаточное явление, которое надо распознать и объяснить.

2601. При дальнейшем рассмотрении оказывается, что с помощью одного магнекристаллического состояния, как оно имеется в висмуте, можно сделать простое устройство, которое в совершенстве изобразят нам состояние известкового шпата; в самом деле, возьмем два одинаковых куска висмута и расположим их магнекристаллическими осями перпендикулярно друг к другу (2484); тогда мы получим систему сил, которая на вид будет иметь в качестве своей результирующей линию, стремящуюся установиться в экваториальном направлении. Когда эта линия вертикальна, то система является, с точки зрения своего положения, безразличной; но когда она горизонтальна, то система устанавливается таким образом, что эта линия находится в экваториальной плоскости. Тем не менее действительная сила проходит не в экваториальном, а в аксиальном направлении, и система приводится в движение скорее тем, что можно рассматривать как *плоскость аксиальной силы* (получающейся в результате сложения двух взаимно перпендикулярных осей), а не как *линию экваториальной силы*.

2602. Конечно, ромбоид или куб (2597) известкового шпата не являются сложным кристаллом, подобным только что упомянутой системе кристаллов висмута (2601), но его молекулы могут обладать сложным распределением своих сил и могут иметь две или более осей силы, которые, создавая кристаллическую структуру, могут в то же время проявлять по отноше-

нию к магниту такую силу, которая таким же образом будет давать явления того же рода, какие имеют место у двойного кристалла висмута (2601). Действительно, мысль о том, что в частицах исландского шпата или в частицах висмута должна существовать лишь одна ось кристаллической силы, представляется мне никак не совместимой с тем фактом, что эти вещества *разламываются* в трех или более направлениях.

2603. Оптическая ось в куске известкового шпата представляет собою просто линию, по которой луч света, поляризованный или обыкновенный, подвергается при прохождении наименьшему действию. Может быть, это такая линия, которая, как результирующая молекулярных сил, является линией наименьшей интенсивности, а нет сомнения, что, с точки зрения обычных и механических средств испытания сцепления, кусок известкового шпата на своих гранях и в местах, параллельных оптической оси, заметно и даже гораздо тверже, чем на гранях, перпендикулярных к последней. Это можно показать с помощью обыкновенного осколка или куска песчаника. Таким образом, поскольку плоскость, экваториальная по отношению к оптической оси, представляет направления, по которым сила, вызывающая кристаллизацию, больше, чем по направлению оптической оси, она может быть также той плоскостью, в которой проявляется действие результирующей ее магнекристаллической силы.

2604. В некотором противоречии с этими соображениями и вынужден отметить, что висмут, сурьма и мышьяк очень легко *разламываются* перпендикулярно к магнекристаллической оси (2475, 2510, 2532). Но мы должны помнить, что сила разлома (и значит сцепления) является не единственным обстоятельством, которое нужно принимать во внимание, так как в известковом шпате она не совпадает ни с аксиальным, ни с экваториальным положением в магнитном поле; для полного понимания и установления правильного отношения между всеми этими моментами мы должны не упускать из внимания и полярного (или аксиального) состояния частиц в массе вещества.

2605. Я должен также согласиться, что если мы будем рассматривать известковый шпат как тело, представляющее простую систему силы, то, соединяя два кристалла с взаимно перпендикулярно направленными оптическими осями, мы можем устроить сложную массу, которая будет правильно изображать висмут в направлении силы, т. е. в магнитном поле эта система будет, видимо, стремиться устанавливаться только по одной силовой линии, и притом — в аксиальном направлении; между тем в действительности она будет приводиться в движение системой сил, лежащих в экваториальной плоскости. Я не решаюсь в настоящее время утверждать, что дело обстоит не так; но я полагаю, что металлы висмут, сурьма и мышьяк дают нам простейшие и по своим действиям наиболее интенсивные случаи магнекристаллической силы; как бы там ни было, я все же придерживаюсь мнения, что явления, открытые Плюккером, и явления, о которых я сообщил в этих двух докладах, имеют общее происхождение и общую причину.

2606. Я тщательно разобрался во всех опытах и рассуждениях с Плюккеровыми кристаллами (как известковый шпат, турмалин и красная кровяная соль) с точки зрения вопроса о первоначальной или индуцированной силе (2576), как я это сделал раньше, и пришел к тому же выводу, что и в первом случае (2584).

2607. Я не мог установить, чтобы кристаллы красной кровяной соли или турмалина испытывали на себе влияние земного магнетизма (2581) или чтобы они обладали способностью действовать друг на друга (2582). Не мог я также установить, чтобы явления с известковым шпатом или красной кровяной солью, открытые Плюккером, сводились к притяжению или отталкиванию, или, наоборот, были связаны только с направлением (2550, 2560). Все эти обстоятельства склоняют меня к убеждению, что сила, действующая в его опытах и в моих явлениях с висмутом и другими, одна и та же.¹

¹ Оптическая ось представляет собою направление наименьшей оптической силы; согласно опытам Плюккера, она совпадает с тем направле-

2608. Небольшой ромбоид исландского шпата был нагрет в магнитном поле до высшей температуры, какую могла дать спиртовая лампа (2570); он дошел по меньшей мере до температуры полного красного каления меди, но стремился к определенному направлению столь же хорошо, как и раньше. Небольшой толстый турмалин был нагрет до такой же степени и занимал определенное направление столь же хорошо. Однако после охлаждения он стал весьма магнитным и, казалось, сделался совершенно непригодным для опытов при низких температурах; но когда я продержал его несколько секунд в царской водке, то с его поверхности ушло в раствор немного железа, и он после этого начал устанавливаться в определенном направлении столь же хорошо, как прежде, и в согласии с законом Плюккера. На его поверхности некоторое количество пероксида было восстановлено пламенем и теплотой в протоксид, что и вызвало вышеуказанные магнитные явления.

2609. Между магнитооптическими явлениями Плюккера и теми явлениями, которые я ранее получил с тяжелым стеклом и другими телами (2152 и т. д.), существует общая и, как мне кажется, важная связь. Когда какое-нибудь из этих тел под влиянием магнитных или электрических сил оказывается под действием сильной индукции, то оно приходит в особое состояние, при котором оно может оказывать влияние на поляризованный луч света. Это действие заключается во вращении луча, когда последний проходит через вещество параллельно магнитным силовым линиям, или, другими словами, в аксиальном направлении; но когда он проходит в экваториальном направлении, никакого действия не получается. Таким образом, экваториальная плоскость является той плоскостью, в которой

нием, которое я в своих опытах рассматриваю как направление наименьшей магнесталлической силы. Представляется более чем вероятным, что во всех случаях, когда в одном и том же теле можно будет установить оба ряда явлений (реально или только номинально различных), то окажется, что направления как максимального, так и минимального действия здесь и там совпадут. 23, ноября 1848 г

состояние молекулярных сил с точки зрения их влияния на свет возмущается в наименьшей степени. Так же обстоит дело и в явлениях Плюккера; оптическая ось или оптические оси, если их имеется две, при том же магнитном влиянии направляются в указанную плоскость, и они точно также являются линиями, по которым происходит минимальное действие (или не происходит никакого действия) на поляризованный свет.

2610. Представим себе, что кусок тяжелого стекла или некоторое количество воды возможно привести наперед в это состояние напряжения и затем поместить в магнитное поле; мне думается, что тогда они несомненно пришли бы в движение, если бы им предоставить такую возможность, и, естественно, установились бы так, что плоскость, в которой нет никакого действия на свет, стала бы экваториальной, совершенно так, как это происходит в опытах Плюккера с кристаллом известкового шпата или турмалина. И подобно тому, как в его опытах результат действия не изменяется от того, каковы свойства тел: магнитные или диамагнитные, так и в моих опытах производимый в обоих классах веществ оптический эффект имеет одно и то же направление и подчиняется одним и тем же законам (2185, 2187).

2611. Однако при указанном общем сходстве в этом большом и решающем моменте существует все же огромное различие в расположении сил в тяжелом стекле и в кристалле; еще большее различие заключается в том, что тяжелое стекло приходит в соответствующее состояние только на время, под напряжением и под действием индукции, между тем как кристалл обладает им без принуждения, естественно и постоянно. Но и в том и в другом случае, независимо от того, каково это состояние: естественное или индуцированное, оно представляет собою состояние частиц; а сравнение действия на свет стекла, находящегося в напряженном состоянии, с действием на свет свободного кристалла указывает на способность магнита индуцировать в частицах материи, и даже в частицах жидкостей (2184),

некоторое состояние, подобное тому, какое необходимо для кристаллизации.

2612. Если приведенные выше соображения имеют за собой какое-нибудь основание и если силы, обнаруживающиеся в кристаллах висмута и исландского шпата, действительно тождественны (2607), тогда имеется лишнее основание полагать, что, когда висмут и другие названные металлы находятся под действием силы магнита, в них существует как индуцированное состояние силы (2584), так и предсуществующая сила (2577). Последнюю можно, в отличие от другой, определить как кристаллическую силу; она обнаруживается, прежде всего, в таких телах, которые проявляют оптические оси и силовые линии, не находясь под действием индукции; она доказывается, далее, симметрическим состоянием всей массы, когда эти тела находятся в обыкновенных условиях, и, наконец, тем, что направление магнекристаллической силы в телах, которые согласно экспериментальным данным ею обладают, неподвижно [относительно тела].

2613. Хотя я говорил о магнекристаллической оси, как о некоторой линии или направлении, я никак не хотел бы быть понятым в том смысле, будто я допускаю, что вокруг этой оси сила убывает или состояние изменяется одинаково по всем направлениям. Представляется более вероятным, что в различных направлениях это изменение неодинаково по величине — в зависимости от сил, вызывающих различие форм кристаллов. Распределение этой силы можно точно установить, пользуясь хорошими кристаллами, постоянным обыкновенным магнитом (2485, 2528) или регулируемым электромагнитом, плоскими полюсами (2463) и кручением (2500, 2530).

2614. В заключение настоящей серии исследований я не могу не отметить, как быстро развивается наше знание молекулярных сил и как удивительно каждое научное изыскание все больше и больше раскрывает их важность и крайнюю привлекательность, как объекта изучения. Еще немного лет тому назад магнетизм был для нас сокровенной силой, действующей лишь на неболь-

шое количество тел. В настоящее время установлено, что он влияет на все тела и находится в самой тесной связи с электричеством, теплотой, химическим действием, светом, кристаллизацией, а при посредстве последней — с силами, действующими при сцеплении; при таком положении вещей мы живо ощущаем потребность продолжать свои работы, поощряемые надеждой привести их в связь даже с тяготением.

Королевский институт.

20 октября 1848 г.

ГЛАВА VI

О положении кристалла сульфата железа в магнитном поле

Поступило 7 декабря. Доложено 7 декабря 1848 г.

2615. Хотя явления описанного ниже вида имеют общий характер, я тем не менее считаю уместным указать, что я получил их, пользуясь главным образом магнитными полюсами (2247), вид которых сверху и сбоку показан на рис. 185. Кристаллы, которые подвергались их действию, подвешивались на коконовой нити таким образом, что приходились на один уровень с верхней границей полюсов.

2616. Был выбран призматический кристалл протосульфата железа около 0.9 дюйма длиной, 0.1 дюйма шириной и 0.05 дюйма толщиной. Исследованием было установлено, что его магнекристаллическая ось совпадает с толщиной и что она, значит, перпендикулярна или почти перпендикулярна (2546) к пластинке. Когда кристалл был подвешен описанным выше образом и магнит (2247) возбуждался с помощью десяти пар пластин Грова, то кристалл устанавливался в поперечном положении, т. е. своей магнекристаллической осью параллельно оси магнитной

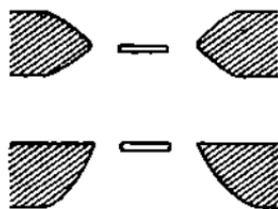


Рис. 185.

силы; так дело происходило, когда расстояние между полюсами составляло 2,25 дюймов и больше. Но когда это расстояние составляло около 2 дюймов или меньше, то он устанавливался в аксиальном направлении своей длиной или почти так и, значит, магнекристаллической осью поперек магнитных силовых линий. При промежуточных расстояниях между 2 и 2,25 дюймов призма принимала косвенное положение (2634), под большим или меньшим углом к аксиальной линии, и таким образом постепенно переходила из одного положения в другое. Это промежуточное расстояние я буду в дальнейшем называть λ (нейтральным).

2617. Если полюсы находятся друг от друга на расстоянии 2 дюймов, а кристалл постепенно опускать, то он переходит через те же промежуточные косвенные положения в поперечное; если кристалл поднимать, наблюдаются те же переходы. При меньшем расстоянии между полюсами происходят те же изменения, но позднее. Когда кристалл поднимают, они происходят быстрее, чем когда его опускают; но это происходит только вследствие несимметричности распределения и интенсивности магнитных силовых линий вокруг магнитной оси, что вызывается подковообразной формой магнита и формой полюсов. Если бы для опыта были взяты два цилиндрических магнита с одинаковыми коническими концами, то без сомнения при равных подъемах и опусканиях имели бы место соответственно одинаковые изменения в положении кристалла.

2618. Однако эти изменения вызываются не просто ослаблением магнитной силы с расстоянием, а различиями в *форме* и *направлении* результирующих силы. Это доказывается тем фактом, что если кристалл оставить в первоначальном положении и, стало быть, установившимся своей длиной аксиально, то никакое уменьшение силы магнита не изменит его положения; таким образом, сколько бы пар пластин мы ни пустили в ход для возбуждения магнита — одну или десять — расстояние λ (2616) остается неизменным; даже тогда, когда при понижении поля я перешел к обыкновенному подковообразному магниту, и получил тот же результат.

2619. Изменение длины призматического кристалла оказывает важное влияние на результат опыта. Когда кристалл короче, расстояние n уменьшается, причем все прочие явления остаются без изменения. Для кристалла длиной в 0.7 дюйма, но толще последнего, максимальное расстояние n было 1.7 дюйма. Для еще более короткого кристалла максимальное расстояние n было 1.1 дюйма. Во всех этих случаях изменение силы магнита не вызывало никаких заметных перемен.

2620. Изменение размера кристалла в направлении его магнетокристаллической оси влияло на расстояние n : удлинение кристалла вдоль магнетокристаллической оси уменьшало это расстояние, а укорочение кристалла в указанном направлении увеличивало его. Это я доказал двумя способами: во-первых, я ставил второй призматический кристалл рядом с первым в симметричном положении (2636), что сократило расстояние n до 1.75—2 дюймов; а затем я делал опыты последовательно с двумя кристаллами одинаковой длины, но различной толщины. У более толстого кристалла расстояние n оказалось меньше.

2621. Изменение высоты кристалла, т. е. его вертикального размера, не оказало заметного влияния на расстояние n . Оно и теоретически не должно его оказывать, пока прирост кристалла сверху или снизу не поставит верхнюю или нижнюю часть кристалла в условия, характерные для поднятых или опущенных объектов (2617).

2622. Изменение формы полюсов влияет на расстояние n . Когда полюсы более заострены, это расстояние увеличивается, а когда они более затуплены, вплоть до плоской формы (2463), то оно уменьшается.

2623. При более коротких кристаллах или при тупых полюсах часто оказывается необходимым уменьшить силу магнита, так как в противном случае кристалл может быть притянут к тому или другому полюсу. Однако этого можно избежать, если пользоваться вертикальной осью, закрепленной и сверху и снизу (2554); при этих условиях выяснилось, что различие в силе магнита не влияет или почти не влияет на результаты опытов.

2624. Описанные выше явления могут, вероятно, объясняться тем существенным различием, какое имеется между обыкновенным магнитным и магнекристаллическим действием, а именно тем, что первое из них является по своему характеру *полярным*, а второе только *аксиальным* (2472). Когда в магнитном поле находится кусок магнитного вещества, например железа, то он тотчас же становится полярным (т. е. концы его приобретают различные качества). Когда там находится много железных частиц, то все они становятся полярными, и если они имеют возможность двигаться, то они располагаются по направлению аксиальной линии, соединившись друг с другом противоположными полюсами; этим самым полярность частиц, находящихся на концах, усиливается. Но совершенно иначе обстоит, по-видимому, дело с частицами, находящимися под влиянием магнекристаллической силы: в данном случае сила оказывается, по-видимому, исключительно *аксиальной*, и отсюда, вероятно, проистекает различие вышеизложенных, а также многих других результатов.

2625. Так, например, если в магнитном поле равномерной силы (2465) подвесить четыре или большее количество железных кубиков, то они станут полярными. Точно также, если поставить в такие же условия четыре схожих кубика кристаллического висмута, они испытают влияние магнетизма и примут определенное направление. Если железные кубики сложить в ряд по направлению экваториальной линии, то они образуют систему, которая будет находиться в положении неустойчивого равновесия; она немедленно целиком повернется и установится в аксиальном направлении. Между тем кубики из висмута при подобном складывании не претерпят никакого заметного изменения.

2626. *Крайние* (и другие) из сложенных вместе по длине кубиков обладают теперь большей полярной силой, чем раньше, и вся группа кубиков служит, так сказать, проводником для линий магнитной силы; ибо много этих линий концентрируется в железе, и интенсивность силы между концами сложного желез-

ного стержня и магнитными полюсами оказывается гораздо больше, чем в других точках магнитного поля. Не так обстоит дело с кубиками из висмута: как их ни расположить, интенсивность силы в магнитном поле, поскольку это до сих пор показали опыты, не испытывает с их стороны никакого влияния, и интенсивность молекул кристаллов остается, по-видимому, прежней. Вот почему железо устанавливается между полюсами в длину; кристаллы же висмута, наоборот, все равно, как они стоят: бок о бок своими магнекристаллическими осями, так что устанавливаются в длину экваториально, или концом к концу, так что располагаются своей длиной аксиально, — в указанном выше отношении совершенно безразлично; в обоих случаях они колеблются и устанавливаются одинаковым образом.

2627. Если ввести кусок железа в поле равномерной магнитной силы и поднести к полюсу, он пристаёт к последнему и возмущает интенсивность поля, образуя в одном месте остроконечный полюс с расходящимися от него силовыми линиями. Кристалл висмута колеблется в любом месте поля (2467) с одинаковой на взгляд силой и не нарушает распределения силы.

2628. Вавешивая все эти действия и состояния, я склонен думать, что, когда мы имеем дело с телом одновременно и магнитным и магнекристаллическим, существование расстояния *n* может быть отнесено за счет того, что является причиной этих состояний и их различий, а именно, за счет *полярности*, которая свойственна магнитному состоянию, и за счет *аксиальности*, которая свойственна магнекристаллическому состоянию. Так, например, допустим, что имеется однородное магнитное поле с расстоянием в три дюйма от полюса до полюса и что посередине этого поля подвешен стержень из магнитного вещества длиной в дюйм. Благодаря своему свойству полярности стержень будет устанавливаться аксиально и будет передавать или проводить по своей массе магнитную силу гораздо лучше, чем она проходила раньше в том же месте, так что силовые линии между концами этого стержня и магнитными полюсами будут сгущаться и станут более интенсивными, чем во всех других местах магнитного

поля. Если полюсы приближать к стержню, то это действие будет усиливаться; стержень будет проводить все больше и больше магнитной силы и будет устанавливаться с соответствующей интенсивностью. При сближении полюсов не только становится интенсивнее магнитное поле, но и доля силы, проводимая стержнем, становится больше той, какая пропускается рядом с ним через такое же пространство в магнитном поле.

2629. Но если в магнитном поле поместить подобный же стержень из магнекристаллического вещества, то увеличение силы поля не достигнет при сближении полюсов того же размера, т. е. усилится не в той же большой пропорции. Нет никакого сомнения в том, что такое сближение повышает интенсивность силовых линий и, следовательно, повышает интенсивность магнетокристаллического состояния, но это состояние, по-видимому, не связано с полярностью, и сила, которую пропускает стержень, не больше той, которая проходит где-нибудь вне стержня через равное пространство в магнитном поле. Поэтому возрастание его направляющей силы происходит не так быстро, как возрастание направляющей силы упомянутого здесь магнитного стержня.

2630. Если мы затем возьмем стержень, который, подобно призме сульфата железа, является и магнитным и магнекристаллическим и у которого магнекристаллическая ось перпендикулярна к его длине, то для такого стержня, надлежащим образом подвешенного, должно существовать некоторое расстояние n между полюсами, при котором силы должны находиться почти в равновесии. При большем расстоянии между полюсами должна иметь перевес магнекристаллическая сила, а при меньшем расстоянии перевес должен быть на стороне магнитной силы, просто потому, что для магнитной силы, вследствие подлинной полярности молекул, увеличение и уменьшение происходит быстрее, чем для магнетокристаллической силы.

2631. Эта точка зрения находится в согласии и с тем фактом, что изменение силы магнита не влияет на расстояние n (2618, 2619), ибо при увеличении этой силы вдвое или вчетверо одно-

временно увеличиваются вдвое или вчетверо и магнитная и магнетокристаллическая силы и, стало быть, их отношение остается неизменным.

2632. Перемещение кристалла вверх или вниз от линии максимума магнитной силы в принципе, очевидно, равнозначно увеличению расстояния между магнитными полюсами и должно поэтому проиаводить соответствующие действия, что в действительности и имеет место (2617). Сверх того, когда кристалл поднят выше уровня полюсов, то результирующие магнитной силы, которые проходят через него, уже не параллельны его длине, а оказываются более или менее изогнутыми, так что они, вероятно, не могут теперь с такой же силой приводить весь кристалл в согласное поляризованное магнитное состояние, как в том случае, когда они ей параллельны. Что же касается возбуждения магнетокристаллического состояния, то каждая частица, по-видимому, испытывает действие независимо от всех прочих частиц, и, стало быть, здесь не должно наблюдаться какого-либо ослабления действий в зависимости от соединения действия отдельных частиц.

2633. Г-н Плюккер в бытность свою в Англии в минушем августе сообщил мне, что при изменении расстояния сила отталкивания на оптической оси уменьшается и увеличивается менее быстро, чем магнитная сила, но что при опытах с более сильным или более слабым магнитом ее отношение к магнитной силе не изменяется. Это, очевидно, то же самое явление, которое описал и я, и это еще сильнее убеждает меня в том, что результаты, полученные им и мною, вызываются одной и той же причиной (2605, 2607).

2634. Я сказал уже, что в пределах расстояния n кристалл сульфата железа устанавливается более или менее вкось (2616). Я остановлюсь теперь на этом обстоятельстве более подробно. Подберем расстояние n таким образом, чтобы призматический кристалл, находящийся в это время между полюсами, составлял угол в 30° (или какой угодно другой) с аксиальной линией;

тогда мы найдем, что имеется еще одно устойчивое положение, в котором он может стоять неподвижно, а именно — диаметрально противоположное положение (2461), но при этом указанный угол отклонения будет находиться всегда на одной и той же стороне от аксиальной линии; с противоположной стороны от аксиальной линии кристалл при таком же угле отклонения в 30° установиться не может.

2635. Если кристалл повернуть на 180° вокруг вертикальной оси, так что концы его обменяются местами, то угол отклонения и направление, в котором отклонение происходит, остаются без изменения; кристалл при этом просто получает диаметрально противоположное положение. Но повернем кристалл на 180° вокруг горизонтальной оси, все равно вокруг какой: той, которая совпадает с его длиной и представляет максимум магнитного направления, или же вокруг той, которая соответствует его ширине и, значит, магнекристаллической оси; теперь угол отклонения оказывается по своей величине таким же, как и раньше, но он лежит по *другую* сторону от аксиальной линии.

2636. Так обстоит дело со всеми исследованными мною призматическими кристаллами сульфата железа. Это явление оказывается вполне определенным и, как этого можно было ожидать, в тех случаях, когда у двух кристаллов совпадают направления отклонения, у них оказываются соответственно расположенными и их внешние очертания и направление различных плоских граней.

2637. Все эти различия в положении указывают на косвенное направление результирующей направляющей силы, получающейся вследствие соединенного действия магнитной и магнекристаллической сил, и их можно было бы объяснять, исходя из допущения, что магнекристаллическая ось или линия максимума магнекристаллической силы не перпендикулярна к основным граням кристалла (или к ограничивающим его плоскостям), а несколько наклонена в направлении длины.

2638. Так ли это в действительности, или же, быть может, максимум линий магнитной силы даже и в малой степени не

наклонен к длине призмы, во всяком случае расстояние l дает прекрасное средство для экспериментального исследования этого отклонения, как бы мало оно ни было, дает благодаря той легкости, с какой можно сделать преобладающим в любой желательной степени влияние того или другого из них.

Королевский институт.

6 декабря 1848 г.

2639. *Примечание.* (2591). Можно было бы выдвинуть на обсуждение еще одну гипотезу. Я уже сказал, что стремление занять определенное направление, но без притяжения или отталкивания, можно было бы объяснить, если допустить существование одних лишь аксиальных свойств (2587, 2591). Если теперь допустить возможность того, что молекулы становятся полярными по отношению к северному и южному полюсам магнита, но *при этом не действуют друг на друга*, то кристалл висмута или какой-нибудь другой под действием одной лишь аксиальной силы мог бы устанавливаться так, как под действием индукции. Однако мне кажется весьма невероятным, чтобы полярности какой-нибудь определенной частицы в кристалле ощущали влияние полярностей удаленных от них магнитных полюсов и в то же время не испытывали на себе влияния *подобных же полярностей смежных частиц.*

24 января 1849 г.

ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ СЕРИЯ ¹

Раздел 29 О полярном или ином состоянии диамагнитных тел.

Поступило 1 января. Доложено 7 и 14 марта 1850 г.

РАЗДЕЛ 29

О полярном или ином состоянии диамагнитных тел

2640. Четыре года тому назад я высказал мысль, что все явления, которые диамагнитные тела обнаруживают, находясь под влиянием сил в магнитном поле, можно объяснить, если допустить, что они обладают полярностью, одинаковой по роду, но противоположной по направлению той полярности, которую при тех же обстоятельствах приобретают железо, никель и обыкновенные магнитные тела (2429, 2430). Эта точка зрения была весьма благоприятно принята Плюккером, Рейхом и другими, а в особенности Вебером,² и это возбудило во мне горячую надежду, что она получит подтверждение; и хотя некоторые собственные мои опыты (2497) не подкрепили этой надежды, тем не менее и мои желаниа и мои ожидания были по-прежнему обращены в эту сторону.

2641. Однако вопрос о том, являются ли висмут, медь, фосфор и др., находясь в магнитном поле, полярными или нет,

¹ Philosophical Transactions, 1850, стр. 171.

² Poggendorffs Annalen, 7 января 1848 (DXXII, 241), или Scientific Memoirs Тейлора, V, стр. 477.

представляется чрезвычайно важным, и понятно, что следует ожидать весьма существенных и крупных различий в характере действия этих тел, если исходить из той или другой точки зрения. При каждой своей попытке перейти с помощью экспериментальной индукции от того, что в данной отрасли науки известно, к тому, что является неизвестным, я, вследствие своей собственной неуверенности в этом вопросе, часто испытывал сомнения, колебания и беспокойство; поэтому я решил по возможности добиться экспериментального разрешения этого вопроса в том или ином смысле. Это было тем более необходимо, что Вебер в своем очень теоретическом труде пришел по этому вопросу к положительному заключению; а я считаю чрезвычайно важным для прогресса науки, чтобы в этих слабо разработанных областях знания, лежащих еще на самых его границах, наши заключения и дедукции не выходили далеко за пределы данных опыта и во всяком случае не разрабатывались в стороне от опыта (разве только в качестве гипотез); поэтому я, не колеблясь, представляю настоящие свои работы Королевскому обществу, хотя они и привели к отрицательному результату.

2642. Мне казалось, что многие из тех явлений, которые, как можно было думать, указывают на полярное состояние, были только следствием закона, согласно которому диамагнитные тела стремятся переходить из мест более сильного действия в места более слабого действия (2418); другие же явления, казалось, вызываються индукционными токами (26, 2338); дальнейшее рассмотрение этого вопроса как будто указывало на то, что различие между этими видами действия и действием подлинной полярности, магнитной или диамагнитной, может послужить основой для выбора метода исследования, а также для устройства прибора, с помощью которого можно было бы получить заключения и результаты, полезные для настоящего исследования. Ибо если эта полярность существует, то она должна быть в частицах и должна в течение некоторого времени быть постоянной; поэтому ее можно будет отличить от мгновенной полярности массы, вызываемой временными индуцированными токами; ее

можно будет также отличить от обыкновенной магнитной полярности по ее противоположному направлению.

2643. Прямое деревянное коромысло длиною в два фута было на одном конце посажено на ось и с помощью колеса и передачи могло приводиться в колебательное движение в гори-

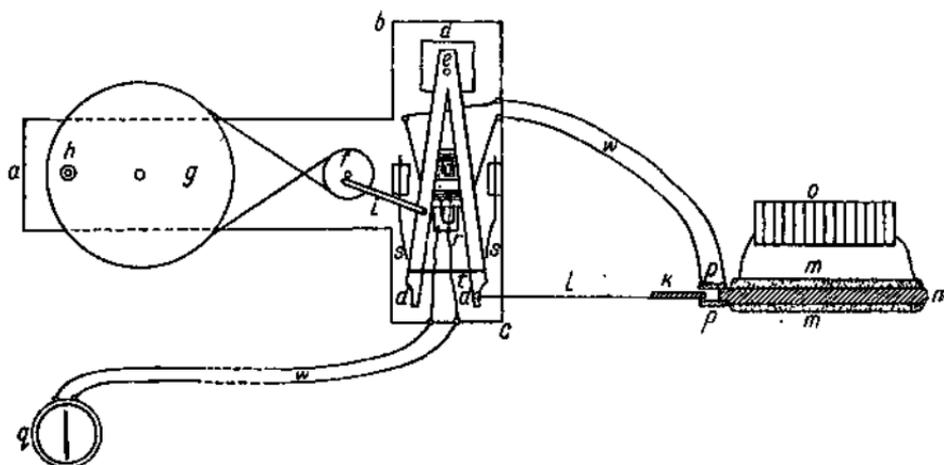


Рис. 186.

a, b, c — деревянная подставка; *d, d, d* — деревянное коромысло; *e* — его ось, *f* — колесо передачи; *g* — большое колесо с ручкой *h*; *t* — штанга, соединяющая передачу с коромыслом; *k* — цилиндр или сердечник из металла, над которым производится опыт; *t* — стержень, соединяющий его с рычагом; *m* — катушка электромагнита; *n* — железный сердечник; *o* — возбуждающая батарея; *p* — экспериментальная катушка; *q* — гальванометр, установленный на расстоянии 20 футов от электромагнита; *r* — коммутатор; *w, w* — соединительные провода; *s, s* — латунные или медные пружины; *t* — медный прут, соединяющий два колена коромысла для придания ему крепости. Чертеж дан в масштабе 1 : 20. Часть чертежа у электромагнита к экспериментальной катушке дана в разрезе. Более подробное описание установки содержится в параграфах 2643, 2644, 2645 и 2648.

зонтальной плоскости, так что свободный конец его проходил назад и вперед расстояние около двух дюймов (рис. 186). Цилиндры или сердечники из металла или других веществ, длиною в $5\frac{1}{2}$ дюйма, при диаметре в три четверти дюйма, прикреплялись последовательно к латунному стержню, который другим своим концом был надет на подвижный конец коромысла; таким образом эти цилиндры могли перемещаться взад и вперед по

направлению своей длины на протяжении 2 дюймов. Был также изготовлен большой цилиндрический электромагнит (2191), железный сердечник которого имел в длину 21 дюйм и в диаметре 1.7 дюйма; но один конец сердечника на протяжении 1 дюйма был сточен и в этой части имел лишь 1 дюйм в диаметре.

2644. На этот сточенный участок сердечника была надета полая катушка, устроенная из 516 футов тонкой обмотанной медной проволоки; катушка имела длину в три дюйма, внешний диаметр в 2 дюйма и внутренний диаметр в 1 дюйм; когда она стояла на месте, то 1 дюйм ее внутренней полости занимал сточенный конец сердечника электромагнита, на котором она сидела. Как магнит, так и катушка устанавливались концентрически с упомянутым выше металлическим цилиндром и на таком от него расстоянии, чтобы последний во время своего движения двигался внутри катушки по направлению ее оси, приближаясь к электромагниту и отступая от него то быстрее, то медленнее. Наименьшее и наибольшее расстояние между движущимся цилиндром и магнитом во время его хода составляли одну восьмую дюйма и 2.2 дюйма. Цель заключалась, конечно, в том, чтобы проследить влияние, которое могут оказать на экспериментальную катушку из тонкой проволоки металлические цилиндры в то время, когда они движутся по направлению к магниту или от него или же на различных от него расстояниях.¹

2645. Концы проволоки экспериментальной катушки были присоединены к очень чувствительному гальванометру, который был помещен на расстоянии 18 или 20 футов от машины, дабы он не мог испытывать прямого влияния магнита; между концами проволоки был установлен коммутатор. Этот коммутатор приводился в движение деревянным коромыслом (2643); электрические токи, которые должны доходить до него от экспериментальной катушки при полном цикле движения, т. е. при движе-

¹ Весьма вероятно, что если бы металлы были устроены в виде более коротких цилиндров, но с большим диаметром, чем описанные выше, и если бы при этом служившая для опытов катушка была пошире, то результаты были бы лучше тех, к каким пришел я.

нии туда и назад металлического цилиндра (2643), должны состоять из двух противоположных частей, и назначение коммутатора заключалось в том, чтобы в одних случаях принимать эти токи и посылать их в виде тока постоянного направления в гальванометр, а в других случаях — чтобы противопоставить их друг другу и таким образом нейтрализовать их действие; поэтому он был устроен таким образом, что его можно было переключить в любой момент времени и движения.

2646. Как известно, при такой установке, как вышеописанная, каковы бы ни были мощность магнита и чувствительность остальных частей прибора, гальванометр не будет испытывать никакого действия до тех пор, пока не изменится сила магнита, или его влияние на окружающие тела, или его расстояние от экспериментальной катушки, или его положение по отношению к последней. Но если ввести в катушку кусок железа или чего-либо другого, что может повлиять на магнит или испытать влияние с его стороны, то это может и даже должно оказать соответствующее влияние на катушку и на гальванометр. Мне кажется, что мой прибор почти не отличается, в принципиальном и практическом отношении, от прибора г-на Вебера (2640); только результаты, которые он дает мне, противоположны по знаку.

2647. Но для того чтобы получить правильные выводы, очень важно принять меры крайней предосторожности по отношению к некоторым моментам, которые на первых порах могут показаться неважными. Все части прибора должны обладать совершенной устойчивостью и должны быть собраны почти с той же тщательностью, какая необходима при сборке астрономического инструмента; ибо в силу конструкции прибора каждое движение каждой его отдельной части оказывается синхронным с движением коммутатора, а потому неощутимо малые доли действия будут складываться, и общий итог их обнаружится на гальванометре; таким образом, при отсутствии надлежащей осторожности можно ошибки принять за истинные и верные результаты. Поэтому в моей установке машина (2643 и т. д.).

магнит с катушкой и гальванометр стояли на разных столах; столы в свою очередь стояли на каменном полу, уложенном на грунт; стол, на котором стояла машина, был тщательно приперт к соседней каменной стене.

2648. Далее, самый прибор должен быть совершенно жестким, не должен шататься при своем движении, быть легким и свободным на ходу. Ни в одну из движущихся частей не должно входить железа. Для того чтобы принимать и превращать часть всего количества движения в конце движения туда и назад, я пользуюсь пружинами; важно, чтобы последние были сделаны из ковanej латуни или меди.

2649. Совершенно необходимо, чтобы цилиндр или сердечник при своем движении ни в малейшей степени не возмущал и не раскачивал экспериментальной катушки и магнита. Подобное раскачивание легко может происходить и все же (при отсутствии большого опыта) оставаться незамеченным. Сердечники из таких тел, как нисмут, фосфор, медь и т. п., важно иметь такие большие, как это только возможно, но я на основании опыта считаю небезопасным, чтобы промежуток между этими сердечниками и внутренностью экспериментальной катушки был меньше одной восьмой части дюйма. Для того чтобы дать возможность сердечнику как бы парить в воздухе, целесообразно его подвесить на стиге или витке тонкой медной проволоки, охватывающей его один раз, а концы ее поднять вверх и прикрепить к двум неподвижным точкам, находящимся на одинаковой высоте, но подалеже друг от друга, так что проволока имеет форму V. Такой подвес заставляет сердечник в любой момент двигаться параллельно самому себе.

2650. Для возбуждения магнита через него пропускают электрический ток от пяти пар пластин Грова; он оказывается при этом весьма сильным. Когда батарея к нему не присоединена, он все же остается слабым магнитом; когда им пользуются в таком виде, то можно говорить, что он находится в *остаточном состоянии*. В этом остаточном состоянии его силу можно считать для данного времени постоянной, и в каждый момент можно

соединять экспериментальную катушку с гальванометром, и при этом в последнем не появится никакого тока. Но когда мы пользуемся магнитом в возбужденном состоянии, то необходимо соблюдать некоторые важные меры предосторожности; ибо когда мы присоединяем магнит к батарее, а затем экспериментальную катушку к гальванометру, то в последнем появляется ток, который в некоторых случаях может длиться минуту или больше и который имеет такой вид, будто он получен прямо от батареи. Но в действительности он возникает не этим путем, а обязан своим происхождением *времени*, которое требуется железному сердечнику для достижения своего максимального магнитного состояния (2170, 2332): в течение всего этого времени он продолжает действовать на экспериментальную катушку и возбуждает в ней ток. Это время бывает различно в зависимости от ряда обстоятельств, а в одном и том же электромагните оно особенно варьирует в зависимости от того, сколько времени электромагнит не работал. Если замкнуть его в первый раз после двух или трех дней покоя, это время составляет восемьдесят или девяносто секунд и больше. Если батарею выключить и тотчас же вновь включить, то указанное явление повторяется, но длится лишь двадцать или тридцать секунд. При третьем выключении и возобновлении тока это время оказывается еще более коротким; а если магнит работает в течение некоторого времени короткими промежутками, то он как будто получает способность приобретать максимальную свою силу почти сразу. При каждом опыте следует выждать, пока гальванометр покажет, что это действие прекратилось; в противном случае последние следы этого действия можно ошибочно принять за результат полярности или какого-нибудь особого действия висмута или иного исследуемого тела.

2651. Мой гальванометр был изготовлен Румкорфом и был очень чувствителен. Действие стрелок было усилено, и они были сделаны настолько одинаковыми, что отдельное колебание направо или влево продолжалось от шестнадцати до двадцати секунд. Когда опыты проводились с такими телами, как висмут

или фосфор, положение стрелок наблюдалось с помощью лупы. В том, что имеется контакт во всех частях цепи, можно было в любой момент убедиться посредством слабой термоэлектрической пары, которая нагревалась пальцами. Это производилось также при всяком положении коммутатора, так как слоя окиси, образовавшейся на какой-либо части его в течение двух или трех дней покоя, было вполне достаточно для того, чтобы прервать слабый ток.

2652. Чтобы привести в прямую связь явления, представляемые магнитными и диамагнитными телами, я отмечал не столько токи, возбуждавшиеся в экспериментальной катушке, сколько то, что было видно на гальванометре. Это следует понимать в том смысле, что за стандартное направление отклонения я всегда брал то направление, какое происходило, когда железный провод двигался в экспериментальной катушке в том же направлении и при том же положении коммутатора и соединительных проводов, как и тот кусок висмута или иного тела, действия которых надлежало исследовать и сравнить.

2653. Тонкая стеклянная трубка указанного выше размера (2643), т. е. $5\frac{1}{2}$ на $\frac{3}{4}$ дюйма, была заполнена насыщенным раствором протосульфата железа и испытана в качестве экспериментального сердечника. При этом опыте, а также при всех остальных опытах с машиной, последней сообщалась в среднем такая скорость, при которой сердечник приближался к катушке и отходил от нее пять или шесть раз в секунду. Однако раствор не дал никакого заметного действия на гальванометр. Равным образом никакого действия не дал кусок магнитной стеклянной трубки (2354), а также сердечник из писчей бумаги, которая между полюсами электромагнита оказалась магнитной. Трубка, наполненная мелкими кристаллами протосульфата железа, вызвала отклонение стрелки гальванометра примерно на 2° ; такое же действие производили сердечники, устроенные из отдельных больших кристаллов или из симметрических групп

кристаллов сульфата железа. Красная окись железа (колькотар) оказывала самое малое действие. Железная окалина и металлическое железо (последнее в виде тонкой проволоки) производили сильное действие.

2654. Каждый раз, когда стрелка приходила в движение, направление последнего находилось в согласии с действием магнитного тела; но во многих опытах с заведомо магнитными телами движение оказалось незначительным или же его совсем не было. Это показывает, что подобная установка ни в коем случае не является столь хорошим средством проверки полярности, как простая или аstaticкая игла. Однако недостаточная чувствительность установки в этом отношении не мешает ее пригодности для исследования тех явлений, которые обнаруживаются в опытах Вебера, Рейха и других.

2655. После этого были испытаны другие металлы, помимо железа, и притом с полным успехом. В тех случаях, когда они были магнитными, как никель или кобальт, отклонение получалось в том же направлении, как и при железе. Когда металлы были диамагнитными, то отклонение происходило в противоположном направлении; для некоторых из этих металлов, как медь, серебро и золото, отклонение доходило до 60 и 70°; оно оставалось таким во все время, пока машина продолжала работать. Однако отклонение не оказалось максимальным для наиболее диамагнитных тел, как висмут, сурьма или фосфор; наоборот, до сих пор я лично не мог убедиться в том, что названные три тела вообще способны вызвать какое-нибудь действие. В общем это действие оказалось пропорциональным *электропроводности* вещества. Золото, серебро и медь вызывали большие отклонения, свинец и олово — меньшие. Платина давала очень малое отклонение, висмут и сурьма не давали никакого.

2656. Таким образом, имелись все основания полагать, что указанные действия производятся токами, которые индуцируются в массах движущихся металлов, а вовсе не полярностью их частиц. Поэтому я занялся проверкой этого предположения, для чего ставил сердечник и прибор в различные условия.

2657. Прежде всего, если эти действия вызываются индуцируемыми токами, то большая доля этих токов должна находиться в той части сердечника, которая расположена вблизи возбуждающего магнита, и лишь малая доля — в более отдаленных его участках; между тем в веществе, подобном железу, вследствие полярности, которую оно принимает в целом, более важным элементом является длина. Поэтому я укоротил медный сердечник от $5\frac{1}{2}$ дюймов (2643) до 2 дюймов и установил, что действие [заметно не уменьшилось; даже когда сердечник имел длину в 1 дюйм, действие оказалось лишь немного меньше прежнего. Наоборот, когда в качестве сердечника я воспользовался тонким железным проводом длиной в $5\frac{1}{2}$ футов, то действия, полученные с ним, были очень слабы. Когда длина его была уменьшена до 2 дюймов, действия значительно ослабились, и при дальнейшем уменьшении длины до 1 дюйма они вновь значительно упали. Нетрудно устроить особый медный сердечник с тонкой железной проволокой по его оси; когда его длина будет превышать некоторую величину, то вызываемые им действия будут свойственны железу, а когда длина его будет ниже этой величины, то действия, которые он будет давать, будут свойственны меди.

2658. Затем, если это действие вызывается токами, индуцируемыми в массе (2642), то подразделение массы должно прекратить эти токи и, таким образом, ослабить действие; если же оно вызывается подлинной диамагнитной полярностью, то подразделение массы не должно серьезно влиять на полярность, т. е. на существо ее природы (2430). Поэтому я продержал некоторое количество медных опилок несколько дней в разведенной серной кислоте с тем, чтобы устранить приставшее к ним, быть может, железо, затем хорошо промыл и высушил их, а после этого нагревал и встряхивал их в воздухе до тех пор, пока оранжевая окраска не показала, что на них образовался очень тонкий слой окисла. Наконец, я насыпал их в стеклянную трубку (2653) и испытал ее как сердечник. Теперь медь не давала никакого действия и оказалась столь же неактивной, как висмут.

2659. Однако медь можно подразделить таким образом, чтобы она по желанию препятствовала или не препятствовала возникновению предполагаемых токов. Я разрезал тонкую медную проволоку на куски длиной в $5\frac{1}{2}$ дюймов и сложил вместе такое количество этих кусков, что получался компактный цилиндр с диаметром в три четверти дюйма (2643). Последний не оказал никакого действия на гальванометр. Был изготовлен другой цилиндр, для чего было сложено большое количество *кружков* тонкой листовой меди диаметром в три четверти дюйма, и этот цилиндр оказал действие на гальванометр и отклонил его стрелку на 25 или 30° от нуля.

2660. Из обмотанной медной проволоки толщиной в одну шестнадцатую дюйма я устроил плотную цилиндрическую катушку диаметром в три четверти дюйма и длиной в 2 дюйма; я испытал ее в качестве сердечника. Когда два конца его проволоки не были соединены друг с другом, не получалось никакого действия на экспериментальную катушку и, стало быть, на гальванометр; но когда концы проволоки были спаяны друг с другом, получилось хорошее действие на стрелку. В первом случае токи, которые стремились образоваться в массе движущегося металла, не могли получить осуществление, так как металлическая цепь была разомкнута; во втором случае ток мог осуществиться, так как цепь не имела перерыва. Таким образом, оставшееся при этом подразделение не мешало возникновению токов.

2661. Такие же результаты были получены с другими металлами. Золотой цилиндрический сердечник, устроенный из полсовереновых монет, оказал на гальванометр очень сильное действие. Серебряный цилиндр, устроенный из шестипенсовых монет, действовал весьма сильно; но цилиндр, устроенный из осажденного серебра, спрессованного по мере возможности в стеклянной трубке, не дал никаких признаков действия. Такие же результаты были получены с дисковыми цилиндрами из олова и свинца; их действия оказались соразмерными свойствами олова и свинца как плохих проводников электричества (2655).

2662. Когда было подразделено железо, то действия оказались прямо противоположного свойства. В данном случае пришлось пользоваться гораздо более грубым гальванометром и прибором; но когда это было сделано и испытаны были сплошной железный сердечник и другой сердечник такого же размера и веса, составленный из отрезков тонких железных проволок (2659), то оказалось, что разделение не привело ни в какой степени к ухудшению последнего. Превосходные экспериментальные исследования Дова¹ над индукционным электричеством показывают, что так это и должно быть.

2663. Таким образом, результат опытов с подразделением диамагнитных металлов безусловно подтверждают наше мнение, что вызываемые этими металлами явления обязаны своим происхождением индукционным токам, проходящим в их массах, а вовсе не полярности, которая по общим своим свойствам (хотя она и противоположна по направлению) соответствовала бы полярности железа.

2664. В-третьих (2656), можно экспериментально установить другое и весьма важное отличие в действиях диамагнитного металла, смотря по тому, чем они вызываются: подлинной полярностью или же только временными индуцированными токами; так как для рассмотрения этого вопроса различие диамагнитной и магнитной полярностей не существенно, то этот вопрос можно здесь лучше всего рассмотреть применительно к железу.

2665. Когда сердечник — все равно, какого рода — движется по направлению к основному магниту и отходит от последнего равномерным движением, то полный ход его, т. е. действие *вперед* и *назад*, может быть разбит на четыре части; *вперед*, затем *остановка*, *назад* и следующая за этим *остановка*. Когда это движение выполняет железный сердечник, то конец его, обращенный в сторону основного магнита, становится полюсом, и сила этого полюса возрастает до момента достижения ближайшего расстояния, а затем убывает до момента достижения

¹ Scientific Memoirs Тэйлора, V, стр. 129. Я не усматриваю на этом мемуаре его даты.

наибольшего расстояния. Это действие и его *пропекание* при движении туда и назад вызывают образование в окружающей катушке индуцированных токов, причем эти токи проходят в одном направлении, когда сердечник движется вперед, и в противоположном направлении, когда он отступает назад. Однако фактически железо движется не с постоянной скоростью. В самом деле, движение сообщается сердечнику вращающимся в машине кривошипом (2643); при ходе *вперед* скорость постепенно нарастает от состояния покоя до максимальной величины, которая приходится на половину пути, а затем она снова постепенно падает вплоть до покоя вблизи магнита; при ходе *назад* скорость претерпевает те же изменения. Но так как максимальное действие на окружающую экспериментальную катушку зависит как от скорости, так и от интенсивности магнитной силы в конце сердечника, то очевидно, что оно не придется на максимальную скорость, т. е. не на середину движения *туда* или *назад*; не придется оно и на *остановку*, ближайшую к основному магниту, где конец сердечника приобретает наибольшую магнитную силу, а где-то между этими двумя положениями. Тем не менее во время *всего* продвижения вперед сердечник будет возбуждать в экспериментальной катушке ток одного направления, а во время *всего* отступления назад он будет возбуждать ток в противоположном направлении.

2666. Если диамагнитные тела под влиянием основного магнита также принимают полярное состояние, а различие между ними и железом заключается лишь в том, что одноименные полюсы или силы у них обмениваются своими местами (2429, 2430), тогда и в них будут иметь место действия того же рода, как описанные выше для железа; единственное различие будет заключаться в том, что у них оба производимых ими тока будут проходить в направлении, противоположном тому, в каком они производятся железом.

2667. Представим себе, что нам нужно наладить коммутатор таким образом, чтобы он забирал эти токи и в том и в другом случае и направлял их в гальванометр в виде единого согласного

тока; ясно, что если он будет изменять свое положение в моменты *остановок* (2665), то он превосходно выполнит свою задачу. Если, с другой стороны, коммутатор будет изменять положение в моменты максимальной скорости или максимальной интенсивности, или же в два других момента, равноотстоящие от одной или от другой *остановки*, тогда части противоположных токов, заключающиеся между изменениями (положения коммутатора), будут в точности нейтрализовать друг друга, и в результате этого в гальванометр совсем не поступит тока.

2668. Но согласно данным опыта действие железа сводится к следующему. Если железную проволоку при различных положениях коммутатора просто вводить в экспериментальную катушку или выводить из последней, то получаются как раз те результаты, какие были указаны выше. Когда машина работает с сердечником из железной проволоки, а положение коммутатора изменяется в моменты *остановок* (2665), тогда ток, который снимается и направляется в гальванометр, оказывается наибольшим; когда положение коммутатора изменяется в моменты максимальной скорости или в какие-нибудь другие два момента, равноотстоящие от одной *остановки* или от другой, тогда ток в коммутаторе оказывается минимумом или 0.

2639. Для того чтобы произвести эти явления в чистом виде, необходимо соблюдать две-три предосторожности. Во-первых, железо должно быть мягким и не должно до начала опыта находиться в магнитном состоянии. Во-вторых, следует остерегаться еще одного действия. Если к началу опыта железный сердечник находится далеко от основного магнита, то можно видеть, что при пуске машины стрелка гальванометра в течение нескольких мгновений отклоняется в одном направлении, а затем, несмотря на продолжающееся действие машины, идет обратно и постепенно устанавливается на 0° . Если к началу опыта железный стержень находится на кратчайшем своем расстоянии от основного магнита, то стрелка гальванометра движется в направлении, противоположном прежнему, но в конце концов снова устанавливается на 0° . Эти явления вызываются следующим обстоя-

тельством. Если железо стоит далеко от основного магнита, то магнитное состояние, в котором оно находится, не столь сильно, как то *среднее* состояние, которое приобретается им во время опыта; когда же оно находится на более близком расстоянии от основного магнита, то его магнитное состояние сильнее указанного выше среднего состояния. При усилении или при ослаблении магнитного состояния до этого среднего железо возбуждает два тока противоположного направления, которые и обнаруживаются в вышеописанных опытах. Существовая только в течение первых мгновений, эти токи действуют на гальванометр, а затем исчезают; этим они вызывают колебание, которое постепенно прекращается.

2670. Следует указать еще на одну меру предосторожности. Если точка, в которой положение коммутатора меняется, лежит не точно в положенном месте хода, то при каждом изменении получается небольшое действие, и это может вызвать постоянное отклонение в том или другом направлении. Язычки моего коммутатора стояли перпендикулярно к направлению движения и были в некоторой мере гибки; во время хода *вперед* и *назад* они немного увлекались движением; тем самым они приближались, хотя и в малой степени, к тому положению, при котором коммутатор лучше всего собирает (а не нейтрализует) токи. В результате этого получалось отклонение вправо или влево (2677). Когда причина этого явления была обнаружена и язычки были сделаны более жесткими, дабы устранить их нагибание, указанное явление исчезло, и железо стало совершенно неактивным.

2671. Таковы, стало быть, те результаты, которые были получены с железным сердечником, и такие же явления были бы получены с медным или висмутовым сердечником, если бы действие этих веществ было основано на их динамагнитной полярности. Рассмотрим теперь, какие последствия должны получиться, если медный или висмутовый сердечник будет действовать посредством токов, которые временно индуцируются в его движущейся массе и обладают предположенной

ранее природой (2642). Если бы медный цилиндр двигался с равномерной скоростью (2665), то в нем существовали бы во все время его движения токи, параллельные его боковой поверхности; они достигали бы наибольшей своей силы как раз до или как раз после остановки внутри, при вдвигании цилиндра, так как в это время медь находилась бы в наиболее интенсивных частях магнитного поля. Ток, нарастающий в медном сердечнике при движении последнего внутрь экспериментальной катушки, вызвал бы в последней ток некоторого направления; остановка меди и связанное с этим падение ее тока вызвало бы в экспериментальной катушке ток, противоположный первому. В первый момент движения сердечника наружу в нем возник бы максимальный ток, обратный первому, и он индуцировал бы в экспериментальной катушке такой же ток, какой производился в ней перед этим; а затем, когда сердечник стал бы отходить назад, ток в нем пошел бы на убыль; во время ослабления тока, а также в момент полной остановки сердечника, в экспериментальной катушке возник бы четвертый ток, который имел бы такое же направление, как и первый ток.

2672. Четыре тока, возбуждаемые в экспериментальной катушке, чередуются попарно, т. е. токи, возбуждаемые убыванием первого тока в сердечнике и нарастанием второго тока, имеющего противоположное направление, направлены одинаково. Они имеют место непосредственно перед и после остановки возле магнита, т. е. от момента максимума тока (в сердечнике) перед остановкой и до момента его максимума после остановки; и если эта остановка происходит мгновенно, то и токи существуют только в это мгновение, и в течение этого короткого времени они должны собираться коммутатором. Токи, возбуждаемые в экспериментальной катушке во время падения второго тока в сердечнике и во время нарастания третьего тока (тождественного с первым) при возвращении сердечника к магниту, имеют также одинаковое направление; они делятся от начала отхода до конца движения вперед (т. е. от максимума до

максимума) токов в сердечнике, т. е. почти в течение всего движения сердечника. Эти токи коммутатор должен при изменении своего положения в моменты максимума забирать и направлять в гальванометр.

2673. Но движение сердечника неравномерно по скорости: оно внезапно меняет свое направление и, как сказано выше (2665), оно происходит с максимальной скоростью посередине движения сердечника к основному магниту и посередине его движения от последнего; а отсюда получается очень важное преимущество. В самом деле, сердечник начинает останавливаться, можно сказать, тотчас же после того, как скорость достигает своего максимума, и если бы здесь магнитные силовые линии по своему положению и интенсивности были одинаковы с силовыми линиями в местах, более близких к магниту, то противоположные токи в экспериментальной катушке возникли бы в этих точках движения. Но так как сердечник вступает в более интенсивную часть поля, то в катушке ток продолжает нарастать, несмотря на уменьшение скорости движения сердечника, и в результате этого ток достигает своего максимума не в месте наибольшей скорости и не в месте наибольшей силы, а в некоторой промежуточной точке. Это верно как для периода приближения сердечника к магниту, так и для периода его отхода от него, и оба максимума токов имеют место в точках, равноотстоящих от места остановки сердечника близки основного магнита.

2674. Значит, именно в этих двух точках должно изменяться положение коммутатора, если мы налаживаем его так, чтобы он оказывал наибольшее действие на гальванометр теми токами, которые возбуждаются в экспериментальной катушке под влиянием токов, индуцируемых в сердечнике, или в связи с последними. Пусть длина всего хода от внешней остановки до внутренней составляет 2 дюйма (2643, 2644); разделим ее на 100 частей; если тогда допустить, что основной магнит расположен справа, тогда численное выражение вроде 50|50 представит то место, где коммутатор изменит свое положение; в данном примере это

будет на середине движения туда и назад, т. е. это будут места наибольшей скорости.

2675. Пробуя различные положения коммутатора, я нашел, что с медным сердечником наилучший результат получается от 77|23 до 88|12. В общем после целого ряда опытов я прихожу к выводу, что при данных силе электромагнита, расстоянии экспериментального сердечника в момент, когда он находится ближе всего к магниту, длине всего хода и средней скорости машины, число 86|14 определяет те точки, где индуктируемые в сердечнике токи достигают максимума и где должно происходить изменение положения коммутатора.

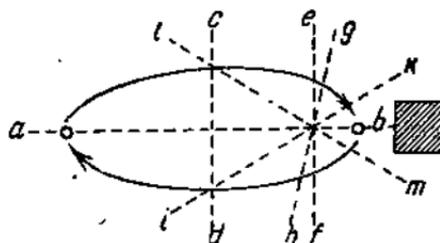


Рис. 187

2676. Из того, что было сказано выше (2667), ясно,

что как по теории, так и по показаниям опыта, это — такие точки, в которых действие полярности, все равно, какой: магнитной или диамагнитной, должно в точности равняться нулю. Таким образом получается возможность подвергнуть в этой машине опыту металлы и другие тела и различить друг от друга действия магнитной полярности, диамагнитной полярности и индуктивного действия; ибо их можно отделить друг от друга либо с помощью коммутатора, либо с помощью направления полярности, а затем их можно различным образом комбинировать, чтобы разобраться в их совместном или отдельном действии.

2677. В самом деле, пусть на рис. 187 стрелки представляют ход туда и назад, а пересечения линии ab с линией cd и т. д. изображают моменты, когда коммутатор меняет свое положение (в этом случае c, d будет соответствовать числу 50|50, а e, f — числу 86|14); тогда точки a, b представят положение коммутатора, при котором для железа и всякого другого полярного тела получается максимум действия. Если линию ab

постепенно поворачивать до тех пор, пока она станет параллельной cd , то в каждом своем положении она будет давать точки изменения положения коммутатора, которые будут отмечать действие железа на гальванометр; и отклонение стрелки будет всегда в одном и том же направлении. Для железа направление отклонения изменится лишь тогда, когда концы a и b наверху или внизу перешли через точки c и d . Но линия ab дает те положения коммутатора, при которых индукция $ток\ e$ в массе сердечника не оказывает никакого действия на гальванометр. Если эту линию наклонить в одном направлении, напр. ik , то в этом случае токи вызовут отклонение на гальванометре в одну сторону, а если ее наклонить в другом направлении, напр. lm , то отклонение произойдет в другую сторону. Таким образом, действия этих индукционных токов могут либо соединяться с действиями полярности, магнитной или диамагнитной, или же быть им противоположны.

2678. Все упомянутые выше металлы (2655), а именно золото, серебро, медь, олово, свинец, платина, сурьма и висмут были подвергнуты действию электромагнита при наиболее благоприятном положении (2675) коммутатора. Действия оказались более сильными, чем раньше, поскольку теперь они достигали своего максимума, но — того же порядка. Что касается сурьмы и висмута, то действия были очень слабы, достигая не больше половины градуса, и весьма вероятно, что они вызывались неустранимым еще неправильным действием какой-либо части прибора. Все опыты с подразделенными сердечниками (2658 и т. д.) были повторены; результаты получились те же, что и раньше. Фосфор, сера и гуттаперча как при настоящем, так и при прежнем положении коммутатора, не дали никаких признаков действия на гальванометр.

2679. Приведу пример того, каким образом указанное положение коммутатора приводило к разделению действия меди и железа. Я изготовил медный цилиндрический сердечник длиной в 2 дюйма с железной проволокой по его оси; будучи

испытан в приборе, он дал чистый эффект меди с ее индукционными токами. Однако, когда этот сердечник, как целое, испытывался с помощью обыкновенной стрелки, он оказался сильно магнитным; и если два расстояния от точек изменения коммутатора до одной и другой остановки были неодинаковы (2670, 2677), то сильно проявлялось действие железа, которое одерживало верх над первым действием и вызывало очень сильные отклонения стрелки в противоположную сторону. Платиновый сердечник, которым я воспользовался, представляет собою неправильный цилиндр длиной в 2 дюйма и толщиной в 0.62 дюйма. Он устанавливается между полюсами подковообразного электромагнита (2381) как магнитное тело и выполняет одно колебание за время, меньшее секунды; но при указанном выше положении коммутатора (2675) он даст в результате действия индукционных токов отклонение в 4° , а его магнитное действие при этом уничтожается или исключается.

2680. Для подтверждения приведенных выше заключений (2677) были воспроизведены некоторые более сложные явления, вызываемые наклонным положением точек коммутатора. Коммутатор был установлен таким образом, чтобы обнаружить совместно полярную силу, которой висмут может обладать, как диамагнитное тело, и его проводимость, которая делает возможным образование токов путем индукции в его массе (2676); но действия оказались при этом столь незначительными и ненадежными, что это обязывает меня заявить, что экспериментально здесь не выявилось ни полярного, ни индукционного действия.

2681. Существует еще одно различие, которое можно с пользой установить между действиями подлинной длительной полярности, магнитной или диамагнитной, и действиями проходящих индукционных токов, зависящих от времени. Если мы примем сопротивление цепи, в которую входят экспериментальная катушка и катушка гальванометра за ноль, то магнитный полюс постоянной силы, продвигаясь на опреде-

ленное расстояние внутри катушки, возбудит в ней одинаковое количество текущего электричества — независимо от того, как полюс будет двигаться к своему месту: быстро или медленно. Если произвести опыты с железным сердечником (2668), получится тот же результат, но при одном условии, чтобы при движениях сердечника туда и назад оставлять его достаточно долго в конечных точках его пути, чтобы он приходил в одинаковое состояние как при быстром, так и при медленном изменении. Я установил, что дело обстоит именно так, когда опыт производится без коммутатора и без основного магнита. Однократное внесение слабого магнитного полюса давало одинаковое отклонение, как бы он ни вводился: быстро или медленно; а когда я вводил в действие основной магнит с остаточным магнетизмом, сердечник из железной проволоки и коммутатор в положении *a*, *b* (2677), то четыре хода туда и обратно вызывали на гальванометре *одинаковые* действия, когда скорости относились друг к другу, как 1 : 5 или даже как 1 : 10.

2682. Когда вместо железа производят опыт с сердечником из меди, серебра или золота, то действие оказывается весьма отличным от предыдущего. Что касается сердечника, то нет никакого основания сомневаться в том, что при его движении вперед или назад в нем приводится в движение в форме индукционных круговых токов одно и то же количество электричества, независимо от того, как совершается это движение: быстро или медленно; приведенный выше опыт (2681) фактически подтверждает это заключение. Но действие, оказываемое на экспериментальную катушку, пропорционально не всей сумме этих токов, а максимальным интенсивностям, которых они достигают. Когда сердечник движется медленно, то эта интенсивность мала; когда же он движется быстро, то она велика, и это по необходимости так, ибо одно и то же количество электричества должно пройти в течение двух различных периодов времени, которые требуются для прохождения этих путей. Поэтому действие, которое должен вызвать в экспериментальной катушке сердечник, движущийся быстро, го-

раздо больше, чем действие сердечника, движущегося медленно; и я нашел, что дело обстоит именно таким образом.

2683. В приборе был установлен короткий медный сердечник; машина работала со средней своей скоростью и сделала сорок ходов туда и назад; стрелка гальванометра отклонилась на 39° на запад. Затем я заставил машину работать с большей скоростью также в течение сорока ходов, и стрелка отклонилась на 80° или больше на запад. Наконец, при медленном вращении и при том же количестве ходов стрелка отклонилась лишь на 21° на запад. Предельные скорости в этом опыте относились друг к другу, по всей вероятности, как 1 : 6. При наиболее продолжительном вращении время было значительно меньше, чем время одного качания стрелки (2651), так что при наиболее медленном вращении собиралась, думается, вся сила. На стрелку очень мало влияет колебание или количество движения ее частей, вследствие тормозящего действия расположенной под ней медной пластинки; если отвлечься от ее возвращающа к нулю, она движется очень мало после того, как прекращается движение прибора. Серебряный сердечник дал те же результаты.

2684. Эти действия индукционных токов родственны явлениям вторичного отвлечения, которые я описал раньше (2310, 2315, 2338), поскольку они вызываются той же причиной и следуют тем же принципам действия; таким образом, эти два ряда явлений взаимно друг друга подтверждают и поясняют. Что явления вторичного отвлечения вызываются индукционными токами, было показано раньше (2327, 2329, 2336, 2339). Вся разница заключается лишь в том, что при вторичных отвлечениях индукционные токи вызывались усилением магнита, находившегося на неизменном расстоянии от подвергавшегося действию металла; в явлениях же, рассматриваемых здесь, сила магнита не изменяется, но изменяется его расстояние от куска металла.

2685. Таким образом, те же обстоятельства, которые влияют здесь на явления, влияют и на явления вторичного отвлечения.

Металлическая пластинка как целое определенно испытывает на себе вторичное отвлечение, но если ее подразделить на части поперек пути индукционных токов, то действие, которое она испытывает, будет равно нулю (2529). Если в кольцеобразной катушке из медной проволоки не соединять друг с другом концы последней, она не обнаруживает этих явлений, а если их соединить, она их покажет (2660).

2686. В общем явления вторичного отвлечения представляют собою гораздо лучший способ испытания и обнаружения этих токов, чем рассматриваемые сейчас явления, в особенности, если воспользоваться подразделением массы на пластинки; тогда они окажутся по своему действию похожими на цилиндрические сердечники, устроенные из кружков (2659, 2661), и даже более сильными, чем последние. Если нарезать или сложить листовую платину, палладий или свинец в квадратные кусочки со стороной в полдюйма, а затем правильно сложить их, они обнаруживают явления вторичного отвлечения очень хорошо, при этом отвлечения зависят только от направления листов, а не от их внешней формы. У золота, серебра, олова и меди явления вторичного отвлечения указанным путем значительно усиливались. Сурьма, как я это уже показал, обнаруживает это явление хорошо (2514, 2519). И ее, и висмут можно легко заставить обнаруживать наличие индукционных токов, которые возникают в них; для этого их следует брать в виде тонких пластинок; опыты можно производить с отдельными пластинками или складывать их по нескольку, но при этом во избежание влияния диамагнитной силы необходимо все же следить за тем, чтобы замыкать и размыкать контакт между гальванической батареей и электромагнитом в должный момент.

2687. Медь, когда ее подразделили указанным выше образом на пластинки, усилила свои явления вторичного отвлечения в столь высокой степени, какой я раньше у нее не наблюдал. Кусок медной фольги был отожжен настолько, что он потускнел, после чего он был сложен в виде небольшой квадратной стопки

со стороны в поддьюма и толщиной в четверть дюйма; она состояла из семидесяти двух слоев металла. Эта стопка была, как и раньше (2248), подвешена на шелковой нити; и при этом составляла угол в 30° или около того с экваториальной линией (2252); теперь был возбужден электромагнит. Стопка тотчас же пришла в движение и вращалась до тех пор, пока указанный угол не составил около 45 или 50° ; тогда она остановилась. При выключении электрического тока получился очень сильное вторичное отвлечение и стопка повернула обратно, перешла через экваториальную линию и продолжала двигаться, пока не образовала на другой стороне угол в 50 или 60° ; однако вместо того, чтобы, как раньше (2315), продолжать вращаться в том же направлении, она повернула обратно, снова перешла через экваториальную линию и почти дошла до аксиального положения; только здесь она остановилась неподвижно. Значит, она всей своей массой совершала колебательные движения в ту и другую сторону от экваториальной линии.

2688. Впрочем, последнее является простым следствием изложенных ранее принципов действия (2329, 2336). Вторичное отвлечение вызывается возникновением в подвешенной массе индукционных токов во время ослабления магнетизма в электромагните; и направление этого действия таково, что оно стремится привести ось этих индукционных токов в положение, параллельное оси силы в магнитном поле. Представим себе, что время ослабления магнитной силы, а стало быть, и связанных с нею токов, больше того времени, какое требуется для движения медной стопки до экваториальной линии; тогда дальнейшее движение ее по инерции встретит противодействие со стороны противоположной силы; и если эта сила будет достаточно велика, то стопка повернет обратно. Проводящая способность меди и ее подразделение на пластинки в особенно высокой степени благоприятствует распространению этих токов, и именно эта присущая им способность чрезвычайно укорачивает время колебания; вследствие этого раньше, чем сила электромагнита перестанет дальше убывать, может

совершиться два и даже три колебания. Уже выше я во многих случаях указывал на влияние *времени* как при нарастании силы, так и при ее убывании (2170, 2650); это влияние можно очень хорошо усмотреть и в настоящем случае.

2689. Возвращаясь к вопросу о предположенной полярности висмута, я могу и должен упомянуть об опыте, который произведен Рейхом и описан Вебером.¹ Этот опыт, если я правильно понял его описание, заключается в следующем. Сильный подковообразный магнит поставлен на стол в таком положении, что линия, соединяющая его полюсы, направлена перпендикулярно к магнитному меридиану. Эту линию следует представить себе продолженной в одну сторону; на этой линии поблизости от магнита следует поместить небольшую, сильно намагниченную стрелку, подвешенную на шелковой нити, а по другую сторону от последней — полюс прямого магнита в таком положении и настолько близко, чтобы в точности компенсировать действие подковообразного магнита; стрелке надо предоставить установиться таким образом, как если бы оба магнита отсутствовали. Если затем между полюсами подковообразного магнита поместить кусок висмута, то, как утверждают авторы, это оказывает влияние на магнитную стрелку, вызывая ее отклонение в некотором определенном направлении; предполагается, что это указывает на полярность висмута при данных условиях, поскольку при отсутствии магнитов он не оказывает подобного действия. Кусок железа, поставленный вместо висмута, производит отклонение стрелки в противоположном направлении.

2690. Я повторил этот опыт с величайшей осторожностью и тщательностью, но ни разу не получил с висмутом ни малейшего следа действия. Я получал действие с железом, но в этих

¹ Scientific Memoirs Тэйлора, V, стр. 480.

случаях действие оказалось гораздо меньше того, какое получилось бы, если бы железо поместить снаружи между подковообразным магнитом и стрелкой или возле одной стрелки при полном устранении магнитов. Пользуясь гранатом или каким-нибудь другим слабо магнитным веществом, я нахожу, что эту установку вообще нельзя сравнить по быстроте показаний или по чувствительности с обыкновенной или астатической стрелкой; поэтому я не понимаю, каким образом он может служить для выявления полярности висмута, если этого не удастся обнаружить с помощью магнитных стрелок. Может быть, я впал в ошибку. Но хотя я самым тщательным образом придерживался описания и принципов полярного действия, я не мог открыть, в чем бы я мог ошибиться.

2691. Существует еще один опыт, который описал мне Плюккер и который на первый взгляд как будто дает строгое доказательство полярности висмута. Если стерженек висмута (или фосфора) подвесить горизонтально между полюсами электромагнита, то он начнет двигаться в экваториальное положение с известной силой, переходя, как я говорил, из мест более сильного действия в места более слабого действия (2267). Если такого же размера железный стерженек закрепить в экваториальном положении несколько ниже той плоскости, в которой движется диамагнитная палочка, то последняя будет стремиться в экваториальное положение с гораздо большей силой, чем раньше; высказывается мнение, что причиной этого является то обстоятельство, что на той стороне, где железо имеет полярность N , диамагнитное тело имеет полярность S , а на другой стороне полярность железа S также совпадает с полярностью висмута N .

2692. Однако совершенно ясно, что благодаря присутствию железа направляющая интенсивность магнитных силовых линий значительно изменилась, и этого достаточно для того, чтобы в полной мере объяснить усиление действия. В самом деле, представим себе стержень висмута как раз в момент, когда он оставляет свое аксиальное положение и устремляется

к экваториальному положению. В момент начала движения концы стержня находятся в местах большей, чем раньше, магнитной силы, так как нельзя же сомневаться в том, что железный стержень привлекает в направлении от полюса до полюса электромагнита больше силы, чем ее было бы при отсутствии железа. С другой стороны, когда стержень достигает экваториального положения, то магнитная сила, под влиянием которой находятся его концы, гораздо меньше, чем та, которая действовала бы на них раньше в *тех же местах*, ибо железный стержень отвлекает на себя вниз много той силы, которая при отсутствии этого стержня распределяется в плоскости, где теперь находится висмут. Поэтому разность интенсивности силы, которую испытывает диамагнитное тело при повороте на 90° , гораздо больше при наличии железа, чем в его отсутствии. Это явление весьма походит на целый ряд других, о которых я сообщил при изложении магнекристаллического действия (2487—2497), и, как мне думается, не дает ничего нового для экспериментального доказательства существования диамагнитной полярности.

2693. Наконец, считаю своим долгом заявить, что я не могу найти экспериментального доказательства для подкрепления гипотезы о диамагнитной полярности (2640) ни в своих собственных опытах, ни в повторенных мною опытах Вебера, Рейха или других. Я не хочу этим сказать, что подобной полярности не существует, и считал бы возможным, что Вебер с помощью гораздо более чувствительных приборов, чем мои, открыл следы этой полярности, но в таком случае он должен был бы определенно встретиться с гораздо более интенсивными явлениями, происходящими с медью, золотом, серебром и с лучшими проводниками из числа диамагнитных тел. Если бы было установлено, что висмут дает некоторое действие, то надлежало бы проверить и установить последнее, а для этого производить установку в различные положения, разделять массу висмута обращением его в порошок, установить влияние промочи и т. д. И подобно тому, как магнитная поляр-

ность железа или никеля, взятых в очень малом количестве и при неблагоприятных условиях, гораздо легче выявляется по действию их на аstaticкую стрелку или по стремлению к определенной установке между полюсами сильного подковообразного магнита, чем с помощью установки, подобной моей или Вебера или Рейха, так и диамагнитную полярность, кажется мне, было бы гораздо легче узнать тем же путем; я думаю, что до сих пор не существует таких доказательств этой полярности, которые сравнялись бы своей силой и значением с теми доказательствами, которые были даны Бругманом (Brugmann) и мною.

2694. Таким образом, в настоящее время действия, образцом и типом которых являются действия железа, меди и висмута, остаются различными, и их соотношения известны нам лишь отчасти. Нельзя сомневаться в том, что в дальнейшем будет открыт более широкий и простой закон действия, чем все известное нам до сих пор, и этот закон охватит все эти действия целиком; и красота гипотезы Вебера послужила для меня главным побуждением к тому, чтобы попытаться его установить.

2695. Хотя в силу соображений, которые были изложены выше (2693), я питал мало надежды на получение каких-либо полезных результатов, я все-таки признал целесообразным подвергнуть действию данного прибора некоторые магнетокристаллические сердечники. Один сердечник представлял собою большую группу симметрически расположенных кристаллов висмута (2457), второй сердечник — большой кристалл красной кровяной соли, третий сердечник — кристалл известкового шпата, а четвертый и пятый — большие кристаллы протосульфата железа. Эти сердечники были изготовлены в форме цилиндров, причем в первом и четвертом сердечнике магнетокристаллические оси (2479) были направлены параллельно оси цилиндра, а во втором, третьем и пятом параллельно оси цилиндра было экваториальное направление силы (2594, 2595, 2546). Ни один из этих сердечников не оказал никакого дей-

ствия на гальванометр, за исключением четвертого и пятого, причем последние дали сходные результаты, которые были обусловлены их обычным магнитным свойством.

2696. Некоторые из выражений, которыми я пользовался, могут создать впечатление, будто я предполагаю, что, когда я делаю опыты с медными и другими сердечниками, то сначала в них основным магнитом индуцируются токи, а затем эти токи в свою очередь индуцируют токи, которые наблюдаются в экспериментальной катушке. Как действуют сердечники на экспериментальную катушку: непосредственно или же косвенно путем влияния на основной магнит, это — очень интересный вопрос; мне очень хотелось, чтобы мои выражения не предвосхищали до некоторой степени решения этого вопроса, но это оказалось нелегко. Мне представляется вероятным, что сердечники действуют на катушку косвенно и что непосредственное их действие направлено целиком на основной магнит; этот последний, независимо от того, из каких металлов состоят сердечники: из магнитных или диамагнитных, повышает их силу длительно или преходяще и на это время привлекает их силу на себя. Раньше, чем сердечник начинает двигаться, чтобы приблизиться к магниту, магнит и экспериментальная катушка находятся в тесной связи друг с другом, и последняя пребывает в интенсивном поле магнитной силы, принадлежащей полюсу первого. Если сердечник сделан из железа, то, приближаясь к магниту, он вызывает сильное схождение и концентрацию в себе самом магнитных силовых линий; а последние, сходясь и проходя через катушку и поперек ее витков, оказываются в состоянии вызвать в ней токи, которые мы и получали (2653, 2668). Когда железо удаляется от магнита, эти силовые линии расходятся и, вновь пересекая линию проволоки в катушке в направлении, противоположном прежнему, производят противоположный ток. При рассмотрении действия железного сердечника не представляется как будто необходимым допустить какое-либо непосредственное действие его на катушку и вообще какое-либо другое действие

помимо того, которое он оказывает на силовые линии магнита. Значит, его действие на катушку оказывается косвенным.

2697. Но когда в катушку входит медный сердечник, то, имея в виду полную тождественность рассуждения, его действие на нее, по всей вероятности, также является косвенным. Действительно, возбуждаемые в ней токи вызываются прямым влиянием магнита, и они должны в свою очередь оказать эквивалентное влияние на магнит. Они это и делают, и благодаря своему направлению и известному влиянию они заставляют силовые линии магнита расходиться. Когда сердечник уменьшает скорость своего движения или приходит в состояние покоя, то токи в нем прекращаются, и силовые линии тогда сходятся. Этого расхождения и схождения или прохождения в двух направлениях поперек проволоки экспериментальной катушки достаточно для того, чтобы возбудить те два тока, которые мы получили при продвижении сердечника к основному магниту (2671, 2673). Соответствующее действие в противоположном направлении производится при удалении сердечника.

2698. Исходя из предположения, что действия сердечника на катушку носят не указанный выше, а более прямой характер, я вкладывал во время опытов в промежуток между сердечником и катушкой различные вещества. В экспериментальную катушку был вставлен толстый медный цилиндр длиной в 2.2 дюйма с внешним диаметром 0.7 дюймов и с внутренним диаметром 0.1 дюйма и, стало быть, с толщиной стенок в 0.3 дюйма, а в приборе находился сердечник из железной проволоки (2668). Однако, как бы ни проводился этот опыт, характер и величина получавшегося при этом действия оказались такими же, как если бы медь отсутствовала и вместо нее там было стекло или воздух. Когда основной магнит был удален, а проволочный сердечник был намагничен, получился тот же результат.

2699. В экспериментальную катушку была оставлена другая медная оболочка, представлявшая собою цилиндр длиной

в 2.5 дюйма с внешним диаметром в 1 дюйм и толщиной в одну восьмую дюйма; сердечники для опытов были из серебра и из меди толщиной в пять восьмых дюйма; опыты производились, как и раньше, при наилучшем положении коммутатора (2675). С медью и без нее — так же, как со стеклом и без него, — явления оказались абсолютно тождественными (2698).

2700. Не может быть никакого сомнения в том, что когда медные оболочки находились на своих местах, то во время действия они были насквозь пронизаны токами и что при их отсутствии в замещавшем их воздухе или стекле никаких токов не существовало. Имеется также полное основание допустить, что предположенного выше (2697) расхождения и схождения магнитных силовых линий достаточно для того, чтобы объяснить появление в них также токов, если исходить из допущения косвенного действия сердечников. Если отказаться от этого допущения, тогда, мне кажется, вся совокупность присутствующих тел, т. е. магнит, катушка, сердечник, медная оболочка, или же замещающий ее воздух или стекло, — все это должно находиться в состоянии натяжения, при котором каждая часть их действует на каждую другую часть; это то состояние, которое в других местах я не раз старался представить себе как некоторое электротоническое состояние (1729).

2701. Продвижение меди заставляет магнитные силовые линии расходиться, или оно, так сказать, гонит их перед собой (2697). Нет сомнения в том, что при этом происходит реакция по отношению к продвигающейся меди, и в последней возникают токи такого направления, которое сообщает им способность при дальнейшем продвижении поддерживать расхождение. Однако кажется нелогичным утверждать, что расхождение силовых линий вызывается токами, возбуждаемыми силовыми линиями в меди. Мне скорее кажется, что силовые линии, так сказать, отклоняются или отгибаются наружу движущейся вперед медью (или, при другом виде опыта, замкнутым проводом, движущимся поперек силовых линий) и что реак-

ция силовых линий на силы в частицах меди заставляет их обратиться в ток, вследствие чего сопротивление преодолевается и устраняется, и силовая линия возвращается на свое место. Выраженно: *силовая линия* я не приписываю никакого другого смысла помимо того, какой я ему придавал раньше (2149).

Королевский институт.

14 декабря 1849 г.

ДВАДЦАТЬ ЧЕТВЕРТАЯ СЕРИЯ

Раздел 30. О возможной связи между тяготением и электричеством.

Поступило 1 августа. Доложено 28 ноября 1850 г.

РАЗДЕЛ 30

О возможной связи между тяготением и электричеством

2702. Долголетнее и неизменное убеждение в том, что все силы природы находятся во взаимной связи, имея общее происхождение или, скорее, представляя собою различные проявления единой основной силы (2146), побуждало меня часто думать о возможности установления путем опыта связи между тяготением и электричеством и о включении, таким образом, первого из них в группу, цепь которой, включающая в себе также магнетизм, химические силы и теплоту, соединяют общей связью столь много и столь различных проявлений силы. Произведенные мною с этой целью изыскания дали, правда, лишь отрицательные результаты, тем не менее я полагаю, что краткое изложение этого вопроса в том виде, как он представлялся мне лично, и результатов тех опытов, которые по началу были весьма обнадеживающими, а затем после тщательного исследования источников ошибок были сведены к истинному их значению, может быть полезным как с точки зрения общего изложения этой проблемы, так и для того, чтобы побудить других заняться ее рассмотрением.

¹ Philosophical Transactions, 1851, стр. 1. Чтение памяти Бэкера.

2703. Когда я искал начало, на котором можно было бы построить экспериментальное исследование по вопросу о тождестве указанных двух сил или о связи между ними, мне казалось, что, если подобная связь существует, то тяготение должно содержать в себе нечто такое, что соответствовало бы двойственной, или антитетической природе форм силы в электричестве и магнетизме. Мне казалось возможным, что подчинение этой силе или сближение тяготеющих тел, с одной стороны, и планомерное обращение силы или отдаление тел, с другой стороны, могут дать пункты соответствия; при этом покой (по сравнению с движением) представлял бы собою нейтральное состояние. Конечная неизменность тяготения, казалось мне, не нарушается подобным допущением, ибо действующие тела, находясь в состоянии покоя, находились бы всегда в одинаковом отношении друг к другу, и лишь во время движения друг к другу и друг от друга можно было бы ожидать каких-нибудь результатов, имеющих отношение к электричеству. Подобные результаты, если они вообще возможны, должны быть чрезвычайно малы. Но если они возможны, т. е. действительно имеют место, то никакие выражения не будут преувеличенными для значения той связи, которую они устанавливают.

2704. Мысль, на которой были основаны опыты, заключалась в том, что, когда два тела движутся по направлению друг к другу благодаря силе тяготения, то в этих телах или в окружающей материи могут возникнуть токи некоторого направления, а когда эти тела под действием внешней силы удаляются друг от друга против силы тяготения, то могут возникнуть токи противоположного направления. Далее, эти токи должны были бы быть связаны с линией сближения и удаления, а не с пространством вообще, так что в двух сближающихся телах токи должны были бы быть направлены противоположно друг другу по отношению к пространству вообще, но одинаково по отношению к направлению их движения вдоль соединяющей их линии. Нет необходимости вдаваться в изложение

дальнейших допущений, связанных с этими моментами или с действием вынужденных движений, совпадающих с направлением земного тяготения либо пересекающих это направление, а также ряда других вещей. Достаточно указать, что так как ожидаемое действие должно было быть крайне незначительным, то нельзя было надеяться на получение какого-нибудь результата иначе, чем при посредстве земного тяготения. Поэтому в качестве одного из двух тел была взята земля, а в качестве второго тела была взята служащая указателем масса нещества, с которой должен был производиться опыт.

2705. Прежде всего тело, которое должно было падать, окружалось катушкой, и затем исследовалось его действие при падении. Но тело может падать либо вместе с катушкой, либо сквозь катушку. Изолированная медная проволока длиною в 350 футов была свернута в виде полый цилиндрической катушки длиною в 4 дюйма, причем внутренний ее диаметр составлял 1 дюйм, а внешний — 2 дюйма. Катушка была прикреплена к шнуру, который был переброшен через легкий блок, так что ее можно было поднять на высоту в 36 футов и затем пустить падать с возрастающей скоростью на очень мягкую подушку, причем ее ось все время оставалась вертикальной. К обоим концам катушки были прикреплены две изолированные проволоки, которые были закручены друг около друга и присоединены к очень чувствительному гальванометру, помещенному на расстоянии приблизительно в 50 футов от линии падения и на уровне середины этой линии. Тщательность соединения и направление, в котором устанавливалась стрелка гальванометра, проверялись путем введения в цепь тока чувствительного термоэлектрического элемента. Такая катушка ни во время своего подъема, ни во время падения не может произвести отклонения гальванометра вследствие какого-нибудь тока, который был бы вызван магнетизмом земли. В самом деле, катушка во время падения остается параллельной самой себе, а потому, когда линии равной маг-

нитной силы, параллельные магнитному наклонению, пересекаются витками проволоки падающей катушки, они пересекаются с одинаковой скоростью на обеих сторонах катушки; следовательно, этим никакого действия магнитоэлектрической индукции не вызывается.

Ни при подъеме, ни при падении эта катушка не обнаружила ни следа влияния на гальванометр независимо от того, какова была связь с гальванометром: ее можно было поддерживать все время или прерывать как раз перед уменьшением или прекращением движения в том или ином направлении, или устраивать так, чтобы падение и подъем катушки были изохронны с периодами колебания стрелки гальванометра. Таким образом, хотя в самой катушке не обнаруживалось никакого действия тяжести, тем не менее этот способ пользоваться ею не содержал в себе, по-видимому, никакого источника ошибки.

2706. После этого в катушку был вставлен сплошной медный цилиндр с диаметром в три четверти дюйма и длиной в 7 дюймов; он был тщательно укреплен в ней, был обернут тканью так, что не мог двигаться, и эту сложную систему пускали падать, как раньше (2705). Она давала очень слабые, но удивительно регулярные указания на существование в гальванометре тока, и правдоподобность того, что эти указания связаны с тяготением, стала казаться еще больше, когда было установлено, что при подъеме катушки или сердечника появлялись подобные же указания на возникновение противоположных токов. Только по простовитию некоторого времени я отыскал истинную причину этих токов и установил, что они вызываются действием части соединительных проволок, идущих от катушки к гальванометру. Две эти проволоки были правильно скручены друг с другом, но в результате нескольких падений часть проволок поблизости от их середины развернулась и образовала что-то вроде петли, так что проволоки не были скручены туго, как веревки в кавате, а разошлись на протяжении 3 футов, как если бы веревки расплелись.

Во время падения эта петля более или менее раскрывалась, но всегда одинаковым образом. В результате из частей ее, образующих поперечное отверстие, более отдаленная от гальванометра проходила больший путь, чем соответствующая часть, ближайшая к гальванометру. Если бы обе части проходили одинаковые пути, то действие на них магнитных силовых линий земли было бы одинаково и на гальванометр не оказывалось бы никакого действия. Но при данных условиях токи стремились возникнуть в противоположных направлениях, но неодинаковой силы, и на деле получался ток, равный их разности. Подобный случай был описан в моих наиболее ранних исследованиях по земной магнитоэлектрической индукции (171). Ясно, что при подъеме катушки и проводов должны были возникать те же токи, но в противоположном направлении, и таким образом получалось описанное выше противоположное действие. Таким образом, при указанном опыте с медным сердечником в катушке никакого положительного или благоприятного показания в пользу первоначального допущения не получилось.

2707. Медь была избрана как тяжелое тело и как превосходный проводник электричества. Она была удалена, и на ее место был поставлен такого же размера цилиндр из висмута, как вещества чрезвычайно диамагнитного и как плохого проводника среди металлов. Были получены неопределенные указания; однако, когда было уделено более тщательное внимание одной подробности за другой, то все эти указания исчезли; после этого подъем и падение висмута не вызывали более никакого действия на гальванометр.

2708. Был также сделан опыт с цилиндром из железа, как магнитного металла, но когда он был установлен вполне надежно, чтобы предупредить всякое его смещение по катушке, то он оказался безразличным в такой же мере, как медь и висмут (2706, 2707).

2709. Были испытаны цилиндры из стекла и из шеллака, как непроводящих веществ, но — без всякого результата.

2710. При других опытах катушка стояла *неподвижно*, и через нее падали вниз различные вещества в форме цилиндров с диаметром в три четверти дюйма и длиною в 24 дюйма или они поднимались вверх с возрастающей скоростью; однако ни в одном случае не получилось никакого действия. Были испытаны стержни из меди, висмута, стекла, шеллака и серы. В некоторых случаях опыт производился таким образом, что эти стержни быстро вращались до и во время падения; были придуманы и осуществлены также многие другие условия и всегда — с отрицательными результатами, когда источники погрешностей были устранены или приняты во внимание.

2711. При дальнейшем продумывании первоначального допущения, т. е. о существовании связи между указанными силами, а также тех явлений, которых можно ожидать как следствия состояния напряжения в частицах тела и вокруг них, мы должны помнить, что эти частицы являются местопребыванием как сил тяготения, так и электрических сил; а потому представляется вероятным, что остановка движения вверх и вниз (2703, 2704) по линии тяготения будет вызывать явления, противоположные тем, которые вызываются возникновением движения, причем это будет иметь место, независимо от того, как происходит остановка движения: внезапно или же постепенно; думается также, что если движение вниз будет более быстро, чем то, которое может сообщить тяжесть, то оно даст и больший эффект, чем дает одна тяжесть; а соответствующее повышение скорости вверх тоже даст соразмерно повышенный эффект. Но в таком случае оказалась бы весьма полеаной машина, которая могла бы давать быстро чередуемое движение вверх и вниз, поскольку она создавала бы много мелких единиц индукционного действия в небольшом пространстве и в короткое время; ибо тогда, посредством надлежащего коммутатора, можно было бы сначала разделить, а затем соединить в непрерывный ток ускоренные и замедленные части каждой половины колебания, и этот ток можно было бы направить в гальванометр в то время, когда его стрелка

отклоняется в одном направлении, а затем во время отклонения стрелки в другом направлении этот ток перевернуть; и так можно было бы действовать то в одну, то в другую сторону, пока явление, если оно действительно вызывается предполагаемой причиной, не стало бы заметным.

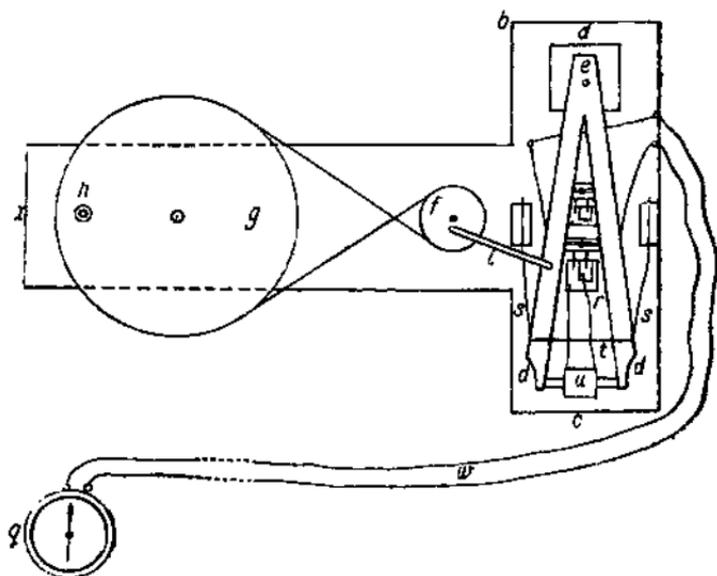


Рис. 188.

2712. Машина, которую я изготовил для этой цели, — это та же машина, которую я описал в последней серии настоящих Исследований (2643), но на нее были удалены электромагнит, экспериментальный сердечник и стержень, на котором последний был укреплен (рис. 188). Здесь *a, b, c* — деревянная подставка; *d, d, d* — деревянное коромысло, осью которого является *e*; *f* — колесо передачи и *g* — большое колесо с ручкой *h*; *i* — штанга, соединяющая передачу с коромыслом; *q* — гальванометр; *r* — коммутатор; *w* — соединительные провода; *s, s* — латунные или медные пружины; *t* — медный прут, соединяющий два колена коромысла для придания ему

крепости; и — полая катушка, которая по желанию стоит неподвижно или движется. Чертеж дан в масштабе 1 : 15. Машина стояла на подвижной подставке, а потому ее можно было установить в любом положении. Цилиндр из металла или из другого вещества, который должен был подвергнуться ее действию, имел длину в $5\frac{1}{2}$ дюймов и диаметр в три четверти дюйма и прочно укреплялся между концами d , d колен коромысла. Протяжение движения туда и назад составляло 3 дюйма. Из обмотанной медной проволоки длиной в 516 футов была устроена полая цилиндрическая катушка и длиной в $2\frac{1}{2}$ дюйма с таким внутренним диаметром, чтобы цилиндры могли в ней совершать свои быстрые движения в ту и другую стороны без риска удариться об ее бока. Этот цилиндр можно было установить неподвижно или же накрепко соединить с испытуемым цилиндром, чтобы он двигался вместе с последним. Провода от этой катушки шли к коммутатору, а от него — к гальванометру. Импульс этой машины частью воспринимался пружинами s , s (2648) и обращался в противоположное движение. Однако необращенного импульса оставалось еще очень много, а потому требовалось большое старание при установке и креплении всей системы, чтобы действие ее было очень устойчивым; в противном случае цилиндр и катушка легко приходили в расстройство, и зачастую возникали электрические токи.

2713. Делая с этой машиной опыты с цилиндрами из железа, меди и других веществ, можно было различными путями вызывать электротокки. Так, железо могло производить магнитоэлектрические токи благодаря своему полярному состоянию, возникавшему под влиянием земли. Эти токи легко обнаружить и отделить с помощью надлежащим образом подобранных магнитов, которые должны нейтрализовать или обратить в противоположную сторону проходящие через железо магнитные силовые линии. Подобного рода токи могли также индуцироваться под влиянием земли в медных цилиндрах и в хороших проводниках (2663, 2684); но так как линии силы тяжести

и линии земной магнитной силы наклонены друг к другу, то их можно было отделить, подбирая положение (машины), и казалось, что здесь не существует такого источника погрешностей, который при надлежащем внимании нельзя было бы исключить. Я не буду тратить времени на описание того, каким образом был усвоен этот долгий урок предосторожности, и прямо перейду к изложению основных результатов.

2714. В машине был установлен медный цилиндр (2712), и катушка вокруг него была укреплена неподвижно; при этом вся система была приведена в такое положение, чтобы цилиндр оставался все время вертикальным и двигался внутри катушки вверх и вниз параллельно линии тяжести. Однако, как бы быстро ни работала машина и каково бы ни было положение коммутатора, на гальванометре не получалось никакого результата. Были испытаны также цилиндры из висмута, стекла, серы, гуттаперчи и др., но с тем же отрицательным исходом.

2715. После этого катушка была снята со своей неподвижной опоры и скреплена с медным цилиндром так, что она могла двигаться вместе с последним; тогда стали получаться регулярные и относительно сильные действия. Однако, спустя короткое время было установлено, что они вызываются иными причинами, а не тяжестью; эти причины были таковы. Катушка была прикреплена к одному концу коромысла в точке, находившейся на расстоянии 22 дюймов от его оси, и так как она имела в диаметре 2 дюйма, то ее провода находились на одной стороне лишь на расстоянии 21 дюйма от оси, а на другой стороне — на расстоянии 23 дюймов. Таким образом, во время колебаний скорости частей катушки и проходимые ими пространства относились друг к другу, как 21 : 23. Следовательно, когда их пути проходили *поперек* магнитных силовых линий земли, то в указанных различных частях катушки стремились возникать токи, пропорциональные по своей величине или силе указанным выше числам, и разности этих токов, собираемые все время коммутаторами, обнаруживались на гальванометре. Последнее стало очевидным, когда машина была установлена

таким образом, что плоскость колебаний оставалась вертикальной, но катушка оказалась прямо под центром движения, и, стало быть, центральная линия катушки из вертикальной стала горизонтальной. Теперь витки катушки пересекали магнитные силовые линии наиболее благоприятным образом, и в результате этого отпала нужда в коммутаторах, так как одного только движения катушки в каком-нибудь направлении было достаточно для того, чтобы обнаружить на гальванометре индуцированные магнитоэлектрические токи. Когда же, наоборот, плоскость движения была сделана горизонтальной, то ток совершенно не возбуждался ни при какой силе движения; ибо хотя катушка была так же горизонтальна, как и раньше, и не в большей степени, чем раньше, но части витков, которые пересекали магнитные силовые линии (представлявшие собою верхние и нижние их части), двигались теперь с совершенно одинаковой скоростью, и никакого разностного действия не получалось.

2716. Таким образом, указанный выше небольшой результат (2715) был связан, вероятно, с подобного рода действием, и это подтвердилось, когда машина была установлена в таком положении, что ось движущегося медного цилиндра и катушка были в среднем своем положении параллельны линии магнитного наклона; тогда не получалось никакого действия. Другие тела в том же положении оказались в той же мере неспособными произвести какое-либо действие.

2717. На этом пока заканчиваются мои пробы. Их результаты отрицательны. Они не колеблют моего глубокого убеждения в существовании связи между тяготением и электричеством, хотя и не дают никакого доказательства в пользу того, что подобная связь существует.

Королевский институт.

19 июля 1850 г.

ДВАДЦАТЬ ПЯТАЯ СЕРИЯ ¹

Раздел 31. О магнитном и диамагнитном состоянии тел. Глава I. Газообразные тела под влиянием магнитной силы не расширяются. Глава II. Разностное магнитное действие. Глава III. Магнитные свойства кислорода, азота и пустоты.

Поступило 15 августа. Доложено 28 ноября 1850 г.

РАЗДЕЛ 31

О магнитном и диамагнитном состоянии тел

ГЛАВА I

Газообразные тела под влиянием магнитной силы не расширяются

2718. Не может быть никакого сомнения в том, что когда магнитная сила, диамагнитная сила и магнеоптическая или магнекристаллическая сила будут вполне изучены, то будет установлено, что они сводятся к чему-то единому, т. е. что они существуют в виде единой формы силы и по своей природе являются тождественными. Отсюда тот большой интерес, какой представляет собою проявление каждого из этих видов действия; ибо как сильно они не отличаются друг от друга в некоторых специальных отношениях, едва ли можно было бы добиться успеха в деле разъяснения или понимания одной какой-либо из них без соответствующего прогресса в позна-

¹ Philosophical Transactions, 1851, стр. 7.

нии других. Побуждаемый этим сознанием, я, наравне с Шлюккером, Вебером, Рейхом и другими, работал над тем, чтобы выявить с возможной степенью точности способ действия диамагнитных, равно как магнекристаллических тел; мое недавнее исследование (2640 и след.) и попытка подтвердить представление о том, что в висмуте и в диамагнитных телах имеется особая полярность, представляющая собою нечто противоположное полярности в магните или в железных телах, были одним из результатов указанного выше убеждения и стремления.

2719. Однако, как мы видели, мне не удалось установить существования такой антиполярности; мне кажется, мною было доказано, что явления, которые, по предположению, обязаны ей, в действительности зависят от других обстоятельств и причин; и, продолжая свои поиски какого-либо точного объяснения природы диамагнитных тел, я возымел желание проверить другое представление, которое возникло в результате исследования магнитных и диамагнитных явлений в газообразных веществах. Это представление вместе с некоторыми из тех результатов, которые были получены на его основе при экспериментальной его проверке, я и намерен сделать предметом настоящего сообщения.

2720. Банкалари впервые показал, что пламя диамагнитно.¹ Это явление, как я доказал, вызывается главным образом накалившимся состоянием газовых частей пламени;² но сверх того оказалось, что газы могут обнаруживать диамагнитные явления при обычных температурах и что при наблюдении этих явлений мы убеждаемся в очень сильных различиях между отдельными газами;³ так, например, когда в качестве образца для сравнения был взят обыкновенный воздух, то азот и ряд других газов оказались по отношению к нему сильно диамаг-

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 401, 421.

² Там же, стр. 404, 408.

³ Там же, стр. 408.

нитными, а кислород вел себя как магнитное тело; в самом деле в магнитном поле первые отталкивались от мест максимальной силы, последний же к ним притягивался.

2721. Итак, вспомним общий закон, данный для действия магнитных и диамагнитных тел (2267, 2418), а именно, что первые из них стремятся перейти из более слабых мест магнитного поля в более сильные, а вторые — из более сильных мест в более слабые; применим этот закон к таким телам, как газы, т. е. тела одновременно весьма упругие и легко изменяющие свой объем при добавочном приложении к ним очей малых сил; тогда из этих свойств как будто следует, что если частицы диамагнитного газа стремятся двигаться из мест сильного действия в места слабого действия в результате прямого и непосредственного влияния на них магнитной силы, то такой газ в магнитном поле должен стремиться увеличить свой объем, т. е. расширяться. В самом деле в этом случае то количество силы, с которым частицы стремятся отойти от оси магнитного поля, прибавится к расширительной силе, посредством которой они раньше сопротивлялись давлению атмосферы; это давление будет поэтому отчасти преодолеваться новой силой, и в результате обязательно получится расширение. С другой стороны, если какой-либо газ магнитен (как например кислород), то в этом случае сила, приложенная к частицам при таком прямом и непосредственном действии на них магнитной силы, будет заставлять их двигаться *по направлению* к оси магнитного поля; таким образом она будет совпадать с давлением атмосферы, будет складываться с последней и должна стремиться к тому, чтобы сжать газ, уменьшить его объем.

2722. Если бы предположенные выше явления оправдались, то мы могли бы тогда прийти к пониманию того, что такое истинная целевая точка (2416, 2432, 2440)¹ — не только для газов, но и для всех тел, и были бы в состоянии сказать, каким телом

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 420.

является такой газ, как кислород: магнитным или диамагнитным; мы тогда могли бы распределить отдельные газы и другие вещества по соответствующим им местам. Правда, сначала я пытался выяснить, происходит ли какое-нибудь изменение объема воздуха в магнитном поле, и не нашел при этом никакого изменения; но сообщение Плюккера о том, что он получил такого рода явление,¹ а также достигнутое нами с того времени большое расширение наших знаний о диамагнитных отношениях газов и, в особенности, о большом различии, какое существует между ними, поощрило меня к тому, чтобы продолжить это исследование.

2723. Сначала я попытался выяснить, не существует ли какого-нибудь воздействия на тот слой воздуха (или другого газа), который непосредственно соприкасается с магнитным полюсом; это воздействие при последующем расширении или сжатии этого слоя могло бы сообщить ему способность оказывать воздействие на ход луча света и таким образом обнаружить происходящие в нем изменения. Перед пламенем яркой лампы в темном помещении был поставлен металлический экран, проткнутый булавкой; таким образом была устроена искусственная звезда или небольшой, четко ограниченный светящийся объект. На расстоянии сорока шести футов от последнего был помещен большой подковообразный магнит (2247), который мог возбуждаться двадцатью парами пластин Грова. Полюсы были расположены по линии луча от лампы, так что луч проходил 4 дюйма вплотную у поверхности первого полюса, затем 6 дюймов в воздухе, а после этого 4 дюйма вплотную у поверхности второго полюса. Луч перехватывался очень хорошим телескопом-рефрактором, принадлежащим сэру Джемсу Сауту (South); телескоп имел отверстие в 3 дюйма и фокусное расстояние в 46 дюймов. Телескоп был снабжен прекрасным микрометром, так что на нитях его можно было

¹ Annales de Chimie, 1850, XXIX, стр. 134.

наблюдать малейшее изменение места светящегося изображения. Ось телескопа проходила в точности над уровнем магнитных полюсов. Нельзя было заметить ни малейшего изменения ни в характере, ни в местоположении светящегося изображения как при замыкании, так и при размыкании контакта между гальванической батареей и магнитным проводом.

2724. Так как главная часть света, дошедшего до телескопа, состояла из лучей, которые проходили на некотором расстоянии над магнитными полюсами, то эти лучи отсекались посредством экрана, который стоял выше полюсов лишь на одну восьмую часть дюйма и пропускал только те лучи, которые находились в пределах указанного промежутка. Интенсивность света при этом, конечно, уменьшалась, и изображение вследствие отклонения искажалось; тем не менее его местоположение хорошо определялось микрометром. При возникновении и удалении магнитной силы не происходило ни малейшего изменения ни в этом местоположении, ни в какой-либо другой характерной особенности изображения.

2725. После этого я изменял форму концов магнитных полюсов, так что луч проходил то параллельно и в тесной близости к длинному прямоугольному краю, то параллельно и в промежутке между двумя прямоугольными краями, немного выше или немного ниже их, или же поверх линии, соединяющей два полушаровых полюса, поставленных вплотную друг к другу (изменял их и на много других ладов); но ни в одном случае магнитное действие не оказывало никакого влияния на ход луча.

2726. При другой постановке опыта телескоп был удален, и вместо него была поставлена простая карта с булавочным отверстием диаметром в $1/50$ или $1/100$ дюйма. Изображение светлой звезды можно было наблюдать через это отверстие в темном помещении, и при этом каждый луч, участвующий в его создании, проходил в промежутке $1/50$ дюйма от поверхности магнитного полюса; однако никакого действия магнитной силы нельзя было при этом заметить.

2727. При еще одном расположении полюсных концов, аналогичном тому, каким я воспользовался раньше, когда производил опыты по вопросу о магнитных отношениях газов,¹ я имел возможность окружить их, помимо воздуха, другими газообразными веществами и пропускать луч на протяжении 2 дюймов его пути через эти газы в то время, как они находились под влиянием магнита. Хотя стекло сосуда, в котором находился газ, искажало изображение объекта, т. е. световой точки, тем не менее было легко установить, что при возбуждении магнетизма не возникало никакого добавочного явления.

2728. Указанным образом были испытаны кислород, азот, водород и светильный газ. Однако, независимо от того, какой газ подвергался испытанию: один из указанных выше газов или же просто воздух, когда они находились в соприкосновении с действующим полюсом очень мощного магнита, не было заметно, чтобы они расширились или сжались в такой мере, чтобы произвели заметное изменение их преломляющей способности.

2729. Я сравнивал ожидаемый результат с действительным результатом, который вызывается изменением объема; для этого я взял железный стержень длиной в 7 дюймов и поместил его таким образом, чтобы луч от светящегося объекта на своем пути к глазу проходил с боку этого стержня на расстоянии не свыше $1/50$ дюйма, и затем постепенно повышал температуру стержня до тех пор, пока благодаря расширению воздуха, находившегося с ним в соприкосновении, ход светового луча заметно не изменился. Для достижения этой цели пришлось повысить температуру на много градусов. Когда воздух в этом месте находился при температуре 60° , а температура железа повысилась до 100° Фаренгейта, то действия еще не было заметно. Поэтому возникла мысль, что наблюдение над ожидаемым изменением объема воздуха можно было бы с помощью какой-либо установки, непосредственно измеряющей это изме-

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 414, 415.

нение, сделать гораздо более чувствительным, чем с помощью вышеописанных средств, связанных с преломляющей способностью; ибо достоверно, что при таком прямом методе изменение объема очень малого количества воздуха, нагретого от 60 до 100°, оказалось бы весьма заметным. С другой стороны, представлялось вполне возможным, что когда воздух или газ испытывает на себе влияние со стороны магнита, то это имеет место только в слое, непосредственно прилегающем к полюсу; думалось также, что может существовать большое различие величины изменения вдоль *края* телесного угла и вдоль *сторон* плоскостей, образующих этот угол. Отсюда вытекала необходимость исследовать эти участки с помощью светового луча. Ход луча более или менее отклонялся к сторонам или краям полюсов; сторонам или углам придавалась слегка выпуклая форма; таким образом предпринимались все меры к тому, чтобы производить опыт в таком виде, чтобы облегчить проявление всякого магнитного или диамагнитного действия — особого, местного, общего. Однако никакого результата получено не было.

2730. После того как указанные выше попытки не дали результата, я постарался определить и сравнить *объем* воздуха, подвергавшегося действию магнитной силы до и во время этого действия; казалось, что имеется большая надежда этим путем получить некоторые результаты, если только действие магнитной силы вызывает подобное изменение; в самом деле известно, что диамагнитное действие, которое испытывают на себе воздух и газы, весьма сильно уже на значительном расстоянии от поверхности магнита, а Плюккер заявлял, что он получал такое изменение объема (2722).

2731. Первый прибор, устроенный для этой цели, имел следующий вид. Были изготовлены две плашки из мягкого железа, каждая толщиной в 1 дюйм и площадью в 3 дюйма в квадрате, с плоско отшлифованными поверхностями; была изготовлена также медная пластинка толщиной в 1/60 дюйма

и площадью в 3 дюйма в квадрате, причем внутренняя часть пластинки до 0.3 дюйма от ее краев была вся вырезана. Эта пластинка, или рамка, была затем помещена между железными плашками, и все вместе было очень туго свинчено с помощью медных шурупов, так что образовалась воздушная камера толщиной в $1/60$ дюйма и площадью в 2.4 дюйма в квадрате; ее стенками были поверхности плашек, которым предстояло стать магнитными полюсами. Внутри этой камеры вели три отверстия с соответствующими трубками; каждая из последних

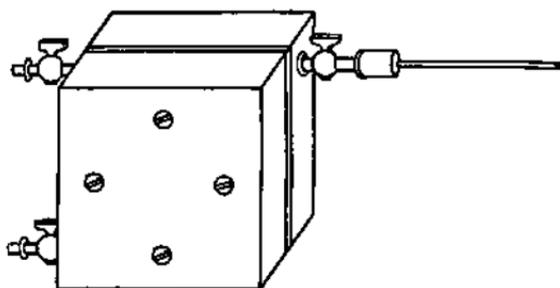


Рис. 189.

была снабжена небольшим краном. Посредством двух из них можно было пустить внутрь любой газ после надлежащей его просушки или же вытеснить его оттуда другим газом. В третью трубку был вставлен измерительный прибор (2732), предназначенный для того, чтобы отметить и измерить возможное изменение объема. Края центральной медной пластинки и головки утопленных шурупов были покрыты твердым белым лаком, и, таким образом, камера стала совершенно непроницаемой при всех тех условиях, каким предстояло ее подвергнуть (рис. 189).

2732. Измерительные приборы были устроены из небольших капиллярных трубок длиной от 1.5 до 3 дюймов (рис. 190), в средней части диаметр трубок был меньше половины их диаметра на концах. Одним концом трубки были укреплены в небольшой муфте, которая навинчивалась на упомянутую выше третью трубку с краном (2731).

Во внешний конец этого измерительного прибора впускалось с помощью деревянной или стеклянной палочки небольшое количество спирта, окрашенного кошенилью; спирт тотчас же перемещался в среднюю, наиболее узкую часть трубки и образовал, как это всегда должно быть, сплошной столбик жидкости. Запирая кран, можно было легко удержать этот маленький цилиндрок на месте, пока воздушная камера наполнялась газом и выравнивалось его давление с давлением атмосферы. Затем другие краны закрывали и открывался кран у измерительного прибора; тогда последний должен был легко обнаружить всякое изменение объема, какое могло бы воз-

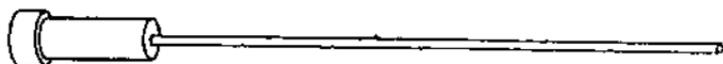


Рис. 100.

пикнуть при возбуждении магнитной силы. Но для того чтобы сообщить ему наивысшую степень чувствительности, надо было предварительно заставить жидкий цилиндрок переместиться вправо и влево от места его покоя — для того, чтобы трубка могла увлажниться по обе стороны от жидкого указателя; это легко достигалось наклоном камеры в ту и другую сторону: тогда тяжесть жидкости заставляла ее переместиться назад и вперед. Но последняя мера, а также ряд других необходимых мер предосторожности, касающихся положения, температуры и т. д., могут быть изучены лишь на опыте.

2733. Когда эта коробка находилась на своем месте, то она стояла между полюсами большого электромагнита, причем плоскость газовой камеры занимала экваториальное положение. После этого к сторонам коробки придвигали вплотную квадратные пластины мягкого железа, упиравшиеся в магнитные полюсы и удерживавшиеся ими, так что внутренние поверхности воздушной камеры фактически могли стать магнитными полюсами; таким образом последние были размером в 3 дюйма в квадрате и находились друг от друга на расстоя-

нии всего $1/60$ дюйма. Таким образом, какой бы воздух или газ ни находился внутри камеры, он должен был оказаться под влиянием очень сильного магнитного действия, и можно было бы измерить весьма малые изменения его объема. Но необходимо, пожалуй, отметить, что сила магнитного поля, в котором он бы при этом находился, имела во всех местах одинаковую интенсивность (2463, 2465).

2734. Внутри коробки был введен *воздух*, и когда все было надлежащим образом установлено, с помощью микроскопа производилось наблюдение положения жидкого указателя. После этого магнит приводился в сильное действие, и тогда обнаруживалось очень слабое движение жидкости, как если бы воздух немного расширился. После прекращения магнитной силы жидкость возвращалась к своему первоначальному месту. Это действие повторялось неоднократно. Величина указанного изменения была весьма незначительной, и имелось основание отнести его за счет давления, оказываемого магнитом при его действии на бока железной коробки; ибо когда затем коробка была взята в тиски и сжата в них, то произошло то же самое движение жидкости. И, далее, когда квадратные пластины мягкого железа (2733) отделили с помощью деревянных прокладок, дабы они совершенно не соприкасались с камерой и не давили на нее, указанное выше явление было сведено почти что к нулю.

2735. В железную коробку были затем последовательно введены кислород, азот, углекислота и закись азота; результат был совершенно тот же, что при воздухе. Не обнаружилось никакого различия между кислородом и другими газами, хотя они столь сильно отличаются друг от друга по своей магнитной и диамагнитной силе и свойствам. Были также подвергнуты испытанию водород и светильный газ; но когда в коробке находились эти газы, то имело место постепенное отступление жидкого указателя; оно вызывалось, как я это установил, поглощением указанных газов либо лаком, либо смазкой, либо пробкой у измерительного прибора или же

в местах соединения коробки. Этим выявлялась высокая чувствительность измерительного прибора. Но когда указанное действие было принято в расчет, то было установлено, что и у этих газов объем в такой же мере не поддается воздействию со стороны магнитного влияния, как и у прочих газов.

2736. Диаметр измерительного прибора в том месте, где находилась жидкость, был несколько меньше $1/100$ дюйма. Величину смещения, равную $1/100$ дюйма, легко было заметить. Если сопоставить эти числа с вместимостью газовой камеры, то станет ясно, что если бы газ в камере расширился или сжался на $1/100\,000$ часть своего объема, то этот результат можно было бы увидеть, а также, что всякое различие между кислородом и азотом и другими газами, если бы оно было приблизительно такой величины, было бы заметно. *Однако никаких подобных явлений или различий обнаружено не было.*

2737. Мне казалось, что установление наличия или, напротив, отсутствия изменения объема в газах, когда они находятся под магнитным влиянием, представляет большую важность, почти одинаковую в том и другом случае; это привело меня к мысли исследовать, не помешало ли получению искомого явления то обстоятельство, что магнитное поле, действию которого были подвергнуты газы, было всюду одинаковой силы (2733); ибо именно в таком поле диамагнитные явления с твердыми и жидкими телами протекают наиболее неблагоприятно и фактически почти полностью исчезают. Поэтому я устроил другой прибор, в котором указанное положение было устранено; и если частицы диамагнитного газа благодаря какому-нибудь неизвестному расположению действующих сил стремится лишь перейти из мест большей силы в места меньшей силы и, будучи неспособными расширяться в аксиальном направлении, обнаруживают это явление только в экваториальном направлении, то в новом приборе была создана возможность для осуществления такого расширения.

2738. У цилиндра из мягкого железа были удалены на токарном станке центральные части, так что он получил форму

песочных часов, т. е. форму, показанную на рис. 191, который дан в масштабе 1 : 3. Предполагалось, что если поместить такой цилиндр между полюсами магнита вместо прежней коробки, то сплошное протяжение массы железа предотвратит всякое сжатие в длину, вызываемое давлением полюсов (2734), и что в тех частях цилиндра, откуда железо удалено, диамагнитные явления будут происходить в большом масштабе. Последнее подтвердилось на деле, ибо пламя, дым, висмут и другие диамагнитные вещества, будучи помещены в указанном месте, очень легко принимали экваториальное направление.

2739. К описанному железному цилиндру была приспособлена медная трубка длиной в 2.5 дюйма, устроенная из металла толщиной в 0.1 дюйма; будучи поставлена на свое место, она должна была занять показанное на рис. 191 положение; с помощью небольшого количества мягкой замазки ее можно было легко сделать совершенно непроницаемой для газов. Указанным путем была создана вокруг железного цилиндра кольцеобразная воздушная камера, которая, как показало измерение, обладала вместимостью несколько больше 2 кубических дюймов и вмещала наиболее интенсивную часть магнитного поля. В этой медной оболочке были устроены три крана; с помощью двух из них газ впускался внутрь камеры и удалялся из нее, а третий, как и раньше, был предназначен для приспособления, измеряющего давление. Для пользования этим прибором его необходимо было закутать, так как иначе температура его постоянно менялась, вследствие чего жидкость в измерительном приборе не оставалась в покое и даже выбрасывалась. Но когда он был обернут тремя слоями фланели, то температура его стала вполне устойчивой; а когда ключи, которые служили для вращения кранов, были сделаны из дерева, то прибор стал безупречным.



Рис. 191.

2740. Прежде чем начать работать с этим прибором при различных газах, и для того, чтобы получить некоторое представление о том, чего можно ожидать при сравнении одного газа с другим, я произвел следующего рода предварительный опыт, основанный на относительных удельных весах воздуха и водорода. Легко устроить так, чтобы в воздухе, находящемся в бутылке, распространился след аммиака, если всунуть в нее кусочек бумаги, увлажненный крепким аммиачным раствором;¹ точно так же легко струю водорода, содержащую в себе минимальную долю газа соляной кислоты, направить через горизонтальную трубку в воздух, содержащий в себе аммиак. Когда это сделано, то путь легкого водорода в тяжелом воздухе становится весьма отчетливо видимым, и можно наблюдать, как по выходе из горизонтальной трубки водород, вследствие малого по сравнению с воздухом удельного веса, сразу устремляется вверх и быстро поднимается, вытягиваясь в виде нитей.

2741. Два полушаровых железных полюсных наконечника, присоединенных к большому магниту, были затем приведены в соприкосновение друг с другом, так что их можно было окружить воздухом или кислородом,² и в центре магнитного поля, в точности под аксиальной линией, была пущена струя водорода, уносящая 6 кубических дюймов в минуту. Когда магнитной силы не было, водород поднимался вертикально вверх, изламываясь у точек, где соприкасались полушаровые полюсы; но когда магнитная сила действовала, струя водорода разделялась на две части, двигавшиеся вправо и влево, и в виде двух струй поднималась вверх на некотором расстоянии от точки соприкосновения. Это разделение струи происходило на некотором расстоянии под аксиальной линией. В этой точке, несмотря на подъемную силу водорода в воздухе или в кислороде, он вынужден был двигаться горизонтально вследствие

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 415.

² Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 413, 414.

видимой отталкивательной силы магнетизма, и на дальнейшем своем пути он не приближался к аксиальной линии, а описывал концентрическую с ней или почти концентрическую кривую, так что составные струи газа принимали в точности форму камертона.

2742. Когда магнитное поле было заполнено воздухом, то разделение струи водорода происходило на 0.3 или 0.32 дюйма ниже аксиальной линии. Когда полюсы были окружены кислородом, то разделение происходило на 0.55 дюйма ниже аксиальной линии. Таким образом, на вышеуказанных расстояниях сила, стремившаяся заставить водород отклониться от аксиальной линии экваториально в направлении радиуса, была равна разности удельного веса водорода и, соответственно, воздуха или кислорода. На меньших расстояниях эта сила должна быть гораздо больше. И, действительно, когда при каком-нибудь опыте водород выпускался ближе к аксиальной линии, то он с большей силой отбрасывался вниз. Производя подсчет на основании этих данных и исходя из допущения, что диамагнитные газы отходят от аксиальной линии лишь в результате прямого действия магнита, заставляющего их переходить из мест более сильного действия в места более слабого действия, я нашел, как мне казалось, основание полагать, что более диамагнитные газы, заполнявшие пространство внутри медной камеры (2739), могли под влиянием магнитной силы расширяться по меньшей мере на $1/60\,000$ -ю часть своего объема. Но измерительные приборы, которыми я пользовался, давали показание, когда жидкость в них перемещалась на $1/100$ дюйма (2736), а это составляет лишь $1/2\,500\,000$ -ю часть емкости камеры; следовательно, расширение, подобное вышеуказанному, должно было бы заставить ее переместиться на 0.4 дюйма, т. е. на величину, более чем достаточную для того, чтобы сделать результат ощутимым, если основное допущение было правильно.

2743. Воздух был первым подвергнут действию силы большого подковообразного магнита, возбуждавшегося два-

дцатью парами пластин Грова, в вышеуказанном приборе (2739). Жидкость сдвинулась очень слабо наружу, как если бы при возникновении магнитной силы произошло небольшое расширение, и затем с прекращением силы вернулась на прежнее место. Позднее было установлено, что этот небольшой эффект был обязан своим происхождением сжатию, которое вызывалось стремлением магнитных полюсов ко взаимному сближению (2734).

2744. К и с л о р о д дал в точности те же явления, что и обыкновенный воздух, и ту же величину, так что в данном случае наблюдавшееся смещение вызывалось отнюдь не магнитным или диамагнитным действием, а только тем сжатием, какое наблюдалось в случае с воздухом (2743).

2745. А з о т дал в точности те же результаты, что и воздух и кислород. Но азот является, вероятно, более диамагнитным, чем водород, и, следовательно, он должен был бы составить поразительный контраст с кислородом, если бы вообще должны были получаться положительные результаты.

2746. У г л е к и с л о т а и з а к и с ь а з о т а дали те же отрицательные результаты, причем, как я полагаю, прибор в это время находился в безукоризненном состоянии.

2747. В Фармацевтическом обществе имеется превосходный электромагнит подковообразной формы, подобный по устройству нашему (2247), но гораздо более сильный, и этот электромагнит при посредстве м-ра Рэдвуда (Redwood) был любезно предоставлен в мое распоряжение для повторения вышеописанных опытов в помещении Общества. Железо, очень мягкое и хорошее по качеству, представляет собою квадратный стержень толщиной в 5 дюймов, а средняя линия имеет длину в 50 дюймов. На нем было навито 1500 футов медной проволоки толщиной в 0.175 дюйма, причем (во время моего пользования стержнем) эта проволока на всем своем протяжении была навиты в одном и том же направлении. Подвижные полюсные пакончосники массивны в соответствии с магнитом. Для возбуждения этого магнита служило восемьдесят пар пластин

Грова, и так как путем предварительных испытаний было установлено, что они проявляют наибольшую мощность, когда их сочетают в виде четырех групп по двадцать пар, соединенных одинаковыми концами, то они были при работе соединены именно таким образом; они образовали, значит, батарею в двадцать пар пластин, в которых каждая платиновая пластина в погруженной своей части была размером 4×9 дюймов и, следовательно, {противоставляла действующему цинку поверхность в 72 квадратных дюйма.

2748. При повторении прежних опытов (2743) снова обнаружилось явление давления, и стало ясно, что самый магнит, хотя и имел толщину в 5 дюймов, немного изгибался благодаря взаимному притяжению своих полюсов. Это действие весьма слабо, так как железный сердечник, проходящий через центр экспериментальной газовой камеры (2738), нигде не прерывался. Измерительным прибором было обнаружено только это явление, причем оно было одинаково при всех газах, и когда я принял его в расчет, то не осталось никаких смещений, которые могли свидетельствовать о каком-либо изменении объема самого газа.

2749. Воздух, кислород, азот, углекислота и закись азота были в различном порядке подвергнуты действию этого весьма мощного магнита, но ни в одном из них не было обнаружено ни малейшего следа изменения объема.

2750. По моему мнению, приведенных опытов во всех отношениях достаточно для того, чтобы прийти к заключению, что эти газы, если их рассматривать как магнитное или диамагнитное тело, или если они включают в себя тела из обоих этих классов (ибо кислород представляет собою поразительный контраст с остальными газами), не испытывают под влиянием магнитной силы изменения своего объема ни в полях равной силы (2737), ни в местах, где сила быстро уменьшается. Я считаю это заключение очень важным для уяснения истинной природы магнитной силы независимо от того существует ли

она в самых частицах тел или только действует на них; и поскольку в магнитном поле эта сила выявляется не в качестве центральной, а в качестве аксиальной силы, постольку является немаловажным и дальнейшее разделение этих явлений на явления, связанные с аксиальным направлением (2733), и явления, связанные с экваториальным направлением или включающие в себя последнее (2737); ибо они показывают, что частицы не стремятся отделиться друг от друга ни параллельно линиям магнитной силы, ни по направлению, перпендикулярному к этим линиям. При отсутствии опытов можно было бы считать весьма возможным, что имеет место один из этих видов расширения, а не другой.

2751. Без сомнения верно, что все же могли бы иметь место изменения в указанных направлениях, если только допустить, что изменение в одном направлении сводится к расширению, а в другом — к сжатию, и что эти два изменения по своей величине одинаковы. Частью в связи именно с возможностью подобных изменений (которые можно рассматривать как молекулярные) были произведены опыты с лучом света (2723, 2729); сверх того в этих опытах, а равно и в других, поставленных для этой цели, луч, служивший для испытаний, был взят поляризованный. Однако, когда опыты были многократно повторены и были приняты все меры предосторожности для исключения источников погрешности, результаты оказались неизменно отрицательными.

2752. Различия в степени диамагнитной восприимчивости и в том состоянии, которыми обладают и которые могут принять газы, изучавшиеся в вышеизложенных опытах, весьма велики, а поэтому склоняют к предположению, что если газы ни в одном случае не проявляют под действием магнита стремления к изменению объема, то и никакой другой газ или пар не проявит этого стремления, и что все вещества, принадлежащие к рассматриваемому обширному классу тел, будут в этом отношении одинаковы. В связи с этим заключением я позволю себе отметить, что как в прежних изысканиях, так

и в более недавних я пытался, пользуясь очень тонкими приборами и сильными электромагнитами, выяснить, не происходит ли какое-нибудь изменение в объеме таких жидкостей, как вода, спирт и раствор сульфата железа, но не мог заметить ни малейшего действия такого рода и не верю в его существование. Еще позднее, в отношении класса твердых тел, я подверг тому же испытанию железо в качестве магнитного металла и висмут в качестве диамагнитного тела. Эти металлы испытывались и в виде массивных цилиндров, и в виде опилок или мелких кусочков. Цилиндры вкладывались в стеклянные трубки, а мелкие частицы — в склянки. К ним прилаживались измерительные приборы вроде тех, какие описаны выше (2732), а та часть сосуда, которая не была занята металлом, была заполнена в одном ряду опытов воздухом, а в другом — спиртом. Однако ни в одном случае нельзя было заметить ни малейшего изменения в объеме железа или висмута, как бы ни была велика магнитная сила, действию которой их подвергали.

2753. Представлялся возможным еще один результат действия отталкивательной силы — даже в тех случаях, когда, согласно вышеизложенному предположению (2751), стремление к расширению в экваториальном направлении могло уравновешиваться одинаковым по величине стремлением к сжатию в аксиальном направлении, а именно, казалось возможным, что возникнут потоки, идущие наружу или в экваториальном направлении, т. е. по линиям, перпендикулярным к магнитной оси, в тех случаях, когда для опыта служили остроконечные полюсы или вышеописанный сердечник в форме песочных часов и другие потоки, движущиеся по направлению к указанной линии вдоль наклонных поверхностей полюсных накопечников; эти токи до известной степени похожи на те сильные потоки, которые легко прослеживаются, когда мы в воздухе наблюдаем пламя или горячий воздух или струю одного газа в другом.¹

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 402, 404, 409.

2754. Однако, когда газ, заполнявший все магнитное поле, был однороден по своей природе и одинаков по температуре, нельзя было заметить ни малейшего следа потоков, подобных вышеупомянутым. Нелёгко придумать безупречное средство для выявления подобных движений; если ввести в подобное магнитное поле для обнаружения в нем движения воздуха видимое тело, которое само по себе диамагнитно и притом образует отдельное небольшое облачко, то последнее движется как целое в сторону от магнита, как должно двигаться диамагнитное тело. А если все поле почти равномерно заполнить очень легкими частицами пыли или ликоподия, то и при сильном действии магнита не было заметно никаких признаков потоков в воздухе. Далее, если струйке рассеянного холодного дыма от искры небольшой свечи¹ дать возможность немного падать или подыматься по одну сторону от аксиальной линии, то она отгопялась наружу в экваториальном направлении. Но хотя она отходила наружу с наибольшей силой, когда находилась на равном расстоянии от обоих полюсов или от соответственных им частей в двойном железном сердечнике (2738), она продолжала отходить наружу и в экваториальном направлении и тогда, когда я пропускал ее поблизости от одной стороны, даже в том случае, когда в силу тесной близости к поверхности железа она сама по себе должна была бы пройти над ней. Это показывает, что дым стремился наружу в *любой части* магнитного поля, заполненного воздухом и газом, и что, таким образом, его движение вызывалось действием на него магнита, как на диамагнитное тело, а не потоками воздуха; если бы последние существовали, они двигались бы в одном месте или направлений внутрь, а в другом наружу.

2755. Когда я, следуя остроумному методу Плюккера, подвергал магнитные или диамагнитные жидкости действию магнитной силы, помещая их на слюдяной пластинке над полюсами, то они быстро принимали различные формы, соответствующ-

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 403.

щие их природе, но после этого в них не замечалось никакого дальнейшего движения или потока. Эти случаи без сомнения отличны от тех, когда все магнитное поле заполняется одной и той же средой; но все же и в таком виде они подкрепляют наше заключение, что никаких потоков здесь не возникает. Когда я эти же жидкости помещал между полюсами в стеклянных сосудах, в них нельзя было заметить никаких магнитных потоков, хотя в жидкости вводились тонкие частицы с тем, чтобы сделать видимыми подобного рода перемещения, если они имеют место.

2756. Таким образом, не существует никаких доказательств, ни действием луча света (2727, 2729), ни расширением или сжатием (2750), ни возникновением потоков (2754), в пользу того, чтобы магнит проявлял какую-либо прямую силу притяжения или отталкивания по отношению к частицам различных подвергшихся испытанию газов или чтобы их движения в магнитном поле — в том виде, как они известны — вызывались каким-либо подобным непосредственным притяжением или отталкиванием.

ГЛАВА II

Разностное магнитное действие

2757. В чем же заключается тогда причина диамагнитного перемещения? Очевидно, это действие является разностным результатом, связанным с *различием* двух количеств или масс вещества, заполняющих магнитное поле, как например, воздух и струи другого газа в нем,¹ или ртуть и трубка с воздухом в ней (2407), или вода и кусок висмута в ней (2301). И хотя оно проявляется лишь как действие масс, последние без сомнения, обязаны своими различиями качествам тех частиц, из которых они состояли. Однако следует отметить, что до сих пор никогда еще не увенчалась успехом ни одна попытка разделить вполне перемешанные частицы весьма отличных друг

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 409.

от друга веществ, хотя они производились с наиболее мощными магнитами. Кислород и азот чрезвычайно сильно отличаются друг от друга, однако и в очень сильных магнитных полях не было обнаружено ни малейшей степени их разделения.¹ При других опытах я налил в трубку жидкий раствор сульфата железа и поставил нижний конец этой трубки между полюсами сильного подковообразного магнита, где он и простоял несколько дней подряд в помещении с совершенно однородной температурой, и однако без малейшего проявления какого-либо ступения раствора в этом конце трубки, что могло бы указать на стремление частиц к разделению.

2758. Диамагнитные явления газов, если их рассматривать как разностный результат действия объемов этих тел, могут быть произведены и исследованы нижеследующим весьма успешным способом, для чего приходится пользоваться мыльными пузырями. К стеклянной трубке были прилажены колпак, кран и животный пузырь, так что через нее можно было пропустить любой по желанию газ, содержащийся в пузыре; сюда же относилась подставка или штатив, так что можно было ставить трубку в любое желательное положение. Конец трубки был отогнут под прямым углом, и край был правильно срезан, так что он имел величину и форму, показанные на рис. 192.

2759. На конце подобной трубки легко выдуть мыльный пузырь любой величины до одного дюйма в диаметре и с помощью крана удерживать его в течение необходимого времени. Мыльную воду должно готовить перед употреблением (и по заранее), для чего развести в небольшом количестве холодной дистиллированной воды одну или две стружки мыла, ибо тогда можно выдувать пузыри самого тонкого и правильного строения; они оказываются в этом случае более подвижными, чем если пользоваться более жирной пеной; при небольшом старении их можно выдуть достаточно устойчивыми, чтобы

¹ Там же, стр. 416.

произвести с ними любой полезный опыт. Конец трубки должен быть совершенно чист и свободен от посторонних веществ (которые зачастую действуют на пузырь разрушительно); его следует смочить снаружи и внутри мыльной водой и *оставить в ней в течение короткого времени перед употреблением.*

2760. Если на конце повернутой вниз трубки выдуть пузырь диаметром в полдюйма, то обычно он будет внизу иметь некоторое количество избыточной воды и будет свисать из тонкого края трубы; поддержка, оказываемая последней, будет столь слаба, что пузырь будет весьма свободно двигаться. Он будет поэтому колебаться туда и назад, как маятник, и в зависимости от того, сколько у него внизу воды — больше или меньше — он будет колебаться более или менее быстро, будет как целое испытывать тяжесть более или менее сильно и, следовательно, будет сохранять свое отвесное положение вниз с большей или меньшей устойчивостью — обстоятельства, которые оказываются весьма полезными, когда пузырем пользуются в качестве магнитного или диамагнитного индикатора.

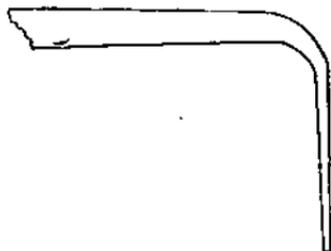


Рис. 192.

2761. Регулирование относительного количества воды, находящейся в пузыре или на последнем, можно в известных пределах легко осуществить. Если после того, как трубку окунули в мыльную воду, прикоснуться к ее концу кусочком дерева или стеклянной палочкой, которые точно также были предварительно опущены в мыльную воду, можно удалить большее или меньшее количество жидкости; а если наблюдать высоту, на которой жидкость устанавливается благодаря капиллярному действию внутри трубки и которая может варьировать между $\frac{1}{20}$ и $\frac{1}{2}$ дюйма, то после нескольких экспериментальных проб легко заметить, сколько ее требуется для того, чтобы изготовленный пузырь был нагружен известным количеством

воды, и сколь мало ее требуется для того, чтобы на пузыре совсем не было висящей внизу воды; после этого становится точно так же легко путем предварительного подбора количества воды выдуть пузыр с любыми свойствами по желанию. Даже в том случае, когда внизу пузыря не осталось водной капли, можно еще регулировать толщину стенок самого пузыря.

2762. По мере того как пузыри содержат в себе все меньше и меньше воды, они становятся все более чувствительными по своему действию. Они все медленнее колеблются и все легче приводятся в движение силами, приложенными к ним со стороны. Динамическое действие мыльной воды, из которой они сделаны, становится меньше, и потому динамическое действие содержащегося в них газа относительно возрастает. Когда пузыр очень тонок, то висячее положение его становится положением неустойчивого равновесия, так как тогда наклоненные трубки или же действие со стороны какой-либо силы, хотя бы незначительной, заставляя пузыр сместиться в сторону, подняться вверх и пристать к стенке трубки, как это показано на рис. 193.

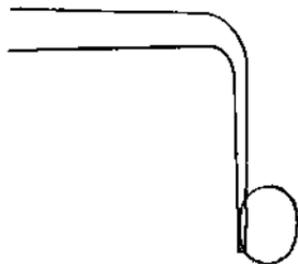


Рис. 193.

Висячее положение пузыря представляет собою в замкнутых объемах или атмосферах чрезвычайно чувствительный индикатор. Даже в том случае, когда пузыр находится сбоку на стенке трубки, он все же представляет собою весьма ценный прибор, так как он свободно движется вокруг трубки, как вокруг оси; а так как он обладает известной степенью устойчивости, то в магнитном поле его можно держать в любом положении, и тогда своим движением по направлению к аксиальной линии или же от нее он очень хорошо показывает магнитные или динамические свойства содержащегося в нем газа по отношению к окружающему воздуху.

2763. Если устье трубки повернуть вверх, то можно получить пузыри тончайшего строения; но в этом случае они неустойчивы по своему положению и смещаются на бок трубки. Ими можно воспользоваться в качестве индикатора, как это было указано выше (2762). Если устье трубки сделать более широким, то пузыри, поскольку они тонки, можно удерживать в стоячем положении над концом трубки; но так как они соприкасаются с трубкой на большем протяжении, то требуется больше силы для их смещения в сторону, и их показания становятся менее чувствительными. Целесообразно при работе с подобными пузырями делать их почти одинаковыми по размеру и толщине для одного и того же ряда сравнительных опытов. Я пользуюсь обычно пузырями с диаметром около поддюйма.

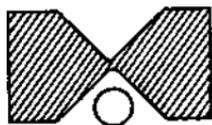


Рис. 194.

2764. Когда такой пузырь выдут с *воздухом* в висячем положении и помещен в углу двойного полюса на уровне аксиальной линии (рис. 194) и если затем возбуждена магнитная сила посредством двадцати пар пластин, то пузырь отклоняется наружу от аксиальной линии (т. е. в экваториальном направлении) с некоторой силой; он возвращается к первоначальному своему положению при прерывании электрического тока. Отклонение это невелико, и так как оно обязано своим происхождением воде пузыря, то оно дает показание о величине этого действия, которым и надлежало пользоваться в качестве поправки при опытах с другими газами.

2765. Азот а в воздухе. В обыкновенном воздухе пузырь с азотом отклонялся наружу, т. е. в экваториальном направлении, с силой, которая намного превосходила стремление наружу пузыря с воздухом (2764). Происходило это весьма поразительным и показательным образом. Зачастую пузырь отгонялся с конца трубки в ее сторону, а когда он находился возле трубки у внутренней ее стороны, то он отгонялся на внешнюю сторону; и если даже вращать трубку, он продол-

жает занимать это положение все время, пока поддерживается магнитная сила. Это явление представляется еще более поразительным, если принять во внимание, что четыре пятых части самого воздуха составляет газообразный азот.

2766. К и с л о р о д в в о з д у х е. Действие оказалось весьма внушительным: пузырь увлекался внутрь, т. е. по направлению к аксиальной линии, резко и внезапно, совсем так, как если бы кислород был в высокой степени магнитным. Этого результата следовало ожидать, так как он находился в согласии с явлениями, которые кислород и азот производили при прежнем исследовании диамагнитных явлений газов.¹

2767. З а к и с ь а з о т а и м а с л о р о д н ы й г а з в в о з д у х е. Пузыри отходили наружу, т. е. диамагнитно, с силой, которая была гораздо больше той, которая вызывалась действием воды пузыря; этим указывалось отношение рассматриваемых газов к воздуху; наблюдения находились в согласии с теми результатами, которые были получены раньше со струями этих веществ.²

2768. Не имеется никаких затруднений для того, чтобы данным методом наблюдений воспользоваться при опытах с газами, когда они находятся в атмосфере не воздуха, а других газов; последние не должны только разрушать пузырь. Но я не буду тратить времени на подробное изложение результатов таких опытов, которые оказались в совершенном согласии с полученными ранее результатами.³ Приведенного выше описания вполне достаточно для пояснения указанного выше положения, а именно, что движение газов в магнитном поле, когда один газ находится в другом, представляет собою разностный результат; отсюда можно почерпнуть достаточное количество примеров для последующих ссылок.

2769. Тот же вывод, что рассматриваемое действие является разностным результатом масс вещества, находящихся в маг-

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 410, 415.

² Там же, стр. 411.

³ Там же, стр. 414, 415.

нитном поле, явствует и из рассмотрения случаев газообразных, жидких и твердых тел, приведенного в более ранней части настоящих Исследований (2405—2414), и такого же рода вывод по отношению к магнитным телам можно сделать на основании тех опытов, которые были тогда описаны (2361—2368).

ГЛАВА III

Магнитные свойства кислорода, азота и пустоты

2770. Если разработать метод более тщательно, изучение разностного действия двух порций газов или вообще любых двух тел может дать гораздо более интересные и важные результаты, чем это было только что описано. Этого рода действия можно даже положить в основу устройства приборов, с помощью которых можно, вероятно, получить в высшей степени важные показания и измерения как магнитных, так и диамагнитных действий, а это приведет нас к таким результатам, которые мы до сих пор себе даже не представляли.

2771. Если две массы вещества, газообразного или жидкого, скрепить друг с другом и поместить в симметричном магнитном поле по обе стороны от магнитной оси, то они испытывают действие одновременно. Если оба эти тела будут диамагнитными или же менее магнитными, чем среда, заполняющая магнитное поле, то они будут оба стремиться уйти наружу, т. е. в экваториальном направлении, в одинаковой мере, если они одинаковы, но в неодинаковой, если они различны. В результате этого получится, что если их поместить, прежде всего, на равном расстоянии от магнитной оси, то возникновение магнитной силы не изменит их положения, если только они одинаковы. Если же они отличны друг от друга, то их положение изменится, ибо более диамагнитное вещество будет двигаться наружу в экваториальном направлении, увлекая менее диамагнитное тело внутрь, до тех пор пока оба они окажутся в таком положении, что действующие на них силы друг друга уравновесят, и тела займут положение устойчивого равновесия. Но расстоя-

ние, на которое тела переместятся, может быть использовано косвенно, или, еще лучше, сила, которая потребуется для возвращения их в прежнее положение равного расстояния, может быть использована непосредственно для того, чтобы определить величину присущего каждому из этих тел стремления отойти от магнитной оси, т. е. чтобы дать их относительные диамагнитные интенсивности.

2772. Для того чтобы получить возможность исследовать газы подобным методом, я выбрал кусок очень тонкой и правильной трубки из флинтгласа с внешним диаметром около $\frac{3}{16}$ дюйма и не более чем $\frac{1}{80}$ дюйма толщиной; затем я рас-

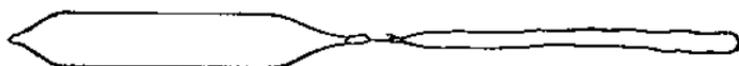


Рис. 195.

тянул с помощью паяльной лампы две равные доли этой трубки, так что они получили форму, показанную на рис. 195, где цилиндрическая часть имеет длину в $1\frac{1}{2}$ дюйма, наполнил одну из этих частей кислородным газом, а другую азотным газом, а затем герметически их замазал. Концом удлиненной части каждой из них, пока он был еще теплым, я дотронулся до сургуча и посредством последнего прикрепил к нему нить, которая была завязана петлей, как это показано в $\frac{4}{5}$ натуральной величины. С помощью этой нити трубки предполагалось подвешивать вертикально на крутильных весах, так что середина каждой из этих трубок, когда последние висели на своих местах, должна была находиться на одном уровне с магнитной осью.

2773. Крутильные веса состояли из связки в шестьдесят ровно натянутых коконовых шелковых нитей; наверху она была прикреплена к вертикальной оси, на которой имелись горизонтальный указатель и разделенная на градусы пластинка, а внизу — к горизонтальному коромыслу. К одному концу

этого коромысла был прикреплен поперечный стержень длиною около $1\frac{1}{2}$ дюйма, точно также расположенный горизонтально, а на концах этого стержня и на расстоянии $8\frac{1}{2}$ дюймов от центра движения были подвешены две трубки с кислородом и азотом (2772); они уравнивались грузом, помещенным на другом плече горизонтального коромысла. Все это было установлено и приложено к электромагниту, снабженному на это время двойным конусообразным сердечником или якорем (2764), таким образом, что средняя часть обеих трубок находилась на одном уровне с серединой якоря, на равном расстоянии по две стороны от него. Когда при таком расположении весам сообщалось какое-нибудь движение, так что их коромысло колебалось, то колебания совершались весьма медленно благодаря весу асей движущейся установки и благодаря незначительной величине силы кручения коконовых шелковинок.

2774. В тот момент, когда вводилась в действие магнитная сила, все резко изменялось. Трубка с кислородом тотчас же увлекалась внутрь по направлению к оси, а трубка с азотом на другой стороне отгонялась наружу. Весы переходили за свое новое положение покоя и затем возвращались обратно со значительной силой, совершая несколько колебаний за тот промежуток времени, в течение которого они раньше выполняли лишь одно колебание; а когда они приходили в свое место покоя или устойчивого равновесия, то трубка с кислородом оказалась на расстоянии около одной восьмой части дюйма от железа сердечника, а трубка с азотом — на расстоянии четырех восьмых от него. Десять оборотов оси кручения лишь в незначительной степени изменили эти относительные расстояния.

2775. Действия, определяющие относительное расположение кислорода и азота, поскольку речь идет об их месте по отношению к магнитной оси, весьма просты и очевидны. Прежде всего, *стекло* трубок является более диамагнитным, чем окружающая воздушная среда (2424), и потому каждая из трубок стремится двигаться наружу; но так как они одина-

ковы по своей природе и устройству, то, находясь на одинаковых расстояниях, они стремятся двигаться с одинаковой силой и на этих расстояниях друг друга уравнивают. Когда одна из них увлекается внутрь, то она подвергается большему действию силы, так как вступает в более интенсивную часть магнитного поля; другая трубка, которая в то же время выводится наружу, оказывается по соответственным причинам в таком месте, где интенсивность действия меньше. Поэтому, как только принуждение устраняется, система возвращается в свое положение устойчивого равновесия, при котором оба эти тела оказываются на равном расстоянии от магнитной оси.

2776. *Содержимое* трубок точно также подвергается действию магнитных сил и, как это показывает результат (2774), в весьма различной степени. Либо кислород стремится внутрь гораздо сильнее, чем азот, либо азот стремится наружу с большей силой, чем кислород. Различие это должно быть весьма значительным; ибо оно таково, что уносит стекло трубки с кислородом в положение, весьма близкое к оси, в котором оно само, или если бы оно содержало только воздух, не могло бы остановиться и на мгновение без содействия значительного принуждения. Если учесть силу, с какой сами трубки стремятся сохранить свое равноотстоящее положение, и расстояние, на которое они смещаются из этого положения, то они укажут нам, как велика та сила, которую это совместное действие кислорода и азота развивает в одном и том же направлении, а именно от кислорода внутрь, т. е. в направлении к оси; хотя действие является сложным, его результат оказывается простым. Благодаря прежним опытам известно, что в воздухе азот стремится стать в экваториальном направлении, а кислород — в аксиальном,¹ и, значит, трубка с азотом движется в экваториальном направлении под действием некоторой разностной силы, зависящей от флинтгласа и азота, с одной стороны, и от

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 409.

объема вытесняемого ими воздуха, с другой стороны. Подобным же образом трубка с кислородом стремится переместиться аксиально благодаря разностной силе, величина которой зависит от стремления кислорода двигаться в аксиальном направлении, от стремления его трубки двигаться в экваториальном направлении и от совместного их отношения к воздуху, который они вытесняют. Но трубки и их содержимое одинаково связаны с воздухом и механически связаны друг с другом; вследствие этого, если посредством какой-нибудь силы (например, кручения) возвращать их к их равноотстоящему положению по отношению к магнитной оси, то можно совершенно оставить без рассмотрения вещества трубок и воздуха, как окружающей среды. Содержащиеся в трубках газы можно рассматривать как находящиеся в непосредственной взаимной связи и в связи с магнитной осью и как свободные от всех прочих влияний, и сила, которая окажется необходимой, чтобы установить их *на равном расстоянии от магнитной оси*, является мерой их магнитных или диамагнитных различий.

2777. Я изложил, таким образом, общие принципы действия; в рассмотрение их применения для устройства измерительного прибора или полученных с его помощью результатов я буду здесь входить только в той мере, как это необходимо для общего понимания магнитных и диамагнитных тел и для определения истинной нулевой точки (2721, 2722).

2778. Описанные только что принципы дали мне возможность вернуться к одному методу исследования, который раньше возбуждал у меня большие надежды (2433), но затем сразу показался отпавшим вследствие малой чувствительности. Различные тела, если рассматривать их как магнитные или диамагнитные вещества, допускают два вида трактовки, которые обещают быть чрезвычайно поучительными с точки зрения свойств этих тел и предопределенных им целей в явлениях природы. Газ можно *нагреть* или *охладить* и можно выявить действие температуры, которая, как известно, оказывает в данном случае очень большое влияние, без какого-либо изменения

объема газа; или же газ можно *разредить* или *сгустить* в очень широких пределах и выявить действие подобного рода изменения, независимо от температуры или от присутствия какого-либо другого вещества. Твердые и жидкие тела не допускают этих методов исследования, вследствие чего они непригодны для определения нулевой точки и правильного различения магнитных и диамагнитных тел тем путем, какой допускают газы.

2779. Мне представлялось, что если газообразное тело является магнитным, то его магнитные свойства должны ослабляться в соответствии с тем, насколько оно разрежено, т. е. равные объемы такого газа при различных давлениях должны быть тем более магнитными, чем более они сгущены. С другой стороны, если какой-нибудь газ оказывается диамагнитным, то разрежение должно ослаблять его диамагнитные свойства, пока при достижении вакуума последние не исчезнут. Другими словами, если две противопоставляемые друг другу порции одного и того же магнитного газа, из которых одна является более сгущенной, чем другая, одновременно подвергнуть действию магнитной силы, то *более сгущенная* должна приближаться к аксиальной линии, т. е. она должна стремиться в место более интенсивного действия; если, наоборот, магнитному действию подвергнуть две таким же образом противопоставленные друг другу порции диамагнитного газа, то в место более сильного действия должен был бы устремиться более расширенный или более *разреженный* газ.

2780. Было изготовлено несколько ампул с кислородом (рис. 196), схожих по форме с теми, которые были описаны выше (2772), и почти одинаковых по объему; они были герметически закупорены после того, как количество содержащегося в них газа было доведено с помощью насоса до определенной степени разрежения. Первая содержала в себе газ под давлением одной атмосферы. Во второй газ находился под давлением полуатмосферы, т. е. 15 дюймов ртути. Третья содержала в себе газ под давлением в 10 дюймов ртути. Четвертая же после заполнения ее кислородом была доведена

до столь хорошего вакуума, какого только можно было добиться с помощью превосходного воздушного насоса. Когда первая из этих ампул была подвергнута сравнению с остальными тремя, то результат оказался совершенно поразительным. При сравнении ее с половиной атмосферы, она двинулась по направлению к оси, выталкивая оттуда разреженную порцию газа. Когда ее сравнивали с одной третью атмосферы, то она с еще большей силой двинулась по направлению внутрь, т. е. в аксиальном направлении. А когда ее противопоставили кислородному вакууму, то она заняла свое место настолько же близко к железному сердечнику, как и в прежнем случае, когда ее противопоставляли азоту (2774); таким образом стало очевидно, что диамагнитная сила стеклянной трубки, в которой был заключен кислород (2775), оказалась единственным предметом, который помешал ей быть прижатой к железному сердечнику, занимавшему центр магнитного поля.



Рис. 196.

2781. При опытах с другими трубками был получен совершенно тот же результат. Так, трубка с одной третью атмосферы в соединении с вакуумной трубкой двигалась внутрь, отгоняя другую трубку наружу, т. е. она оказалась более магнитной, чем вакуум. Но в соединении с полуатмосферной трубкой она двигалась наружу, а более сгущенный газ двигался внутрь. Любая из трубок, будучи соединена с другой трубкой, имеющей более разреженную атмосферу, двигалась внутрь, т. е. как магнитное вещество; если же она была соединена с другими трубками, имеющими более сгущенную атмосферу, она двигалась наружу, отгоняемая превосходящей магнитной силой более сгущенного газа. Поскольку я мог установить при этих опытах предварительного характера, стремление внутрь, т. е. в магнитном смысле, оказалось, по видимому, пропорциональным плотности газа; однако точное намерение этих сил будет дано далее.

2782. Таким образом, кислород является, по-видимому, весьма магнитным веществом, так как он со значительной силой движется аксиально, т. е. из более слабых мест магнитной силы в более сильные, вывод, который находится в согласии с результатами прежних наблюдений.¹ Сверх того, он движется с большей силой, когда находится в сгущенном состоянии, чем когда в разреженном, причем его стремление внутрь, по-видимому, пропорционально его плотности. Вследствие этого по мере удаления кислорода магнитная сила уходит вместе с ним — до тех пор, пока, с достижением вакуума, остается лишь немного или же совершенно не остается следов притяжения, или силы, направляющей внутрь. Без сомнения, можно было бы утверждать, что сгущенный кислород является менее диамагнитным, чем разреженный кислород или чем вакуум. Но это означало бы, что действующая сила какого-нибудь вещества, как кислород, может увеличиваться по мере уменьшения количества этого вещества, что, как я думаю, вряд ли является научным допущением. Сверх того, скоро у нас появятся другие соображения в пользу того, что магнитное состояние, прекращающееся после удаления кислорода, принадлежит веществу и связано с последним и что таким образом кислород является подлинно магнитным телом.

2783. Затем был подвергнут испытанию а в о т, представляющий собою вторую и большую составную часть атмосферы. Были изготовлены три трубки (2780), из которых одна содержала в себе газ под давлением 30 дюймов ртутного столба, вторая — под давлением 15 дюймов и третья, которая была доподена, насколько это оказалось возможным, до вакуума. Когда эти трубки сравнивались друг с другом в магнитном поле, то оказалось, что они были настолько схожи друг с другом, что их нельзя было отличить друг от друга, т. е. они оставались на одинаковом расстоянии от магнитной оси. Я не хочу этим сказать, что при указанных выше различных давлениях

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 410, 415.

азот ведет себя совершенно одинаково при одном и том же объеме (изготовляемый ныне прибор даст мне в дальнейшем возможность произвести сравнение и измерение с бесконечно большей точностью и выяснить эти моменты); но при сравнении с кислородом тем большим и необычайным различиям, которые вызываются разрежением в кислороде, различия в азоте далеко не соответствуют. А если какие-либо различия и имеются, то в настоящее время они неощутимы, и для главной цели настоящего доклада и для определения нулевой точки между магнитными и диамагнитными телами их можно считать несуществующими.

2784. Таким образом азот оказывается как будто не магнитным и не диамагнитным. Если бы он был магнитным или диамагнитным, то по мере разрежения он должен был бы постепенно терять свои специфические свойства; в своем собственном виде он эквивалентен вакууму. Если некоторый данный объем рассматривать как вакуум, в который постепенно нужно ввести кислород или азот, то по мере введения в него кислорода этот объем становится все более и более магнитным, т. е. все более способным воспринять тот род действия, который выражается этим словом; но соответственное постепенное введение в пустое пространство азота не вызывает никакого подобного или же противоположного ему действия, и, значит, азот не является ни магнитным, ни диамагнитным, но подобен (пустому) пространству.

2785. До сих пор я не нашел ни одного газа, который, находясь на диамагнитной стороне от нуля, мог бы вполне сравниться с кислородом по величине действия, вызываемого разрежением. В настоящий момент я могу указать только на масляродный газ и на циан, как на вещества, которые, по-видимому, движутся внутрь, т. е. по направлению к аксиальной линии, по мере того, как их все больше разрежают. Следовательно, они находятся не просто на нуле, а стоят на стороне, противоположной кислороду, и являются диамагнитными телами. Но когда мы ищем такое тело, которое

является строго и бесспорно диамагнитным и которое, будучи прибавлено к (пустому) пространству или введено в последнее, делает его диамагнитным подобно тому, как кислород делает его магнитным, то такое вещество мы имеем в виде флинтгласа или фосфора. Если этим телам придать такую форму, что по своему размеру и виду они становятся подобными объемам азота или вакуума, и сравнить их с последними на крутильных весах, то они уходят наружу с большой силой; возможно, что значительная диамагнитная сила стекла трубок не позволяет действию разрежения стать более заметным в маслородном газе и в других газах.

2786. Когда трубку заполняют определенным газом, затем, насколько это возможно, откачивают и герметически закупоривают, то можно считать, что она содержит в себе то, что обычно называют вакуумом. Я изготовил много подобных вакуумов и позволю себе различать их по названию тех газов, следы которых в них еще остаются. Когда эти вакуумы подверглись сравнению в магнитном поле (2773), то они показались мне во всех отношениях тождественными: кислородный вакуум оказался не более магнитным, чем водородный, азотный или маслородный вакуум. Различия между ними, если вообще они существуют, оказались гораздо меньше тех, какие могли бы вызываться изменениями размера и другими особенностями стеклянных ампул, и их можно выявить лишь с помощью тех средств, которые будут применены в дальнейшем (2783). Я вполне убежден в том, что в конце концов они окажутся почти тождественными, приближаясь вплотную с той или другой стороны к *совершенному* вакууму.

2787. Раньше, чем определить местонахождение нуля между магнитными и диамагнитными телами, нам следует рассмотреть истинный характер и значение *пространства*, свободного от какой бы то ни было материальной субстанции. Хотя нет возможности создать пространство, совершенно свободное от материи, к нему можно сильно приблизиться в тщательно подготовленном Торричелиевом вакууме. Быть может, нет

необходимости отмечать, что, согласно моим наблюдениям, как железо, так и висмут в подобном вакууме превосходно подчиняются магниту. Из таких опытов, а также из общих наблюдений и теоретических соображений, по-видимому, явствует, что линии магнитной силы (2149) могут проходить через пустое пространство совершенно так же, как через него проходит сила тяготения и как проходят статические электрические силы (1616); таким образом (пустое) пространство обладает своим особым отношением к магнетизму, и притом таким, что в дальнейшем мы признаем его имеющим чрезвычайно важное значение в явлениях природы. Но это свойство (пустого) пространства не тождественно по своему роду с тем свойством, которое по отношению к веществу мы стараемся выразить с помощью терминов магнитный и диамагнитный. Смешать эти свойства значило бы смешать (пустое) пространство с материей и затемнить все те представления, с помощью которых мы стремимся уразуметь характер действия и выработать более ясное воззрение на законы сил природы. Это было бы похоже на то, как если бы в тяготении или в электрических силах (1613) мы смешали частицы, действующие взаимно друг на друга, с пространством, через которое они действуют, и таким образом, полагая, закрыли бы дверь для дальнейших успехов. Чистое пространство не может действовать так, как действует вещество, если даже предоставить широчайший простор гипотезе об эфире; а если принять эту гипотезу, было бы большим дополнительным допущением предположить, что магнитные силовые линии представляют собою колебания, передаваемые эфиром (2591), между тем как до сих пор мы не имеем еще доказательств или указаний на то, что для их распространения требуется время, или в каком отношении они по общим своим свойствам могут быть подобны соответствующим линиям сил тяготения, передачи света и электричества или же отличаться от последних.

2788. Нользя также предположить, чтобы в пустом пространстве существовали круговые токи около рассеянных

в нем точек, аналогичные тем токам, которые, согласно теории Ампера, обтекают частицы обычного магнитного вещества, и которые, как я когда-то предположил, могут существовать, но с противоположным направлением, около частиц диамагнитного вещества (2429, 2640 и т. д.). Воображение, сдерживаемое научными соображениями, отказывается найти в пустом пространстве что-либо такое, около чего могли бы циркулировать эти токи или около чего они удерживались бы какой-либо связью. Еще большая трудность,— быть может, превосходящая даже всякую меру,— создалась бы для тех, если бы также оказались, кто принял бы, что магнитные и диамагнитные тела тождественны по своей природе; они вынуждены были бы допустить также, что в тех и других телах имеются одинаковые токи; но ведь представляется невозможным, чтобы прибавление (например) фосфора, имеющего подобное магнитное строение, к (пустому) пространству, которое, согласно допущению, имеет такое же строение, дало в результате не-таки уменьшение магнитных сил заполненного указанным образом пространства.

2789. Так как, стало быть, пустое пространство имеет свойства, независимые от вещества, и притом иные, чем последнее, то вещества различных видов, в отношении соответствующих им качеств, следует сравнивать друг с другом. Те вещества, которые, будучи прибавлены к (пустому) пространству, не вызывают никакого действия, являются, по моему мнению, нейтральными, или стоят на нуле. Те вещества, которые приносят с собой действие одного рода, находятся на одной стороне от нуля, а те вещества, которые вызывают действие противоположного рода, находятся на другой стороне от нуля. При этом делении они образуют два подразделения магнитных и диамагнитных тел. Тот закон, который я позволил себе дать раньше (2267, 2418), все же точно выражает их отношения, ибо в абсолютном вакууме, или в пустом пространстве магнитное тело стремится перейти из более слабых мест магнитного действия в более сильные, а диамагнитное тело при

подобных же условиях стремится перейти из более сильных мест действия в более слабые.

2790. Теперь, когда мы получили *истинный муть* и когда великое многообразие материальных субстанций удовлетворительно разделено на два основных класса, мне представляется, что у нас возникает потребность в другом названии для магнитного класса веществ, дабы избежать путаницы. Слово *магнитное* должно быть общим и должно охватывать *все* явления и действия, вызываемые этой силой. Но в таком случае необходимо слово для наименования подразделения тел, противоположного диамагнитному классу. Так как язык интересующей нас сейчас отрасли знания может в скором времени потребовать общих и тщательных изменений, то я, пользуясь любезной помощью одного друга, пришел к мысли, что временно было бы полезно и слово, выбранное без особой тщательности; и так как магнетизм железа, никеля и кобальта, когда они находятся в магнитном поле, подобен магнетизму Земли как целого, и, став активными, они располагаются параллельно ее оси, или магнитным силовым линиям, то я полагаю, что указанные тела, а также им подобные (включая теперь и кислород) можно назвать парамагнитными телами и таким образом дать следующее деление:

Магнитные { Парамагнитные.
 { Диамагнитные.

Если эта попытка облегчить способ выражения не будет принята, то, надеюсь, ее все же мне извинят.

2791. Благодаря присутствию кислорода в воздухе последний в целом является магнитной средой немалой силы. Ввиду этого все сравнительные опыты над диамагнетизмом других газов, выполненные путем пропускания струй этих газов через воздух и друг через друга,¹ требуют поправки, которая, быть

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 407, 420 и след.

может, приведет некоторые из этих тел на парамагнитную сторону от нуля. Это может повлиять также на твердые и жидкие вещества, и с этой точки зрения потребуется изменить и тот предварительный перечень, который я дал раньше (2424). Но я надеюсь, что в скором времени буду располагать средствами определения не только места тел, но и относительных степеней их силы, при одной и той же температуре и при различных температурах, с такой степенью точности, что она со-служит большую службу в дальнейшем развитии этой отрасли знания.

2792. Среди исследованных до сих пор газов нет ни одного, который сравнился бы с кислородом. Нижеследующие газы являются по сравнению с ним относительно безразличными: пары хлора и брома, циан, азот, водород, углекислота, окись углерода, маслородный газ, закись азота, окись азота, пары азотной кислоты, соляная кислота, серная кислота, иодисто-водородная кислота, аммиак, сороводород, светильный газ, пары эфира и сероуглерода; ибо хотя некоторые из них, как маслородный газ и циан, кажутся несколько диамагнитными, а другие, как закись азота и окись азота, являются магнитными, однако их действия исчезают по сравнению с теми результатами, которые дает кислород.

2793. Я надеюсь, что в дальнейшем дам точное выражение парамагнитной силы кислорода (2783); тем временем у меня возникает соблазн дать здесь одну-две грубые иллюстрации степени этой силы в дополнение к той, которую я привел раньше (2774). Емкость ампулы с кислородом, находящимся под давлением одной атмосферы, составляет без малого 0.34 кубического дюйма и, стало быть, вес кислорода в ампуле равен 0.117 грана. Я попытался сравнить это количество прежде всего с мягким железом. Для этой цели кусочек названного металла, имевший вес в одну десятую часть приведенного выше веса, т. е. 0.012 грана, я подвесил на тонкой платиновой проволочке, которая была закреплена в одном конце сосуда, соответствующего по своему размеру сосуду, содержавшему в себе кислород,

таким образом, что железо оказалось посередине этого сосуда, затем ампула была выкачана и герметически закрыта. Когда я затем противопоставил ее в магнитном поле кислородной трубке, то оказалось, как я этого и ожидал, что по магнитной силе железо далеко превосходит кислород. Так как было неудобно дальше уменьшить вес железа или же увеличить вес кислорода, то для сравнения я выбрал другое магнитное вещество.

2794. Сто гранов чистого, хорошего, кристаллического протосульфата железа было растворено в дистиллированной воде и затем разведено настолько, что склянка, примерно такого же размера как склянка с кислородом, будучи заполнена этим раствором, оказалась равной по своей силе ампуле с кислородом и установилась на одинаковом с ним расстоянии от аксиальной линии, поскольку я мог об этом судить с помощью моих нынешних средств наблюдения. Когда раствор обладал указанной выше концентрацией, он занимал объем в $17 \frac{1}{2}$ куб. дюйма. Так как объем кислорода составлял лишь 0,34 кубического дюйма (2793), то такой же объем раствора содержал бы в себе примерно 2 грана кристаллического сульфата железа, что соответствует 0,4 грана металлического железа. Таким образом, при равном объеме кислород магнитен в такой мере, как водный раствор сульфата железа, содержащий в себе семнадцатикратный вес кислорода в кристаллическом протосульфате железа или взятый 3,4 раза вес металлического железа в этом состоянии соединения.

2795. Далее две кислородные трубки, содержавшие в себе соответственно одну атмосферу и вакуум (2780), были установлены на расстоянии около дюйма друг от друга и помещены по обе стороны от магнитной оси; затем была возбуждена сила магнита. Кислород, конечно, приблизился к магнитной оси, а вакуум отошел в экваториальном направлении. На паяльной лампе была вытянута тонкая стеклянная нить длиной около 6 дюймов и укреплена на ножке; концом этой нити я воспользовался для того, чтобы заставить трубку с кислородом отойти в первоначальное ее положение и установить

на одинаковом с вакуумной трубкой расстоянии от магнитной оси. В этом положении трубки в отношении стекла должны друг друга нейтрализовать (2775); если считать вакуум за нуль, то можно считать активным только кислород, и силу, необходимую для того, чтобы удержать его на месте, можно рассматривать как силу, с какой кислород на расстоянии половины дюйма стремится идти по направлению к магнитной оси. Отклонение стеклянной нити или пружинки на том месте, где она удерживала трубку с кислородом, было немного более дюйма от того положения, которое она заняла, когда я освободил ее от давления трубки. Вынув эту нить, я расположил ее в горизонтальном положении (повернув ее предварительно на 90° около оси с тем, чтобы изгибание происходило по отношению к нити в том же направлении, что и раньше). Отметим положение ее конца, я накладывал в месте прежнего соприкосновения нити с кислородной трубкой грузы до тех пор, пока они по произволу такое же по величине отклонение, как раньше. Для того чтобы получить указанный результат, потребовалось несколько более одной десятой части грана; если принять во внимание, что весь кислород весил лишь 0.117 грана, что ни одна часть его не находилась ближе к магнитной оси, чем на полдюйма, и что среднее расстояние его массы от магнитной оси составляло более дюйма, то все это дает высокую величину для магнитной силы кислорода.

2796. Едва ли мне нужно говорить здесь о том, что этот кислород, проявляющий столь замечательную и высокую степень магнитной силы, не может существовать в атмосфере без того, чтобы оказывать чрезвычайно важное влияние на распределение магнетизма Земли как планеты, и особенности, если принять во внимание, что магнитные свойства его очень сильно изменятся с изменением его плотности (2781) и температуры.¹ Я склонен в этом усмотреть действительную причину многих изменений этой силы, которые тщательно наблю-

¹ Philosophical Magazine, 1847, XXXI, стр. 417.

дали — и теперь продолжают наблюдать — в различных местах поверхности земного шара. Это относится как к суточным, так и к годовым изменениям, а также ко многим нерегулярным беспрерывным изменениям, которые так прекрасно выявляются с помощью фотографического метода регистрации. Если эти ожидания оправдаются и окажется, что влияние атмосферы способно вызывать результаты, подобные вышеуказанным, тогда мы, вероятно, найдем новую зависимость между северным сиянием и магнетизмом Земли — зависимость, устанавливаемую в большей или меньшей мере самим воздухом в соединении с расположенным над ним (пустым) пространством. При дальнейшем развитии того, что я позволю себе назвать *атмосферным магнетизмом* (2847 и т. д.), можно будет предугадать, выявить и подчинить измерению и такие магнитные зависимости и изменения, которых до сих пор мы и не подозревали. Возможно, что я слишком оптимистичен в этих ожиданиях, но до сих пор меня поддерживали и в них очевидная реальность, простота и достаточность предполагаемой причины — в том виде, как она представляется мне в настоящее время. Как только я в достаточной мере подвергну эти мысли ближайшему рассмотрению и проверю их соответствие с наблюдением, а где окажется возможным — и с опытами, я буду иметь честь представить их Королевскому обществу.

Королевский институт.

2 августа 1850 г.