

ИЗ «ТРАКТАТА  
ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ  
И МАГНЕТИЗМЕ»

---

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ (1)

Уже древним был известен тот факт, что некоторые тела, будучи натерты, начинают притягивать другие тела. В течение последнего времени было открыто большое количество других разнообразных явлений, в отношении которых установлена связь с этим явлением притяжения. Эти явления были названы *электрическими*, так как янтарь—по-гречески ἤλεκτρον (электрон)—был первым веществом, на котором они наблюдались.

Другие тела, в частности магнитный железняк и куски железа и стали, подвергнутые определенному воздействию, также с давнего времени известны как вещества, способные к действию на расстоянии. Было установлено, что эти явления, включая и другие, связанные с ними, отличаются от электрических, они получили название *магнитных*—по названию находимого в Фессалийской Магнезии магнитного железняка—μαγνήτις (магнес).

С течением времени было установлено, что оба эти класса явлений находятся в связи друг с другом. Зависимости между различными явлениями обоих классов, поскольку их удалось установить, составляют науку об *электромагнетизме*.

В предлагаемом трактате я намерен описать наиболее важные из этих явлений, показать, как их можно измерить, и проследить математические соотношения между измеряемыми величинами. Получив таким образом исходные данные для математической теории электромагнетизма и показав, как эта теория может быть при-

менена к расчету явлений, я постараюсь по возможности ясно осветить связь математической формы этой теории и общей *динамики* с тем, чтобы в известной степени подготовиться к определению тех динамических закономерностей, среди которых нам следовало бы искать иллюстрации или объяснения электромагнитных явлений.

Описывая различные явления, я буду выбирать те из них, которые наиболее ясным образом иллюстрируют основные идеи теории, опуская другие или оставляя их на время, пока читатель не будет более подготовлен к их восприятию.

С математической точки зрения наиболее важной стороной всякого явления является наличие некоторой измеряемой величины. Поэтому я буду рассматривать электрические явления в основном в отношении их измерения, описывая методы измерения и определяя эталоны, от которых они зависят.

Применяя математику к исчислению электрических величин, я в первую очередь буду стараться вывести наиболее общие заключения из имеющихся в нашем распоряжении данных, с тем чтобы после этого применить результаты к избранным простейшим случаям.

Насколько возможно, я буду избегать вопросов, которые, хотя и могут явиться предметом полезных упражнений для математиков, не в состоянии расширить наших научных знаний.

Внутренние взаимосвязи различных отраслей подлежащей нашему изучению науки значительно более многочисленны и сложны, чем любой до сих пор разработанной научной дисциплины. Внешние связи науки об электричестве, с одной стороны, с динамикой, а с другой стороны—с явлениями тепла, света, химического действия и с внутренним строением тел, невидимому, указывают на особую ее важность как науки, помогающей объяснять природу.

Исходя из этого, мне представляется, что изучение электромагнетизма во всех его проявлениях как средства движения науки вперед сейчас приобрело первостепенную важность.

Математические законы различных классов явлений были разработаны в значительной мере удовлетворительно.

Также были исследованы взаимные связи между различными классами явлений, и вероятность строгой точности экспериментальным образом установленных законов была в значительной мере подкреплена подробным знанием их отношений друг к другу.

Наконец, доказательством того, что ни одно электромагнитное явление не противоречит предположению, что оно зависит от чисто динамического действия, был достигнут некоторый прогресс в сведении электромагнетизма к динамике.

Однако все, что было сделано до сих пор, никоим образом не исчерпало области электрических исследований, а скорее открыло эту область, указав нам объекты и снабдив нас средствами исследований.

Едва ли необходимо распространяться относительно ценности результатов исследований по магнетизму для мореходства и важности знания истинного направления стрелки компаса и влияния железа на корабле. Однако работы тех, кто при помощи магнитных наблюдений старался обезопасить мореплавание, в то же самое время сильно продвинули прогресс чистой науки.

Гаусс в качестве члена Германского магнитного союза использовал свой мощный интеллект для того, чтобы разработать теорию магнетизма и методы его наблюдения, и он не только многое добавил к нашему знанию теории притяжений, но и реконструировал всю науку о магнетизме в том, что касается применяемых в ней инструментов, методов наблюдения и расчета результатов, так что его памятные записки по земному магнетизму могут быть взяты в качестве образца физического исследования для тех, кто занят измерением любых сил в природе.

Важные применения электромагнетизма к телеграфии также повлияли на чистую науку, придав коммерческую цену точным электрическим измерениям и дав изучающим электричество возможность использования

аппаратов в таких масштабах, которые значительно превосходят возможности обыкновенной лаборатории. Следствия этого спроса на познания в области электричества и экспериментальных возможностей их приобретения уже были весьма большими как в стимулировании энергии передовых работающих в области электричества ученых, так и в распространении среди людей практики такой степени точного знания, которое имеет шансы повести к общему научному прогрессу всей инженерной профессии.

Существует несколько трактатов, в которых электрические и магнитные явления описываются общедоступным образом. Однако эти трактаты не отвечают желаним людей, сталкивающихся лицом к лицу с подлежащими измерению величинами, чей ум не удовлетворяется экспериментами в масштабе учебной аудитории.

Существует также значительное количество имеющих большое значение в науке об электричестве, но лежащих без движения в объемистых трудах ученых обществ математических работ; они не образуют собой связной системы, обладают очень различными достоинствами и в большинстве случаев понятны только профессиональным математикам.

Поэтому я пришел к выводу, что был бы полезен трактат, имеющий своей основной целью методическое обозрение всего предмета, в котором также было бы показано, как каждая часть исследуемой области приводится к возможности быть проверенной методами фактического измерения.

Общая структура трактата значительно отличается от структуры многих, в большинстве случаев опубликованных в Германии замечательных работ в области электричества, и может показаться, что я не отдал должного воззрениям многих выдающихся ученых электриков и математиков. Одна из причин этого состоит в том, что, прежде чем начать изучение электричества, я решил не читать никаких математических работ по этому предмету до тщательного прочтения мной «Экспериментальных исследований в области электричества» («Experimental Researches in Electricity») Фарадея. Я знал, что между пониманием явлений Фарадеем и концепцией математиков предполагалось наличие такой разницы, что ни тот, ни другие не были удовлетворены языком друг друга. Я был убежден также, что расхождение это возникало не из-за неправомерности какой-либо из сторон. Впервые меня убедил в этом сэр Вильям Томсон\*), указанным и помощи которого, так же как и его опубликованным трудам, я обязан своим знанием большей части того, что мне известно по предмету.

Приступив к изучению труда Фарадея, я установил, что его метод понимания явлений был также математическим, хотя и не представленным в форме обычных математических символов. Я также нашел, что этот метод можно выразить в обычной математической форме и таким образом сравнить с методами профессиональных математиков.

Так, например, Фарадей видел силовые линии, пронизывающие все пространство, там, где математики видели центры сил, притягивающих на расстоянии; Фарадей видел среду там, где они не видели ничего кроме расстояния; Фарадей предполагал источник и причину явлений в реальных действиях, протекающих в среде, они же были удовлетворены тем, что нашли их в силе действия на расстоянии, приписанной электрическим флюидам.

Когда я переводил то, что я считал идеями Фарадея, в математическую форму, я нашел, что в большинстве случаев результаты обоих методов совпадали, так что ими объяснялись одни и те же явления и выводились одни и те же законы действия, но что методы Фарадея походили на те, при которых мы начинаем с целого и приходим к частному путем анализа, в то время как обычные математические методы были основаны на принципе движения от частных и построения целого путем синтеза.

\*) Я пользуюсь случаем для того, чтобы выразить мою благодарность сэру В. Томсону и профессору Тэту за многие ценные указания, сделанные во время печатания этой работы.

Я также нашел, что многие из открытых математиками плодотворных методов исследования могли быть значительно лучше выражены с помощью идей, вытекающих из работ Фарадея, чем в их оригинальной форме.

Так, например, вся теория потенциала, рассматриваемого в качестве величины, удовлетворяющей определенному дифференциальному уравнению в частных производных, существенным образом принадлежит тому методу, который я назвал методом Фарадея. Согласно другому методу потенциал, если его вообще следует рассматривать, должен быть представлен как результат суммирования величин зарядов наэлектризованных частиц, деленных каждый на его расстояние от данной точки. Благодаря этому многие из математических открытий Лапласа, Пуассона, Грина и Гаусса находят в настоящем трактате свое надлежащее место и соответствующие выражения с помощью концепций Фарадея.

Значительный прогресс в науку об электричестве был внесен, главным образом в Германии, при разработке теории действия на расстоянии. Ценные электрические измерения В. Вебера интерпретируются им в соответствии с этой теорией и электромагнитными теориями, которые берут свое начало от Гаусса, а в дальнейшем развиты Вебером, Риманом, Ф. и К. Нейманами, Лоренцом и другими и которые также основаны на идее действия на расстоянии, но включают или непосредственно относительную скорость частиц или явление постепенного распространения чего-либо, будь то потенциал или сила, от одной частицы к другой. Большой успех, которого достигли эти выдающиеся люди в применении математики к электрическим явлениям, придает, как это впрочем естественно, дополнительный вес их теоретическим соображениям, так что те, кто обращается к ним как к величайшим авторитетам в области математической теории электричества, например, студенты-электрики, вероятно, впитают в себя вместе с их математическими методами также и их физические гипотезы.

Эти физические гипотезы, однако, совершенно чужды принятому мною воззрению на вещи. Одна из задач,

которые я себе поставил, состоит в том, чтобы некоторые, изучающие электричество, при чтении этого трактата могли придти к выводу, что имеется и другой способ трактовки того же предмета, который не менее подходит для объяснения явлений и который, хотя может показаться в отдельных разделах менее определенным, по моему мнению, более точно соответствует фактическому состоянию наших знаний как в том, что утверждается, так и в том, что остается еще нерешенным.

С философской точки зрения, кроме того, чрезвычайно важно сравнение двух методов, при помощи которых удалось объяснить основные электромагнитные явления, в частности, объяснить распространение света как электромагнитного явления и фактически вычислить скорость его распространения, в то время как основные концепции фактического существования явлений, а также и большинство вторичных концепций, относящихся к соответствующим величинам, в обоих методах существенно различны.

Я поэтому взял на себя скорее роль адвоката, чем судьи, и скорее представил один метод, чем пытался дать непредвзятое описание обоих. Я не сомневаюсь, что тот метод, который я назвал немецким, также найдет своих приверженцев и будет изложен с умением, достойным его оригинальности.

Я не пытался давать исчерпывающего перечисления электрических явлений, экспериментов и приборов. Читатель, который захотел бы прочесть все, что известно по этим предметам, найдет много полезного в «Трактате об электричестве» профессора А. де ла Рива и в некоторых немецких трактатах, как, например, в «Гальванизме» Видемана, в «Электричестве трения» Рисса, во «Введении в электростатику» Бира и др.

Я сам посвятил себя почти целиком математической трактовке предмета, но я рекомендовал бы интересующемуся, после того как он, по возможности экспериментально, изучит, что собой представляют подлежащие наблюдению явления, тщательно прочесть «Экспериментальные исследования в области электричества»

Фарадея. Там он найдет строго современное историческое изложение многих из величайших открытий и исследований в области электричества в последовательности и порядке, которые едва ли могли быть улучшены, если бы конечные результаты были бы известны с самого начала, и выраженные языком человека, посвятившего большую долю своего внимания методам точного описания научных операций и их результатов\*). Для изучающего любой предмет чтение оригинальных трудов представляет собой большое преимущество, так как наука всегда наиболее полно усваивается при своем появлении на свет, а в том, что касается «Исследований» Фарадея, это сравнительно легко, поскольку они изданы по частям и могут читаться в последовательном порядке. Если чем-либо из написанного здесь я окажу любому изучающему содействие в понимании способов мышления и выражений Фарадея, я буду считать, что одна из моих основных целей, а именно, передать другим то восхищение, которое я испытал сам, читая «Исследования» Фарадея, будет выполнена.

Описание явлений и составных частей теории каждого предмета дается в первых главах каждой из четырех частей, на которые разделен этот трактат. В этих главах читатель найдет достаточно для элементарного знакомства со всем предметом науки.

Остальные главы каждой части содержат в себе высшие разделы теории, численные расчеты и описание инструментов и методов экспериментального исследования.

Отношения между электромагнитными явлениями и явлениями излучения, теория молекулярных электрических токов и результаты соображений о природе действия на расстоянии трактуются в последних четырех главах второго тома.

1 февраля 1873 г.

*Джемс Клерк Максвелл*

\*) Life and letters of Faraday, I, стр. 395.

## ЧАСТЬ IV ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### ГЛАВА I ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИЛА

475.] Различными наблюдателями было замечено, что в некоторых случаях магнетизм вызывается или разрушается в стрелках в результате электрических разрядов, проходящих через стрелки или поблизости от них. В связи с этим делались разного рода предположения, касающиеся отношения между магнетизмом и электричеством, но законы этих явлений и форма этих отношений оставались абсолютно неизвестными до тех пор, пока Ханс Христиан Эрстед\*) на частной лекции для немногих успевающих студентов в Копенгагене не отметил, что провод, соединяющий полюсы вольтовой батареи, влияет на находящийся поблизости магнит. Это открытие было опубликовано в трактате, озаглавленном «Experimenta circa effectum Conflictus Electrici in Acum Magneticam», датированном 21 июля 1820 г.

Опыты, касающиеся отношения магнита к телам, заряженным электричеством, проводились без какого-

\*) См. другой отчет об открытии Эрстеда в письме профессора Ханстена (Hansteen) в «Life of Faraday» by Bence Jones, т. II, стр. 395.