

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

Фн 89.101

РУКОВОДЯЩИЕ ИДЕИ В ТВОРЧЕСТВЕ ФАРАДЕЯ

(22 сентября 1791 г. — 25 августа 1867 г.)

(К столетию открытия электромагнитной индукции)

Иг. Тамм, Москва.

Несмотря на обилие посвященной Фарадею литературы (лишь незначительная часть которой охвачена помещенным в конце статьи списком), творчество Фарадея представляет собою обширное и благодарное поле для исследований. Основные проблемы, характеризовавшие собою развитие физики в XIX веке, в значительной своей части — за исключением быть может только проблем статистической физики — восходят своими истоками к творчеству Фарадея. Однако до сих пор еще нет достаточно полного и исчерпывающего анализа эволюции основных идей Фарадея, руководивших им в его исследованиях, эволюции созданной им концепции электромагнитных сил, роли, которую эти идеи и концепции сыграли в открытиях Фарадея, анализа его непревзойденной методики эксперимента, наконец взаимодействия творчества Фарадея с современным ему развитием техники. Между тем, и многочисленные научные работы Фарадея, написанные с необыкновенной полнотой, шаг за шагом ведущие читателя по всем этапам его исследований, и обильное литературное наследие в форме дневников, писем, записей, лекций, речей и т. д. представляют собой благодарнейший материал как для решения этих вопросов, так и для исследования механизма и особенностей научного творчества вообще. С начала двадцатых до

шестидесятих годов прошлого столетия включительно Фарадей вел подробнейшие лабораторные записи ~~или~~ „Дневник“, куда заносил все детали своих опытов, планы и предположения для будущих работ, анализ результатов, обсуждение встретившихся трудностей и надежды на будущее. Отдельные листы, на которые заносились эти записи, были затем переплетены — большей частью руками самого Фарадея — мастера-переплетчика — в 8 томов in folio и 2 тома in quarto. В литературе до сих пор опубликованы лишь отдельные выдержки из „Дневника“, но в связи с празднованием юбилея закона индукции предпринято наконец полное издание этого ценного материала.

Начало второго, наиболее плодотворного периода деятельности Фарадея, которого мы только и будем касаться в настоящей статье, совпадает с сороковым годом его жизни⁺ и с началом публикации знаменитых „Experimental Researches in Electricity“ („Экспериментальных исследований в электричестве“). С 1831 по 1855 г. регулярно появлялись эти „Исследования“ в „Philosophical Transactions“. Изложенные в форме коротких параграфов, число которых в 30 „сериях“ или статьях, достигло 3362, не содержащие ни одной математической формулы или математической выкладки, но с чрезвычайной тщательностью описывающие детали экспериментов, заключающие в себе исчерпывающий, исключительно ясный и глубокий анализ физических явлений и понятий, исследования эти представляют собою квинт-эссенцию научного наследства Фарадея.

⁺ Таким образом Фарадей представляет собой сравнительно редкий пример поздно развившегося гения, и представляется спорным, объясняется ли это, главным образом, особенностями его психической организации или тем, что, будучи рабочим-самоучкой, он не имел в детстве и юношестве достаточно благоприятных условий для развития. Этапы первого периода его деятельности до 1831 г. — первая научная работа его опубликована в 1816 г. — характеризуются рядом работ по аналитической и технической химии, по сжижению хлора и других газов, исследованиями по акустике, осуществлением непрерывного вращения обтекаемого током проводника в поле магнитов (фарадеево колесо). Значение этих работ не может идти ни в какое сравнение с открытиями второго периода его деятельности.

Пользуясь, главным образом, этими „Исследованиями“ * и не претендуя на какую бы то ни было полноту изложения, мы попытаемся в настоящей статье в самых общих чертах рассмотреть важнейшие открытия Фарадея в связи с вопросом о том, какую роль в этих открытиях в качестве направляющего элемента играла общая методологическая установка Фарадея и прежде всего две основные руководившие им идеи — идея единства сил природы и новая, созданная им концепция электромагнитных явлений. Такого рода общие установки играли чрезвычайно важную роль в большинстве крупных открытий того класса, для которого в немецком языке существует столь удачный термин „*erroschenmachend*“ (делающие эпоху). Такие открытия, как, например, открытие рентгеновых лучей, происшедшее случайно, представляют в этом отношении исключение, лишь подтверждающее общее правило. Когда дело идет об исследовании явлений, основные свойства и законы которых уже известны, или о приложении известных законов к новым явлениям, общая методологическая, философская установка исследователя не играет столь существенной роли. Но когда дело идет об открытии новых явлений и законов, ими управляющих, об открытии новых свойств природы, то успех может быть обеспечен только при наличии определенной руководящей нити. И если Колумб не имел, конечно, точного представления о том, что ждет его впереди, то у него во всяком случае была твердая уверенность в том, куда именно нужно держать путь, чтобы достигнуть новой земли.

Эта убежденность в правильности избранного пути, поразительное упорство, с которым Фарадей вновь и вновь возвращался к обманувшим его ожидания опытам, всеми возможными способами варьируя их условия, чрезвычайно характерны для Фарадея. Ограничимся одним из многих примеров — открытием вращения плоскости поляризации света в магнитном поле. Вот что он сам писал по этому

* В дальнейшем ссылки на них будут даваться в форме: „Ехр. Res.“, с указанием номера соответствующего параграфа.

поводу в 1845 г.: „Я давно держался мнения, достигавшего почти степени убеждения, что различные формы, в которых проявляются силы материи, имеют одно общее происхождение или, другими словами, столь непосредственно связаны и зависимы друг от друга, что они как бы могут превращаться друг в друга, и что существуют эквиваленты их действия. Это твердое убеждение, примененное к действиям света, привело меня в прошлом ко многим попыткам, имевшим целью открытие непосредственной связи между светом и электричеством и их взаимодействия при совместном действии их на тела; однако результаты оказались отрицательными. Эти безуспешные старания и многие другие, о которых никогда ничего не было опубликовано, не могли устранить моего твердого убеждения, вытекавшего из философских соображений. Поэтому я недавно возобновил тщательнейшие исследования путем эксперимента и мне наконец удалось намагнитизировать и наэлектризовать луч света и осветить магнитные линии сил“ *. О безуспешных предварительных попытках, упоминаемых Фарадеем в 1845 г., имеются записи в его рабочем дневнике, относящиеся к 10 сентября 1822 г. и к 2 и 6 мая 1833 г. И наконец, последний опыт его жизни (запись 12 марта 1862 г.) также был поставлен с целью обнаружить новые формы связи между светом и магнетизмом, и только несовершенство имевшихся в его распоряжении приборов помешало Фарадею открыть в этот день эффект Зеемана, успешно повторившего этот опыт с лучшими экспериментальными средствами в 1896 г. Таким образом в течение сорока лет Фарадей вновь и вновь возвращался к тому же самому вопросу о связи между светом и электромагнетизмом, не взирая ни на неудачу ни на частичные успехи.

Убеждение в единстве сил природы, столь ярко выраженное в приведенных словах Фарадея, руководило им в течение всей его деятельности. Чтобы оценить важность этой идеи, необходимо припомнить положение физики в ту

* „Exp. Res.“, № 2146—2148 (Подчеркнуто нами. И. Т.).

эпоху. К концу XVIII, началу XIX в. область известных физических явлений значительно расширилась, однако явления эти изучались вне связи друг с другом, и для объяснения каждой группы явлений прибегали к гипотезе особого „флюида“ (субстанции) — электрический флюид, магнитный флюид, теплород, наконец световые частицы, вводившиеся для объяснения световых явлений. В виде реакции против этого обилия разнотипных сил и разнородных флюидов и возникла идея об единстве сил природы. Господствовавшая в начале XIX в. идеалистическая философия Шеллинга заключала в себе здоровое ядро учения об единстве всех сил природы и оказала в этом направлении значительное воздействие на развитие науки. Так например, Эрстед был убежденным шеллингианцем и пришел к знаменитому открытию воздействия электрического тока на магнитную стрелку вовсе не случайно, как это иногда излагается, а в результате многолетних упорных поисков взаимодействия электричества и магнетизма, в существовании которого он был убежден на основании философских соображений. Венцом этого периода развития физики, характеризовавшегося идеей единства сил природы, было установление закона сохранения энергии Робертом Майером, Джаулем и Гельмгольцем.

Рассмотрим же с точки зрения развития этой идеи некоторые из основных работ Фарадея, не придерживаясь при этом строго хронологического порядка.

В те времена различалось по крайней мере пять различных видов электричества по способу их получения, а именно: а) электричество „обыкновенное“, к которому причислялось в первую очередь электричество трения, затем атмосферное, пьезо- и пьроэлектричество; б) электричество гальваническое — токи, создаваемые гальванической батареей; в) электричество магнитное — открытые Фарадеем индукционные токи; г) термоэлектричество и д) животное электричество, вырабатываемое специальными органами некоторых животных (электрические скаты, угри и т. п.). Хотя в то время была уже распространена мысль о тождестве всех этих видов электричества, однако, например

Др. Дэви (брат знаменитого химика Гемфри Дэви) еще в 1832 г. писал в „Phil. Trans. Roy. Society“: „Не можем ли мы предположить, по аналогии с солнечным лучом, что электричество... представляет собою не простую силу, а сочетание различных сил, могущих встречаться в различных комбинациях и давать в результате все разновидности электричества, с которыми мы знакомы?“

Доложенная в январе 1833 г. работа Фарадея окончательно устранила все эти сомнения и установила путем образцово продуманных и проведенных опытов, что все известные действия электричества — физиологические, тепловые, химические, магнитные, механические и световые — могут быть получены с помощью электричества любого происхождения и что, таким образом, все виды электричества тождественны, а разница в их действиях сводится к разнице, во-первых, в количестве электричества и, во-вторых, в его напряжении (потенциале).

Еще большее значение имело, конечно, основное открытие Фарадея — открытие электромагнитной индукции. Открытие пондеромоторных сил взаимодействия токов и магнитов Эрстедом и Ампером в 1819—1821 гг. и изобретение электромагнитов заставляли Фарадея предполагать, что если ток может возбуждать магнетизм, то и магнетизм вообще и магнитное поле самих токов в частности в свою очередь должны обладать способностью возбуждать токи. С другой стороны, и аналогия с электростатической индукцией зарядов подкрепляла убеждения Фарадея в существовании индукции токов: статическое электричество индуцирует заряды противоположного знака на соседних телах; не обладают ли и токи аналогичным свойством? Еще в 1822 г. он заносит в свою записную книжку: „Превратить магнетизм в электричество“. Первая запись об опытах, поставленных с целью выполнения этой программы, относится к 28 декабря 1824 г., и с тех пор с характерной для Фарадея настойчивостью он неоднократно возвращается к ним в течение семи лет (в 1825, 1828 и 1831 гг.).

Длительная серия неудач объяснялась тем, что Фарадей вначале предполагал, что постоянный ток должен инду-

цировать постоянный же ток в смежных проводниках и что помещение неподвижного магнита внутри обтекаемой током катушки должно влиять на силу этого тока. Лишь 29 августа 1831 г., экспериментируя с прототипом современного трансформатора (две обмотки, навитые рядом друг с другом на железное кольцо), он обнаружил индукцию токов в одной из обмоток при замыкании и размыкании тока в другой. Таким образом Фарадей действительно нашел связь электричества с магнетизмом, но не совсем в той форме, как предполагал. В весьма короткое время после этого открытия он тщательнейшим образом исследовал как индукцию токов переменными токами, так и индукцию их при относительном движении проводника в поле магнитов и установил, что индукция токов зависит от пересечения проводником магнитных силовых линий. Полное же выяснение точных количественных соотношений потребовало значительно большего времени, и лишь в 1851 г. мы находим законченную формулировку закона индукции: „Пересекает ли провод силовые линии перпендикулярно или под углом, в одном или в другом направлении, он суммирует силы

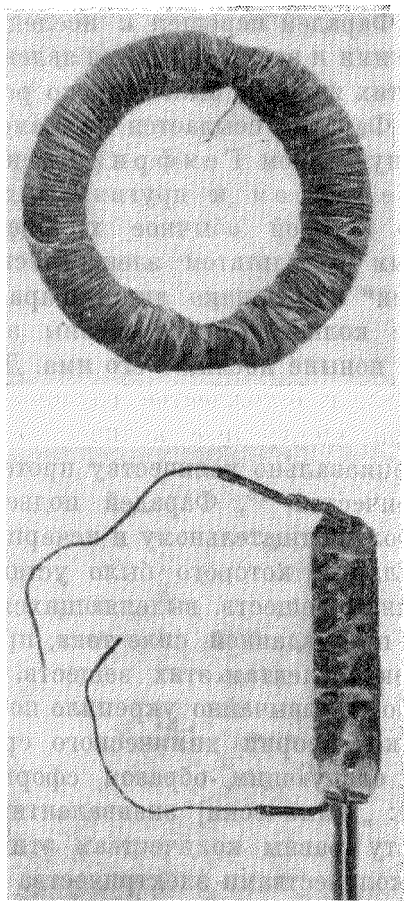


Рис. 1. Приборы Фарадея, с которыми были проведены его первые удачные опыты с электромагнитной индукцией.

соответствующие пересеченным им линиям“, так что „количество приведенного в движение (thrown in the current) электричества прямо пропорционально числу пересеченных линий“ *.

От исследования связи между магнетизмом и электричеством Фарадей перешел к исследованию связи между химическими и электрическими явлениями. Убеждение в единстве этих явлений было широко распространено в ту эпоху, и сам Фарадей ссылается на „замечательную теорию, предложенную сэром Гемфри Дэви и развитую (illustrated) Берцелиусом и другими выдающимися учеными, согласно которой обычное химическое сродство является простым результатом электрического притяжения частиц материи“ **. Однако лишь Фарадею удалось установить точные количественные законы электрохимических явлений, и поныне носящие его имя. Доказав в упомянутой работе 1832 г. о тождестве различных видов электричества, что при электролизе количество разложенного вещества пропорционально количеству протекшего через электролит электричества ***, Фарадей подвергнул в 1833 г. явления электролиза тщательному и исчерпывающему исследованию, в результате которого было установлено, что количества различных веществ, выделяющихся из различных электролитов при заданной силе тока, пропорциональны химическим эквивалентам этих веществ. Открытие этого закона, конечно, чрезвычайно укрепило позицию сторонников электрической теории химического сродства и позволило Фарадею следующим образом сформулировать основы этой теории: „[химически] эквивалентные веса различных тел попросту равны количествам этих тел, обладающим равными количествами электричества или равными электрическими силами; электричество определяет эквивалентные числа, потому что оно определяет силы сродства“ (№ 869). „Силы, именуемые химическим сродством и электричеством, тождественны“ (№ 918). Эти факты и поло-

* „Exp. Res.“, № 3082 и 3115.

** „Exp. Res.“, № 703.

*** „Exp. Res.“, № 377.

жения вовсе не являются само собой разумеющимися следствиями основного представления об электрической природе химических сил; наоборот — они оказались в непримиримом противоречии со взглядами современного Фарадею крупнейшего представителя этой точки зрения — знаменитого Берцелиуса, согласно которым каждый атом обладает как положительными, так и отрицательными полюсами, причем лишь соотношение между силами этих полюсов различно в атомах различных веществ. Не имея возможности вдаваться подробнее в изложение этих вопросов, напомним только, что учение об электрической природе химических сил, не смогшее охватить всего многообразия химических явлений, было совершенно оставлено во второй половине XIX в., с тем чтобы вновь возродиться к концу столетия в связи с изучением электролитической диссоциации и электронных явлений. Однако прочную базу для этого учения создало лишь современное развитие квантовой механики, впервые давшее возможность объяснить химические связи неполярного (гомеополярного) характера с помощью обменных сил между электронами (*Austauschkraften*), т. е. сил специфически квантового происхождения.

Все эти замечательные исследования и открытия были сделаны Фарадеем в течение трех лет, в 1831 — 1834 гг. Напряженнейшая работа подорвала его здоровье, и в 1835 — 1836 гг. наступил один из тех периодов упадка сил, которые и в дальнейшем со все возрастающей интенсивностью и уменьшающимися промежутками прерывали его творческую деятельность. Следующая работа Фарадея (о свойствах диэлектриков, 1837 г.) относится скорее ко второму, чем к первому из упомянутых выше основных циклов его работ. Оставаясь же пока в круге вопросов об единстве сил природы, мы должны остановиться еще раз на упомянутом уже открытии вращения плоскости поляризации света при прохождении луча вдоль силовых линий магнитного поля (1845 г.) и на выводах, делавшихся Фарадеем из этого открытия.

В одной из лекций, прочитанных Фарадеем в 1816 г., встречается следующее место: „В настоящее время поль-

зается, повидимому, всеобщим признанием положение, что свет состоит из мельчайших атомов вещества октаэдрической формы (sic! И. Т.), обладающих полярностью и различающихся по своим размерам или скорости" *. Какая дистанция от этих взглядов до следующего, например, утверждения (1846 г.): „Согласно взгляду, который я осмеливаюсь высказать, излучение представляет собой высшую форму колебаний линий сил, как известно, соединяющих между собой частицы, а также и массы вещества. Этот взгляд пытается устранить эфир, но не колебания" **. Существенным является здесь не столько устранение понятия эфира, сколько представление о том, что те же силовые линии, которыми, согласно взглядам Фарадея, обуславливаются электрические, магнитные и гравитационные явления, представляют собой носителей и световых явлений. И несколькими годами позже (в 1851 г.) Фарадей, рассматривая вопрос о передаче магнитных сил на расстояние, высказывает мысль, что эта передача может осуществляться световым эфиром, ибо, говорит он, „вовсе не невероятно, если [световой] эфир вообще существует, что он имеет и другие функции, помимо простого переноса излучения" ***.

Конечно, это еще очень далеко от законченной электромагнитной теории света, но все же Фарадеем совершенно отчетливо выражено убеждение не только во влиянии магнетизма на световые явления, которое в результате длительных поисков и было им установлено, но и в гораздо более глубоком родстве этих явлений по существу.

Однако, пытаясь открыть взаимодействия и установить единство сил природы, Фарадей не ограничился электричеством, магнетизмом, химическими силами, светом; в последние десятилетия своей жизни он все больше и больше внимания уделял силам тяготения. „Давнишнее и постоянное убеждение в том, что все силы природы зависят друг от друга и имеют одно общее происхождение или, вернее, представляют собой различные проявления одной фунда-

* Bence Jones, *Life a. lettres of Faraday*, V. 1, p. 216.

** *Thoughts on ray vibrations*, *Phil. Mag.*, 28, 3, 1846.

*** „*Exp. Res.*“, № 3075.

ментальной силы, часто приводило меня к размышлениям о возможности экспериментально установить связь между тяготением и электричеством и, таким образом, включить тяготение в группу столь многочисленных и столь разнообразных проявлений сил, обнимающую также магнетизм, химическую силу и теплоту, и связующую их общими соотношениями“ (№ 2702, 1850 г.). С этой целью Фарадей пытался обнаружить возникновение токов в проволочной

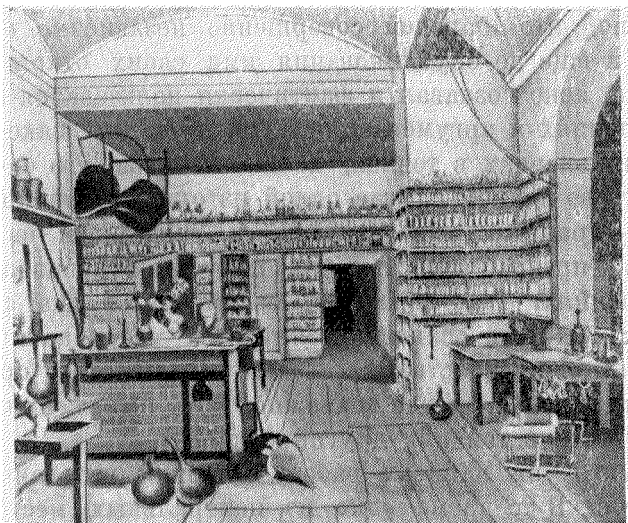


Рис. 2. Фарадей за работой в лаборатории Royal Institution.

катушке, падающей с большой высоты, или в длинной катушке, внутри которой падает постороннее тело, и т. д.; однако все наблюдавшиеся им эффекты, как он сам доказал, обуславливались лишь побочными обстоятельствами. И Фарадей заканчивает свою статью следующими характерными словами: „На этом пока кончаются мои опыты. Результаты их отрицательны. Они не колеблют моего глубокого убеждения в существовании связи между тяготением и электричеством, хотя и не дают доказательства существования подобной связи“ (№ 2717).

Эта задача отыскания связи между тяготением и элек-

тричеством, поставленная Фарадеем, и посейчас еще остается актуальной; об этом свидетельствует хотя бы то, что Эйнштейн последние десять лет почти целиком посвятил попыткам ее разрешения, попыткам установления единой теории поля.

Период развития физики, характеризовавшийся развитием идеи о единстве сил природы, увенчался установлением закона сохранения энергии Ребертом Майером, Джаулем и Гельмгольцем в 1842 — 1847 гг. Весьма интересно, что Фарадей совершенно независимо от этих ученых и еще до опубликования ими своих открытий совершенно ясно сознавал и фактически пользовался в своих рассуждениях и аргументации если не самим законом сохранения энергии в точной, количественной его формулировке, то во всяком случае одной из существеннейших его частей — принципом невозможности *perpetuum mobile* и взаимной превращаемости сил природы в эквивалентных соотношениях. Так, в 1837 г. он заносит в свой рабочий дневник: „Нужно сравнить количества материальных сил, т. е. сил электричества, тяготения, химического сродства, сцепления и т. д., и, где возможно, дать выражения для их эквивалентов в той или другой форме“ *.

В 1839 г. он написал работу о теории гальванических элементов. В то время одно из центральных мест в поле зрения физиков и химиков занимал многолетний ожесточенный спор сторонников контактной и химической теории гальванизма: первые утверждали, что причиной тока в гальванической цепи является самый факт соприкосновения различных проводников, вторые же видели источник тока в химических реакциях, происходящих в цепи. В работе 1839 г. Фарадей, являвшийся сторонником химической теории, изложив мастерски проведенное им экспериментальное исследование вопроса, приводит в заключение в качестве решающего аргумента следующее соображение: „Контактная теория полагает, что сила может возникнуть из ничего, что ток может быть порожден без какого-либо

* Цитировано по книге Оствальда, Великие люди, стр. 128.

изменения в действующей материи или без затраты производящей силы, причем ток этот будет действовать, непрерывно преодолевая постоянное сопротивление. Это было бы на самом деле созданием силы, и этим ток отличался бы от всякой другой силы. Мы знаем много процессов, благодаря которым форма силы так изменяется, что происходит видимое превращение одной силы в другую. Так, мы можем химическую силу превратить в электрический ток, а электрический ток в химическую силу. Прекрасные опыты Зеебека и Пельтье доказывают превратимость теплоты в электричество, а опыты Эрштедта и мои — превратимость электричества в магнетизм. Но никогда не происходит создания силы, возникновения силы без соответствующей затраты того, что питает эту силу“*.

Таким образом Фарадей действительно являлся провозвестником закона сохранения энергии. Замечательно однако, что Фарадей до конца своей жизни так и не смог достичь правильного понимания этого закона, не смог осознать разницу между понятием силы и понятием энергии или работы. Ибо закон сохранения энергии вовсе не сводится к простому утверждению, что ничто не возникает из ничего. Среди великого многообразия физических величин, свойств и качеств необходимо отыскать ту именно величину, то всеобщее мерило физических явлений, которое остается количественно постоянным во всех процессах. Основная трудность, стоявшая на пути разрешения этой, уже давно назревшей во времена Фарадея задачи, как и на пути разрешения целого ряда других фундаментальных задач физики в другие эпохи ее развития, заключалась в оперировании, казалось бы, простыми, но в действительности недостаточно ясно очерченными и определенными физическими понятиями. Самым трудным шагом к установлению специального принципа относительности был анализ понятия одновременности, а к установлению принципов квантовой механики — анализ понятия измерения. Знаменитый мемуар Гельмгольца озаглавлен „О сохранении силы“;

* „Exp. Res.“, № 2071; цитировано по переводу в книге Оствальда.

под словом сила понималось тогда и то, что мы теперь называем силой, и то, что мы теперь называем работой. Правильный анализ этого сложного понятия и является одной из важнейших заслуг основоположников закона сохранения энергии.

Этот анализ остался, однако, непонятым Фарадеем. Вот что говорит он, например, в одной статье 1857 г. по вопросу о силе тяжести: „Этот [обычный] взгляд на силу тяжести кажется мне противоречащим принципу сохранения силы; это противоречие представляет следующая часть определения силы тяжести: [сила тяжести] изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния . . . Возьмем в пустом пространстве две массы A и B , между которыми от одной к другой действует сила, благодаря которой они взаимно притягиваются, причем эта сила . . . изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния . . . Пусть при расстоянии между массами, равном 10 единицам длины, сила равна 1; тогда при расстоянии 1, т. е. в 10 раз меньшем, сила будет равна 100. Допустим, что между массами находится упругая пружина, служащая мерой действующей между ними силы; тогда во втором случае натяжение, испытываемое пружиной, будет в 100 раз больше, чем в первом случае. Но каким образом произошло это громадное приращение силы? Если мы скажем, что это своеобразная особенность этой силы, и удовлетворимся таким ответом, то, кажется мне, мы предположим создание силы, создание в таком громадном количестве и притом благодаря простому и столь незначительному изменению состояния, что даже самый недисциплинированный ум не будет считать это достаточной причиной . . . Мы упразднили бы высший закон физических наук — закон сохранения силы. Допустим теперь, что массы A и B снова удалены на прежнее расстояние друг от друга; тогда притяжение будет составлять уже всего одну сотую долю прежнего, согласно закону, что сила притяжения обратно пропорциональна квадрату расстояния. Мы снова получили бы изумительный результат, так как это означало бы уничтожение силы, явление, сопутствующее всегда созданию

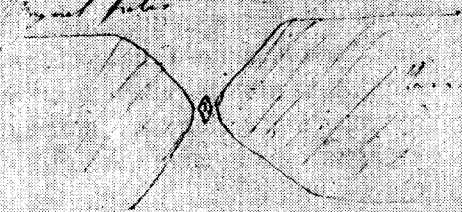
24 Aug 1848

Today Pickens showed me for the first time some of his experiments.

First of all with

A small sheet of lat. paper was suspended by a single wire thread between two flat magnet poles.

With the obj. axis in a horizontal position. When the poles were very close to the paper the divergence force of the magnet.



made it like the position shown in which the obj. axis is at right angles to the magnet. But when the poles were spread out to a distance of half an inch or more of an inch then the magnet pulled equally on both obj. axes the paper expanded equally.

When a larger sheet of lat. paper $\square$ was larger than the paper was suspended with obj. axis horizontal it pointed regularly & vibrated about a given position, as was the obj. axis in the vertical plane.

There is a given distance between the magnet poles (or between a wire thread of lat. paper between them) at which the divergence & the magnetic force is balanced & parallel distance the paper points horizontally. But when distance magnet obj. is that as increases the distance the magnetic force diminishes $\propto \frac{1}{r^2}$ faster than the magnetic force $\propto r$ diminishing the distance it increases $\propto \frac{1}{r^2}$ faster than the $\propto r$ magnetic force.

But increasing or diminishing the strength of the magnet produces no alteration of the place of neutral axis. It is always in the same place. The strength of the action on it is altered either the distance of the lat. paper or not. It is that neutral position. The distance at which it is at is not altered in that position.

Рис. 3. Страница из дневника Фарадея.

новой силы и происходящее только с тем, что порождает эту новую силу“.

Вот что говорит Оствальд по этому поводу: „В настоящее время нам кажется поразительным, что такой ясный и глубокий ум, как Фарадей, не мог разрешить недоразумения, вытекающего из того, что слову „сила“ придавались тогда различные значения. Фарадей цитирует даже монографию Гельмгольца о сохранении силы . . . У него перед глазами несомненно уже было решение этой загадки, но он его не видел.

Объяснение этому замечательному явлению нелегко найти. Старческое самомнение при открытом и скромном характере Фарадея совершенно исключается. В состоянии умственного переутомления, в каком он впоследствии почти непрерывно находился, возможна еще в редкие часы, следующие за продолжительным отдыхом, самостоятельная работа мысли; эта работа будет доставлять даже приятные ощущения; но усвоению чужих мыслей ум в таком состоянии сопротивляется гораздо сильнее: на каждую такую попытку он реагирует пассивным сопротивлением. Поэтому мы можем предположить, что так как Фарадей сам более не в состоянии был выяснить ошибку, вытекающую из употребления одного и того же слова в различном значении и скрывающую от него сущность, то он вообще никем уже не мог быть направлен на истинный путь, так как его ум сопротивлялся восприятию чужого объяснения. И в этом замечательном случае перед нами снова выступает в самой жестокой форме ограниченность человеческих способностей даже у наших величайших представителей, к которым Фарадей, несомненно, принадлежит“.

Перейдем теперь к рассмотрению эволюции воззрений Фарадея на природу электромагнитных сил. В то время как в вопросе об единстве сил природы Фарадей являлся только одним из лучших выразителей господствовавших идей своего времени, в вопросе о природе электромагнитных сил он явился смелым новатором. Блестящие экспериментальные открытия Фарадея немедленно находили всеобщее признание; теоретические же его воззрения по упомянутому

вопросу, служившие ему надежной путеводной нитью в этих открытиях, остались в сущности непонятыми современниками; к ним относились как к странным туманным спекуляциям, порою почти презрительно, как к чудачествам человека, не смогшего овладеть истинной теорией действия на расстоянии*. Понадобилась творческая работа родственного гения Максвелла, облекшего идеи Фарадея в точную математическую форму, чтобы сделать содержание этих идей доступным большому кругу ученых.

В начале XIX в. закон всемирного тяготения Ньютона рассматривался как образец для всех законов сил. Законы Кулона имели ту же форму. И не случайно Ампер тотчас же после открытия механического взаимодействия токов облек законы этого взаимодействия в классическую форму законов действия на расстоянии, обратно пропорционального квадрату этого расстояния и направленного по прямой, соединяющей взаимодействующие тела. Правда, при этом Амперу в отличие от классического образца пришлось принять за взаимодействующие элементы не точки, а отрезки линий (элементы тока). А сколько труда и остроумия потратили впоследствии Франц Нейман, Вебер и другие для того, чтобы и открытый Фарадеем закон индукции токов облечь в ту же форму закона дального действия!

Фарадею же сама гипотеза действия на расстоянии представлялась непонятной и неудовлетворительной. Аналитическому уму Ампера или Вебера доставляло удовлетворение сведение законов электромагнетизма к классическим формам элементарных взаимодействий; синтетическому же уму Фарадея, мыслившему наглядными геометрическими образами, всегда чуждавшемуся математического

* Вот, например, цитата из письма такого крупного ученого, как Эйри (Airy), датированного 1855 годом (цитировано по книге Велсе Jones'a, т. II, стр. 353): „Я заявляю, что я с трудом могу себе представить, чтобы кто-нибудь, кто практически и количественно знает совпадение наблюдений и вычислений, основанных на законе действия на расстоянии, мог бы хотя бы одно мгновение колебаться в выборе между этим простым и точным действием, с одной стороны, и чем-то столь неясным и неопределенным, как линии сил — с другой стороны“.

анализа, это сведение помимо всех принципиальных соображений не могло не представляться искусственным. Существенные свойства явлений, как они даются нам в опыте, естественнее и непосредственнее могут быть описаны с помощью понятия магнитных силовых линий, „под которыми я понимаю линии магнитных сил, . . . как они могут быть очерчены железными опилками, или линии, к которым очень маленькая магнитная стрелка становится в касательное положение“ *. И Фарадей в первой же работе об индукции токов формулирует законы этой индукции с помощью представления о пересечении проводником этих магнитных линий. Но раз пересечение линий в среде, скажем между полюсами магнита, возбуждает токи, то не значит ли это что магнитные линии в среде не только умственный образ, но имеют и реальное существование?

В статье Фарадея 1833 г. есть известное место, где электрический ток определяется как „ось действия (power), обладающая противоположными силами, точно равными по величине, но противоположными по направлению“ **. Через 19 лет мы встречаем следующее пояснение: смысл этого определения „совершенно точен и означает, что силы противоположны не потому, что они имеют противоположные направления, а что они противоположны по своей природе; поверните одну из сил [на 180°], и она от этого не станет подобной первой“ (№ 3265). Этот пример может служить иллюстрацией того, насколько иногда действительно трудно понять мысль Фарадея, и в речи, посвященной его памяти, Гельмгольц вспоминает о том, как часто он сидел, безнадежно пытаясь отыскать смысл подобных утверждений Фарадея.

Для нас же сейчас существеннее всего, что определение тока как оси действия совершенно соответствует позднейшим воззрениям Фарадея на природу сил. Сила не действует непосредственно между двумя удаленными точками; во всяком действии силы принимает участие все промежу-

* „Exp. Res.“, № 114, 1831 г.

** „Exp. Res.“, № 517.

точное пространство между этими точками. Ось действия есть в сущности то же, что впоследствии обозначается термином силовая линия *.

В упомянутой статье 1833 г. Фарадей критикует теории Гротгуса, Дэви и Де-ла-Рива, согласно которым вещества, выделяющиеся при электролизе на электродах, притягиваются электродами из раствора силами, обратно пропорциональными квадрату расстояния от электродов. Ибо, говорит Фарадей, согласно этому утверждению интенсивность электролитического разложения и сила тока должны были бы убывать при удалении от электродов, что, однако, противоречит результатам специально поставленной им серии опытов **.

Отрицая, таким образом, определяющую роль электродов, Фарадей приходит к заключению, что ток в электролите обуславливается не внешними силами притяжения электродов, а внутренними силами взаимодействия смежных частиц электролита, причем при наличии тока силы обычного химического средства ослабляются в одном и усиливаются в противоположном направлении; поэтому составные части молекул переходят от молекулы к молекуле, пока не достигнут электрода (№ 518—519, 524).

Таким образом представление о силовых линиях и о роли взаимодействия смежных частиц среды с полной ясностью выражено уже в первых мемуарах серии „Experimental Researches“.

Плодотворность этих представлений разительным образом подтвердилась в 1837 г. открытием поляризации диэлектриков, диэлектрической постоянной, зависимости емкости конденсатора от промежуточной среды и т. д. Как и большинство открытий Фарадея, эти открытия были далеко не

* Ср. Rosenberger, т. II, стр. 284.

** Наиболее убедительный из этих опытов почему-то реже всего упоминается в литературе. Фарадей показал, что в случае электролита постоянного сечения, находящегося между двумя плоскими параллельными электродами того же сечения, падение потенциала на единицу длины (мы пользуемся теперешней терминологией) не зависит от расстояния от электродов („Exp. Res.“, № 502).

случайны, а явились результатом упорных поисков в вполне определенном направлении, и сам Фарадей в первых параграфах мемуара 1837 г. устанавливает связь этих открытий со взглядами, выработанными им на природу тока. Электролиты в твердом состоянии (например лед), как открыл Фарадей в 1833 г., не проводят тока, но не препятствуют электростатическому взаимодействию (по терминологии Фарадея — индукции) разделенных ими тел. Следовательно, индукция является первичной стадией, а электролитическое разложение (после плавления электролита) — вторичной. И поскольку ток в электролите сводится к взаимодействию смежных частиц, постольку „я начал подозревать, что и обычная индукция во всех случаях является действием смежных частиц и что электрическое действие на расстоянии (т. е. обычное индуктивное действие) всегда происходит только через посредство промежуточного вещества“ (№ 1164).

В примечании к этому параграфу Фарадей замечает, что термин „смежный“ „не совсем точен, поскольку частицы не соприкасаются друг с другом . . . Под смежными частицами я понимаю ближайшие друг к другу частицы“. А несколько дальше он подробнее рассматривает вопрос о передаче сил через абсолютный вакуум. „Допустим, что положительно заряженная частица может находиться в центре пустоты диаметром в 1 дюйм. Согласно моим теперешним взглядам ничто не препятствует тому, чтобы эта частица действовала на расстоянии в полдюйма на все частицы, образующие внутреннюю поверхность граничной сферы, с силами, согласующимися с известным законом квадратов расстояния. Но предположим, что эта сфера в 1 дюйм была бы заполнена изолирующим веществом; тогда согласно моим представлениям электризованная частица не действовала бы непосредственно на отдаленные частицы, а лишь на непосредственно прилегающие к ней (those in immediate association with it), затрачивая всю свою силу на их поляризацию“ *. Дальнейшие пояснения Фарадея могут быть вкратце пере-

* „Exp. Res.“, № 1616.

даны так: все силовые линии, исходящие из центральной электризованной частицы, заканчиваются на смежных частицах, которые при этом поляризуются, так что из обращенных наружу участков их в свою очередь исходят силовые линии, заканчивающиеся на частицах следующего слоя, и т. д. В результате удаленные на 1 дюйм частицы, подвергавшиеся в случае вакуума прямому действию центральной частицы, подвергаются непрямому действию той же величины и направления, передаваемому промежуточными частицами среды.

Таким образом теория Фарадея, по крайней мере в рассматриваемой ее стадии, являлась не последовательной теорией близкодействия, а скорее теорией „ограниченного дальнего действия“ между смежными частицами. Однако в дальнейшем представление о силовых линиях, пронизывающих вакуум, приобретало все большую определенность и осязательность. Уже в упомянутом мемуаре 1837 г. содержится замечательное рассуждение о наличии бокового давления между смежными силовыми линиями. Даже сейчас, в свете столетнего развития и популяризации идей Фарадея, крайне трудно понять ход мысли Фарадея, который, изложив опытные доказательства искривления линий сил при внесении в поле проводников, приходит к заключению: „Ничто не может лучше этого доказать как искривление линий или путей индуктивного действия . . . , так и, так сказать, боковое давление этих линий друг на друга“ *. Все значение этого трудно понятного хода мыслей становится ясным только в свете последующих изысканий Максвелла, который путем сложного математического анализа доказал, как известно, что система механических сил в электрическом поле может быть полностью сведена к натяжениям вдоль силовых линий и перпендикулярным к ним давлениям. Совершенно исключительная глубина интуиции Фарадея повидимому позволила ему непосредственно усмотреть эти соотношения в результатах первой же серии опытов!

Доказав влияние среды на электрические действия, про-

* „Exp. Res.“, № 1224, см. также № 1297 и 1304.

верив на этом правильность и плодотворность своих представлений, Фарадей уже в следующем 1838 г. производит ряд опытов для того, чтобы выяснить, не оказывает ли среда влияния и на магнитные действия и не передается ли магнетизм на расстояние действием промежуточных частиц*.

Первые опыты дают отрицательные результаты, и серия неудач долго еще преследует Фарадея. С этим временем совпал второй весьма острый период упадка деятельности и полного истощения, вызванного предельным напряжением творчества. За шесть лет 1839—1844 гг. Фарадей опубликовал только 4 мемуара — столько же, сколько за один 1838 г., и притом сравнительно второстепенного значения. В течение четырех лет за исключением одной серии он не производил никаких экспериментов по электричеству. Ему пришлось лечиться отдыхом в Швейцарии и на море, пришлось совершенно сознательно жестко сократить или совсем прекратить лекции, заседания, консультации, отклонять приглашения в общество, на обеды и т. д. В феврале 1843 г. он пишет Маттеучи (Matteucci): „Вчера я получил ваше письмо и тронут вашим дружеским проявлением интереса к человеку, который чувствует, что его цель на этом свете уже позади . . . Здоровье и настроение у меня, правда, хороши, но память исчезла“. Полтора года спустя он пишет в другом письме: „В моих мыслях бродит много прекрасных открытий, которые я раньше надеялся и теперь еще желаю осуществить; но когда я обращаюсь к работе, я теряю всякую надежду, ибо вижу, как медленно она подвигается вперед за недостатком времени и сил; я чувствую, что эта работа, быть может, осуществляет последнюю из всех тех мыслей, которые я мог бы практически осуществить. Я не говорю, что ум отказывается работать; я говорю только, что психофизические функции, координирующие работу ума и тела, слабеют, в особенности память. Отсюда — значительное сокращение количества производимой мною работы. В силу этого я должен был значительно изменить характер своей жизни и работы: я прекратил сношения с товарищами по специаль-

* „Exp. Res.“, № 1662, 1710.

ности, ограничил число своих исследований, которые, быть может, привели бы к открытиям. Я часто должен обращаться к своему домашнему врачу с жалобами на головную боль, головокружение и т. д., и он часто приказывает мне бросить беспокойные мысли и умственную работу и отправляться на море, чтобы ничего не делать" *.

Только в 1845 г., в возрасте 54 лет, Фарадей оправился настолько, что вновь мог приступить к работе. Этот 1845 г. сразу приносит два фундаментальных открытия: открытие вращения плоскости поляризации света магнитным полем, о котором мы уже упоминали, и открытие всеобщности магнитных свойств вещества — явления диамагнетизма. Характерно заглавие первого мемуара — „О намагничивании света и об освещении магнитных силовых линий“. Силовые линии, о которых Фарадей в 1837 г. определенно говорил: „Эти линии воображаемы“ (№ 1304), за это время приобрели в его представлении гораздо большую конкретность. В примечании к упомянутому мемуару Фарадей замечает, что его заглавие было неправильно истолковано некоторыми в смысле желания Фарадея сказать, что он заставил силовые линии светиться. „Это не входило в мое намерение. Я хотел выразить, что линия магнитной силы была освещена так, как земля освещается солнцем или как сотканная пауком паутина освещается лампой астронома. Пользуясь лучом света, . . . мы можем, по оптическому действию луча на глаз, видеть путь магнитных линий так же, как мы можем видеть путь [положение] стеклянной нити или любого другого прозрачного вещества, становящегося видимым при свете“ (№ 2146). И умственному взору Фарадея эти линии действительно представлялись сложной паутиной, связующей отдельные частицы вещества в единую всеобъемлющую систему.

Последовавшее в том же году открытие диамагнетизма решило поставленную в 1838 г. задачу — доказать влияние среды на магнитные явления. Впрочем, Фарадей считал, что в вопросе о передаче сил на расстояние частицами проме-

* Цитировано по Оствальду, стр. 116.

жуточной среды открытые и исследованные им явления диамагнетизма не обладают той степенью доказательности в отношении магнитных сил, какой, по его мнению, обладают явления в электролитах и диэлектриках в отношении сил электрических.

Мы лишены возможности с той же подробностью следить за дальнейшим развитием идей Фарадея, так же как лишены возможности касаться его исследований в области электрических разрядов в газах („фарадеево пространство“), электризации и сжижении паров и газов, земного магнетизма, магнитокристаллических эффектов и т. д. Коснемся в заключение лишь взглядов Фарадея на вопрос о физической реальности силовых линий.

Созданное Фарадеем в противовес господствовавшим теориям дального действия представление о силовых линиях полностью оправдало себя на деле: оно оказалось верным руководителем Фарадея на пути многочисленных блестящих открытий; с помощью тех же представлений ему удалось сформулировать все известные и вновь открытые законы электромагнетизма. Различные диэлектрики, так же как и различные магнетики, отличаются своей проницаемостью для силовых линий. Если поместить более проницаемое тело в менее проницаемой среде, большее число силовых линий изберет путь через это тело, что в свою очередь обусловит появление тяги, стремящейся переместить тело в область большей густоты силовых линий. На поверхности уединенной заряженной сферы концы силовых линий распределены равномерно, так что силы тяги со стороны этих линий взаимно компенсируются. Если же к этой сфере приблизить другое заряженное тело, то силовые линии перераспределятся определенным образом в пространстве, а концы их—на поверхности сферы, и результирующая сил тяги этих линий, испытываемых поверхностью сферы, становится отличной от нуля. При больших размерах заряженных тел по сравнению с их расстоянием результирующая эта оказывается обратно пропорциональной квадрату расстояния.

На фоне этих успехов представляется совершенно есте-

ственным, что Фарадей приходит к такому заключению: „Я могу только сказать, что ни в каком участке пространства, будь оно (пользуясь обычной фразеологией) лишено материи или заполнено ею, я не могу себе представить ничего кроме сил и линий, вдоль которых они действуют“. Эта фраза взята из статьи „Thoughts on Ray-Vibrations“ в „Phil. Mag.“ 1846 г., которую Фарадей не включил в серию „Экспериментальных исследований“ благодаря ее „спекулятивному характеру“. В ней он высказывает предположение, что элементарнейшие частицы вещества могут представлять собою, быть может, только силовое поле — электрическое, магнитное и гравитационное, — окружающее точечный центр. Согласно этому взгляду, совпадающему по существу со взглядами Босковича, атом не обладает определенным размером, а скорее должен считаться вполне проницаемым и распространяющимся по всему пространству, и молекулы химических соединений должны состоять не из группы соприкасающихся атомов, а из „взаимно проникающих друг в друга сфер действия, центры которых могут даже совпадать“ *. Наконец, свет и лучистое тепло могут представлять собою поперечные колебания, распространяющиеся вдоль силовых линий, заполняющих все пространство. И Фарадей предлагает, как мы уже упоминали, устранить, таким образом, понятие эфира (dismiss the aether) или, вернее, заменить его совокупностью силовых линий, связующих между собою центры сил.

Впрочем, Фарадей всегда в высшей степени скрупулезно отличал гипотезы от фактов и всегда настойчиво подчеркивал, что возможность правильного и точного описания электромагнитных явлений с помощью представления о силовых линиях еще вовсе не решает вопроса об истинной природе этих явлений. Склоняясь естественно ко взгляду, что силовые линии обладают физической реальностью, Фарадей в конце 40-х и начале 50-х годов посвящает этому вопросу несколько статей, всякий раз оговаривая при этом, что статьи эти носят „в высшей степени гипотетический и спекулятивный характер“.

* Цитировано по Bence Jones, l. c., т. II, стр. 178.

Три главных аргумента приводит Фарадей в защиту физической реальности электрических и магнитных силовых линий, тогда как тяготение он считает действующим на расстоянии:

1. Полярность электричества и магнетизма в отличие от действующего на расстоянии тяготения, которое полярностью не обладает (ибо не существует отрицательных масс). В случае полярных сил „одна сила находит или возбуждает вблизи себя противоположную силу и поэтому не может распространяться вдаль“ *. И далее: „В отличие от тяготения [электрическая] сила ограничена [по величине]. Данная электрочастица не может действовать на вторую, третью и четвертую частицы так же, как и на первую; чтобы действовать на последующие, ее сила должна быть в соответствующей части отнята от предшествующих частиц“ (№ 3248). Смысл этого рассуждения (ср. стр. 22) сводится, повидимому, к утверждению, что от каждого заряда исходит вполне определенное число силовых линий, концы которых лишь перераспределяются между смежными зарядами противоположного знака. Нам, однако, трудно усмотреть в этом отношении какое-либо различие сил электромагнитных от тяготения.

2. В отличие от тяготения электрические и магнитные взаимодействия зависят от промежуточной среды.

3. Наконец, электрические и магнитные силовые линии искривлены, тогда как тяготение действует прямолинейно: „Я не могу представить себе искривленные линии сил вне условия физического существования [их] в промежуточном пространстве“ ** (№ 3258, см. также № 3254).

Ни один из этих аргументов не является для нас теперь решающим. Мы знаем, что в области статических и квазистационарных электромагнитных явлений, изучением которых в сущности только и ограничивался Фарадей, теория силовых линий, как в первоначальной, так и в современной своей форме (теория поля), и теория дальнего действия

* Ср. Whittaker, стр. 217.

** Цитировано по Rosenberger, стр. 296.

совершенно эквивалентны: каждая из них способна вполне правильно описать всю совокупность явлений, отличаясь только сосредоточением внимания, выдвиганием на первый план одной определенной группы их многообразных свойств. В частности, влияние среды объясняется современной электронной теорией способом, в сущности вполне соответствующим чистой кулоновой теории дальнего действия, причем она пользуется такими представлениями о поляризации диэлектриков и намагничивании магнетиков, которыми пользовался часто и сам Фарадей.

Единственным же решающим аргументом в пользу физической реальности поля является для нас конечность скорости распространения электромагнитных полей в сочетании с законом сохранения энергии. Ибо из этих двух законов следует, что электромагнитное поле и в отсутствии весомой материи может являться носителем электромагнитной энергии. Сам Фарадей вполне отчетливо сознавал решающее значение элемента времени в вопросе о физической реальности силовых линий, но не располагал, конечно, соответствующими опытными данными.

Однако и в области стационарных электромагнитных явлений представления Фарадея оказались весьма плодотворными, ибо, отличаясь чрезвычайной наглядностью, сосредоточивали внимание как раз на тех сторонах явлений, позволяли охватить одним взглядом как раз те соотношения, которые при пользовании теорией дальнего действия оставались в тени и требовали значительно более сложного анализа.

Современная электронная теория представляет собой в сущности своеобразный синтез воззрений Фарадея и теорий дальнего действия. Теориям дальнего действия соответствуют такие черты современных воззрений, как: кардинальная роль, отводимая электрическим зарядам, представление об их субстанциальности, современная электронная теория сложных явлений, происходящих в проводниках, диэлектриках и магнетиках, наконец сведение электромагнитных явлений к „запаздывающему дальнему действию“ зарядов (запаздывающие потенциалы). С другой стороны, воз-

зрениям Фарадея соответствует признание физической реальности электромагнитного поля как носителя электромагнитной энергии и самая идея близкодействия, согласно которой все явления в данной пространственно-временной точке полностью определяются состояниями смежных с нею пространственно-временных точек *.

Конечно, самая идея близкодействия испытала за истекшее столетие существенную эволюцию. Представление о силовых линиях всегда сохранило свое значение как позволяющее чрезвычайно просто и наглядно разобраться в целой области довольно сложных явлений. Однако мы знаем теперь, что область его приложимости ограничена, что в других областях электромагнитных явлений и прежде всего в быстро-переменных полях оно только затемняет сущность дела или вовсе отказывается служить и ведет к противоречиям. Но именно из представления о силовых линиях выкристаллизовалось понятие поля, имеющее столь фундаментальное значение для всей современной физики.

Современное понятие поля вполне соответствует сущности воззрений Фарадея. И совершенно прав историк физики Розенбергер в своем утверждении, что Фарадей „в конце концов пришел к совсем радикальному представлению о материальности непрерывного пространства“ **. При этом дело идет вовсе не о механистических теориях эфира, сторонником которых Фарадей никогда не был. Полная несостоятельность столь характерных для физики XIX века стремлений свести электромагнитные явления к механике гипотетической среды — эфира с совершенной определенностью — выяснилась еще до того, как теория относительности устранила всякую возможность возврата

* Во всей статье мы последовательно пользуемся исключительно классическими, т. е. доквантовыми представлениями. Известно, что как раз на проблеме поля (электродинамика) в настоящее время сосредоточено внимание квантовой теории и что решение этой проблемы, возможное лишь на основе физического, а не формального только синтеза квантовой теории и теории относительности, несомненно будет сопряжено с коренной перестройкой ряда основных наших физических воззрений.

** Rosenberger, I. c., т. II, стр. 305.

к этим стремлениям. Столь частое злополучное смешение вопроса о материальности пространства, или эфира, с механистическими теориями эфира основано в значительной мере на смешении двух смыслов, в которых употребляется слово „материя“.

Физик обычно употребляет это слово в узком смысле, соответствующем в основном понятию весомых тел и понятию субстанции. В этом смысле слова свет, например (хотя он и обладает в сущности весом), или электромагнитное поле вообще не являются материей *. В более же широком, философском смысле слова материей является всякая объективная физическая реальность, существующая во времени и пространстве. И в этом смысле не только свет, но и эфир—носитель физических свойств пространства, несомненно, является материальным. Ибо физическое пространство во все не представляет собою лишь „пустой“ протяженности, в которую как бы вложены материальные тела. Нет, пространство обладает сложными физическими свойствами—оно является носителем полей электромагнитных и гравитационных, носителем энергии. Состояния и свойства пространства, до свойств геометрических включительно (общая теория относительности!), определяются расположенными в нем телами и в свою очередь воздействуют на эти тела **

И это представление о пространстве как о живой физической реальности, находящейся в непрерывном взаимодействии со всеми расположенными в нем телами, одним из главных своих истоков восходит, несомненно, к Михаилу Фарадею.

* С современной точки зрения отличительной характеристикой материи в этом узком смысле слова является не вес или масса, которыми обладают все формы энергии, а 1) наличие электрического заряда (электрон, протон, атом, молекула и т. д.) и 2) наличие отличной от нуля массы покоя (Ruhmasse) в смысле теории относительности.

** Однако величайшей ошибкой является представление об эфире, как о непрерывной жидкости или о совокупности мельчайших атомов, как и вообще всякое представление о пространственных перемещениях „элементов“ эфира.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Faraday, Experimental Researches in Electricity. 3 тома. London, 1839 — 1855. Есть немецкий перевод в серии „Ostwald's Klassiker“.

2. M. Faraday, Experimental Researches in Chemistry and Physics. London, 1859.

3. Bence Jones, Life and letters of Faraday. 2 тома. London, 1870. Наиболее обстоятельная биография Фарадея, содержащая помимо переписки Фарадея также выдержки из его дневников, записных книжек, речей и лекций.

4. E. T. Whittaker, History of the theories of aether and electricity. Dublin, 1910. Прекрасная книга, 6-я глава которой посвящена воззрениям Фарадея.

5. F. Rosenberger, Geschichte der Physik. 3 тома. Braunschweig, 1887 — 1890 (есть русский перевод). Одна из лучших историй физики. Фарадею непосредственно посвящено около 40 стр. в III томе.

6. В. Оствальд, Великие люди. Перевод Кваши. СПб, 1910. Четвертая лекция содержит очень интересный анализ психофизиологических особенностей дарования и личности Фарадея.

7. Н. Н. Helmholtz, Die neuere Entwicklung von Faraday's Ideen über Elektrizität. Речь, произнесенная в 1881 г. и перепечатанная в Naturwiss., 19, 793, 1931. Особенное внимание уделено теории электролитов и гальванической батареи.

Кроме того в связи с празднованием юбилея Фарадея в ряде журналов (Nature (анг.), Reviews of Modern Physics и т. д.) появилось большое количество посвященных ему статей.

