

Если принять предположение Фехнера, то действительно можно дать качественное объяснение явлению электромагнитной индукции. Пусть, например, по проводнику I течет ток, т. е. вдоль него в противоположных направлениях движутся положительные и отрицательные заряды. Если теперь вблизи проводника I поместить проводник II без тока, то на содержащиеся в нем в покое положительные и отрицательные заряды хотя и действуют силы со стороны движущихся в первом проводнике зарядов, однако равнодействующая этих сил на каждый из зарядов равна нулю и никакого тока во втором проводнике не возникает. Иначе обстоит дело, если проводник II заставить двигаться, например приближаться к первому. Тогда равновесие сил, действующих на его заряды, нарушится, они придут в движение и по проводнику II потечет ток (в данном случае, как легко видеть, в противоположную сторону).

Идеи Фехнера были положены в основу теории электромагнитных явлений, развитой в 1846 г. В. Вебером (1804—1891). Он также исходит из представления, что электрический ток представляет собой движение положительных и отрицательных электрических зарядов в противоположные стороны. Между зарядами действуют силы притяжения и отталкивания, зависящие от расстояния, а также от их относительной скорости и ускорений.

Для того чтобы установить выражение для силы, действующей между электрическими зарядами, Вебер обращается к закону Ампера. Учитывая, что сила тока пропорциональна величине движущихся зарядов и их скорости, а также принимая во внимание закон Кулона. Вебер определяет, что сила, действующая между двумя электрическими зарядами e и e' , такова:

$$F = \frac{ee'}{r^2} \left[1 - a^2 \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + 2a^2 r \left(\frac{d^2r}{dt^2} \right) \right].$$

Здесь a — постоянная, r — расстояние между зарядами, а сила направлена по прямой, соединяющей заряды.

Закон Вебера имел общий характер. Для случая неподвижных зарядов из этого закона непосредственно следовал закон Кулона. Из закона Вебера можно вывести закон Ампера. Наконец, этот закон можно было использовать для количественной теории электромагнитной индукции, получив те же результаты, что и Нейман. Таким образом, теория Вебера объединила основные известные тогда законы электрических и магнитных явлений. Она являлась в известном смысле вершиной в развитии домаквелловской электродинамики (электродинамики, основанной на принципе дальнего действия).

§ 42. МАЙКЛ ФАРАДЕЙ

В первой половине XIX в., как уже говорилось, взгляды на электрические и магнитные явления основывались на представлении о дальнем действии. Такое положение имело место до появления работ Максвелла, точнее, до их признания. Однако уже в первой по-

ловине XIX в., в период, когда теория дальнего действия не испытывала трудностей, Фарадей вопреки общему мнению выступил против нее. В основе его оригинальных взглядов лежало представление о близкодействии.

Майкл Фарадей родился в 1791 г. в предместье Лондона в семье кузнеца. Тринадцати лет, получив лишь начальное образование, он был отдан в обучение к книготорговцу и переплетчику, у которого пробыл до 1812 г. Работая в книжной лавке, Фарадей пристрастился к чтению. Он познакомился с сочинениями видных ученых и философов, как современников, так и представителей XVIII в. Особенный интерес у него вызывают книги по физике и химии. Чтение научных и философских книг пробудило у Фарадея стремление заняться наукой.

Это желание укрепилось после посещения публичных лекций Дэви. В 1812 г. по просьбе Фарадея Дэви взял его к себе сначала переписчиком, а затем лаборантом. В 1815 г. Фарадей получил место ассистента. С 1816 г. Фарадей занимается самостоятельными научными исследованиями. Первоначально его интересует химия, однако, узнав об открытии Эрстеда, он обращает главное внимание на исследование электрических и магнитных явлений. В области электрических и магнитных явлений Фарадею принадлежит ряд важнейших открытий, результаты которых он публиковал в трудах «Philosophical Transaction» в течение многих лет.

Взгляды Фарадея на материю, движение, на метод исследования в области физики, на эту науку вообще и ее задачи были оригинальны. Это определялось необычностью его пути в науку. Выходец из простой рабочей среды, он не обучался в колледже и самостоятельно дошел до вершин современной ему науки. Фарадей сам выбирал, каким идеям нужно следовать, а какие — отбросить (в этом отношении биография Фарадея напоминает биографию М. В. Ломоносова). Таким образом, не случайно, что научные взгляды Фарадея сильно отличались от воззрений его современников.

Как естествоиспытатель, Фарадей был материалистом. Правда, он не был атеистом и даже состоял членом религиозного общества, однако не признавал за религией право вмешиваться в дела науки. Он руководствовался идеей единства природы и всеобщей связи ее вещей и явлений. Конкретным воплощением этой идеи было его мнение о единстве и превращаемости «сил природы». Так,



Майкл Фарадей

еще в 1832 г. (до работ Майера, Джоуля и Гельмгольца, установивших закон сохранения и превращения энергии) Фарадей писал:

«Рассмотрим же теперь в несколько более общем виде соотношение между всеми этими силами. Мы не можем сказать, что одни из них являются причиной других; мы должны полагать, что все они находятся во взаимной между собой зависимости и имеют общую природу. Эта зависимость сказывается в возникновении одной из других или превращении одной в другие»¹⁾.

Фарадей придерживался оригинальных взглядов на природу материи. Он полагал, что материя активна и немыслима без движения. Фарадей возражал против обычного взгляда на строение вещества, согласно которому атомы — это малые тельца, разделенные пустым пространством с действующими в нем центральными дальнедействующими силами, которыми наделены атомы. Материя, по Фарадею, занимает все пространство. Ее основными характеристиками являются силы притяжения и отталкивания. Под силой Фарадей подразумевает характеристику активности тела или материи вообще, так что его понятие силы скорее ближе к понятию движения, чем собственно силы (не случайно, что Фарадей наряду со словом «force» употреблял часто и слово «power», что значит сила, способность, мощь, энергия). Атомы, по Фарадею, являются центрами этих сил притяжения и отталкивания. Они пронизаемы и простираются на бесконечно большое пространство. Излагая свой взгляд на материю, Фарадей писал:

«...материя присутствует везде, и нет промежуточного пространства, не занятого ею. В газах атомы касаются друг друга точно так же, как и в твердых телах. Отсюда следует, что атомы воды касаются друг друга, в каком бы они виде ни находились: в виде льда, воды или пара; пустого промежуточного пространства вовсе нет. Без сомнения, расстояния между центрами сил меняются, но то, что является сущностью материи одного атома, касается материи его соседей...»²⁾.

Общие взгляды Фарадея на материю нашли конкретное выражение в его понимании физической природы электромагнитных явлений, основанном на представлении о поле.

В теоретико-познавательных вопросах Фарадей придерживался передовых для своего времени взглядов. Будучи замечательным экспериментатором, он большое место уделял теории, в частности научной гипотезе. Научная гипотеза играла важную роль в исследованиях Фарадея, являлась руководством к дальнейшей работе. При этом гипотезы Фарадея не характеризуются абсолютной законченностью. Тиндаль пишет, что Фарадей «постоянно пользуется ими, имея в виду приобрести цель для новых опытов, и постоянно покидает их, как архитектор, разбирающий свои леса, по окончании постройки»³⁾. Фарадей не пытался установить полностью за-

¹⁾ Оствальд В. Великие люди. СПб., 1910, с. 1281.

²⁾ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. II. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 400—401.

³⁾ Фарадей и его открытия.— Воспоминания Джона Тиндаля. СПб., 1871, с. 110.

конечные модели тех или иных физических явлений. Его физические представления отличались гибкостью, способностью к дальнейшему развитию и уточнению. Таковой была, например, концепция Фарадея о линиях сил и т. п.

Рассмотрим научные исследования Фарадея. Не имея возможности останавливаться на всех его научных трудах, ограничимся рассмотрением исследований по электричеству и магнетизму (да и то только с точки зрения формирования концепции электромагнитного поля и поля вообще). Как уже отмечалось выше, руководствуясь идеей о взаимопревращаемости сил, Фарадей в течение длительного периода работал над проблемой «превращения магнетизма в электричество», в результате чего он и пришел к открытию явления электромагнитной индукции. Это явление привлекло внимание ученых, некоторые из них (см. выше) пытались дать количественную теорию этого явления. Все они решали эту задачу с старых позиций теории дальнего действия. В связи с этим им пришлось ввести силы, хотя и центральные, но зависящие не только от расстояния, но и от скорости, и ускорения. Иначе к теории электромагнитной индукции подошел Фарадей. Уже в своих первых сообщениях Фарадей пытается набросать теорию открытого им явления, основываясь на принципе близкого действия. Он высказывает предположение об особом состоянии, в котором находится материя вокруг магнита или проводника с током, называя это состояние «электротоническим», т. е. электровозбужденным. Это состояние обнаруживается в проводнике только в случае его изменения, в последнем возникают электрические индукционные токи. Если, например, проводник приближать или удалять от магнита, то при этом «электротоническое» состояние усиливается или ослабляется, «а такое изменение его сопровождается соответствующим появлением электричества»¹⁾. В случае же непроводников это состояние и его изменение не проявляются. Ничего более конкретного об этом состоянии Фарадей еще сказать не может. Он пишет:

«Лишь после того как будут установлены законы, управляющие этим новым состоянием, мы будем иметь возможность предсказывать, каково истинное состояние данного вещества и каковы получаемые с его помощью электрические явления»²⁾.

Идею об «электротоническом» состоянии в дальнейшем разрабатывает Максвелл. Он придаст ей более конкретное физическое содержание и математическое оформление, используя ее при выводе уравнений электромагнитного поля. Сам же Фарадей в последующих работах некоторое время не упоминает об «электротоническом» состоянии, а разрабатывает более наглядную идею о силовых линиях. Однако в более позднее время он вновь возвращается к представлению об «электротоническом» состоянии и связывает его с концепцией силовых линий. Так, в одной из работ он отмечает:

¹⁾ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. I, М., с. 35.

²⁾ Там же, с. 37.

«Вновь и вновь возникает во мне мысль об электротоническом состоянии... такое состояние совпадало бы и могло бы быть отождествлено с тем, чем представлялись бы тогда физические линии магнитной силы»¹⁾.

Представление о силовых линиях электрического и магнитного полей как о чем-то реальном складывается у Фарадея постепенно. Сначала он говорит о магнитных силовых линиях лишь как об удобном средстве для наглядного представления распределения магнитных сил, действующих в пространстве вокруг магнита или тока. Фарадей пишет:

«Под магнитными кривыми я понимаю линии магнитных сил, хотя и искаженных соседством полюсов; эти линии вырисовываются железными опилками; к ним касательно располагались бы весьма небольшие магнитные стрелочки»²⁾.

Еще некоторое время Фарадей продолжает рассматривать магнитные силовые линии как вспомогательное понятие. Наряду с этим он начинает использовать и понятия электрических силовых линий или линий индукции, которые также пока рассматривает как воображаемые.

Однако по мере продвижения вперед в изучении электрических и магнитных явлений, делая новые открытия, которые касались главным образом роли среды в этих явлениях, у Фарадея постепенно растет убеждение в их физической реальности, как линий, действительно представляющих структуру электрического и магнитного полей.

Рассмотрим теперь исследования Фарадея, в процессе которых развивались его взгляды на природу электрических и магнитных явлений и, в частности, концепцию силовых линий. Определенное значение на развитие взглядов Фарадея на электрические и магнитные явления оказали электрохимические исследования, которые привели к открытию законов электролиза, носящих его имя. Распространенная тогда теория электролиза была основана на представлении о действии на расстоянии полюсов на молекулы электролита. Фарадей же полагает, что каждая молекула электролита поляризуется под действием только соседней молекулы и электрическое действие («сила») передается непрерывно от одного электрода к другому через каждую молекулу. В электролите, считает Фарадей, при прохождении электрического тока вдоль его линий создается определенное полярное состояние частиц (они поляризуются). Возникает ось силы, действующей через весь электролит, непрерывно от частицы к частице.

Дальнейшее развитие взглядов Фарадея на природу электричества и магнетизма связано с исследованием электростатической индукции. Фарадея интересовало прежде всего влияние среды на эти явления. Он исследовал распределение электричества между

¹⁾ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. III. М., Изд-во АН СССР, 1949, с. 584.

²⁾ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. I, с. 55.

двумя одинаковыми сферическими конденсаторами, пространство между пластинками которых было заполнено различными диэлектриками, и установил их различную емкость, что свидетельствовало о влиянии среды на электрические явления. Фарадей исследовал диэлектрическую постоянную различных диэлектриков, называя ее факт невозможности получения заряда только одного знака, Фарадей проделал также следующий опыт. Три одинаковые металлические пластинки помещаются на одинаковых расстояниях параллельно друг другу. Средняя пластинка заряжается, например, положительно, а крайние заземляются и соединяются с тонкими металлическими листочками, помещенными в банке. Очевидно, что листочки висят параллельно, не отталкиваясь и не притягиваясь. Если убрать заземление, то и тогда листочки останутся в прежнем положении. Иная картина будет наблюдаться, если между любыми двумя металлическими пластинками поместить диэлектрик.

Используя экспериментальные результаты, свидетельствующие о зависимости индукции от среды, а также опираясь на известный факт невозможности получения заряда только одного знака, Фарадей строит теорию электростатической индукции. Согласно этой теории, индукция есть особое состояние среды, окружающей заряженное тело, такое, что в каждой частице среды имеет место разделение положительного и отрицательного электричеств. При этом поляризация в данной точке вызывает поляризацию соседней, так что состояние поляризации передается через среду последовательно от частицы к частице.

Индукции Фарадей придавал первостепенное значение в электрических явлениях. С помощью индукции, по Фарадею, вообще осуществляется электрическое взаимодействие зарядов. Само их появление связано с индукцией, с поляризацией среды. Когда среда поляризуется, то на ее границах появляются положительные и отрицательные заряды и обязательно в равных количествах. Уничтожение же зарядов — прежде всего уничтожение поляризации среды. С этой точки зрения заряд лейденской банки есть процесс поляризации частиц стекла, а разряд ее — возвращение их в неполяризованное состояние. Фарадей пишет:

«Явление индукции обладает наибольшей общностью в электрическом действии. Оно образует заряд во всех обычных, а вероятно и во всех вообще случаях; оно, по-видимому, является причиной каждого возбуждения и предшествует каждому току»¹⁾.

Явление индукции, по Фарадею, имеет место и в диэлектриках, и в проводниках, только в последних оно непрерывно нарушается вследствие проводимости. Это нарушение и есть электрический ток. В качестве поясняющего примера Фарадей рассматривает следующий опыт. В электролитическую ванну наливают воду, которую затем замораживают. К электродам подводят напряжение. Пока

¹⁾ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. I. с. 541.

лед не тает, он действует как диэлектрик и его частицы находятся в поляризованном состоянии. По мере того как лед превращается в воду, через ванну начинает протекать электрический ток. Но и в этом случае частицы воды находятся в том же поляризованном состоянии, только теперь это состояние непрерывно нарушается и непрерывно возобновляется.

С подобной точки зрения Фарадей рассматривал и различные случаи газового разряда. При прохождении электричества через газы сначала имеет место поляризация частиц. При увеличении напряжения наступает момент, когда частицы газа уже не могут существовать в возбужденном состоянии, не разрушаясь. Возникает ток, являющийся непрерывным нарушением и восстановлением поляризации этих частиц.

В теории индукции Фарадей развил новые взгляды на природу электричества, основанные на принципе близкодействия. Наряду с понятием магнитных силовых линий Фарадей использует теперь представление и об электрических силовых линиях. Точнее, он рассматривает «линии индуктивной силы», т. е., с современной точки зрения, линии электрического смещения. Он широко использует это представление при рассмотрении структуры электрического поля в различных случаях; говорит об их густоте, о том, что они стремятся отталкиваться, и т. п. Правда, и здесь он еще оговаривается, что не придает этим линиям непосредственного физического смысла и рассматривает их как воображаемые:

«Я пользуюсь термином *линия индуктивной силы* только в качестве временного условного способа выражения направления этой силы в случаях индукции»¹⁾.

Новые открытия Фарадея в области электричества и магнетизма относятся уже к 1845 г. Это открытие явления вращения плоскости поляризации света в магнитном поле (эффект Фарадея) и открытие диамагнетизма.

Как и открытие электромагнитной индукции, установление факта вращения плоскости поляризации в магнитном поле не было для Фарадея случайным. В первом случае Фарадей, руководствуясь идеей о взаимопревращаемости «сил» природы, ставил своей задачей превратить «магнетизм в электричество». Во втором случае он искал связь между электрическими и магнитными явлениями, с одной стороны, и оптическими — с другой. В начале работы, посвященной изложению открытия вращения плоскости поляризации в магнитном поле, он специально подчеркивал, что руководствовался идеей о взаимопревращаемости сил природы и о существовании между силами связей. Следует, однако, подчеркнуть, что не только идея о связи и взаимопревращаемости сил природы привела Фарадея к данному открытию. Фарадей уже давно высказал мысль о единой природе электрических, магнитных и световых явлений. Еще в 1832 г. Фарадей пишет письмо, которое в запечатанном виде

¹⁾ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. I, с. 511.

отдает на хранение в архив Королевского общества. Оно было обнаружено только в 1938 г. В письме «Новые воззрения, подлежащие хранению в запечатанном конверте в архивах Королевского общества» Фарадей высказывает, по существу, гипотезу об электромагнитной природе света. Он указывает, во-первых, что для распространения магнитного воздействия, которое передается от точки к точке, требуется время. Точно так же распространяется и электрическая индукция.

«Я полагаю, — писал Фарадей, — что распространение магнитных сил от магнитного полюса похоже на колебание взволнованной водной поверхности или же на звуковые колебания частиц воздуха, т. е. я намерен приложить теорию колебаний к магнитным явлениям, как это сделано по отношению к звуку, и является наиболее вероятным объяснением световых явлений.

По аналогии я считаю возможным применить теорию колебаний к распространению электрической индукции. Эти воззрения я хочу проверить экспериментально»¹⁾.

Далее Фарадей отмечает, что для проверки этой гипотезы может потребоваться много времени и что он написал это письмо, желая закрепить за собой приоритет.

Руководствуясь этими идеями, Фарадей пытался первоначально найти связь между электрическими и оптическими явлениями. Еще в 1834 г. он старался выяснить влияние электрического тока на оптические свойства электролита, пропуская через него поляризованный луч света. Однако он не обнаружил никакого эффекта. В 1845 г. он решает аналогичную задачу, исследуя теперь вопрос о связи оптических явлений с магнетизмом. Фарадей добивается положительного результата — открывает явление вращения плоскости поляризации в магнитном поле.

Почти одновременно Фарадей открывает диамагнетизм. Он экспериментально устанавливает, что ряд веществ, которые казались нейтральными в отношении магнитных свойств, обладают такими свойствами. В отличие от магнитных материалов они стремятся двигаться в направлении, противоположном направлению магнитных силовых линий, что напоминает отталкивание двух электрических зарядов разных знаков. Тела, обладающие обычными магнитными свойствами, Фарадей называет парамагнитными, вторые — диамагнитными.

Последние открытия укрепили веру Фарадея, что не только электрические, но и магнитные силы передаются в среде от точки к точке и от частицы к частице. Фарадей и раньше полагал, что магнитные силы, так же как и электрические, распространяются в веществе подобным образом. Однако он не мог привести достаточно веских доводов в пользу такого утверждения. Действительно, казалось, что вещество, находящееся между магнитами или проводниками с током, не участвует в передаче «магнитных сил». Правда, в 1838 г. Фарадей писал:

¹⁾ Изв. отд. технич. наук, 1938, № 5, с. 122—123.

«...представляется возможным, что магнитное действие может передаваться на расстояние при посредстве промежуточных частиц, наподобие того, как передаются на расстояние индуктивные силы статического электричества»¹⁾.

Однако убедительных доводов в подтверждение этого Фарадей не находит.

Теперь же Фарадей мог определенно утверждать, что магнитные силы, так же как и электрические, передаются от частицы к частице через вещество, так как всякое вещество подвержено воздействию магнитного поля. В частности, после открытия диамагнетизма Фарадей писал:

«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?»²⁾.

Последние два открытия явились толчком для дальнейшего развития взглядов Фарадея на природу электрических и магнитных явлений (а также и на их связь со световыми явлениями) и укрепили его веру в реальности силовых линий.

В 1846 г. в письме некоему Филлипу «О лучевых вибрациях» Фарадей излагает свои взгляды на природу материи³⁾. Здесь он уже определенно говорит о реальности силовых линий. Материя, пишет он, состоит из ядер или центров, связанных между собой силами, и эти силы он мыслит как силовые линии. Материя, полагает он, состоит из весоных атомов и частиц эфира. Существует несколько типов линий сил: силовые линии тяготения, силовые линии индукции (электрические силовые линии), магнитные силовые линии и, возможно, другие.

В последующих работах, посвященных исследованию свойств магнитного и электрического полей, Фарадей неоднократно подчеркивает, что теперь он рассматривает магнитные силовые линии (а также силы индукции) как реально существующие физические объекты. С помощью силовых магнитных линий он описывает магнитное поле: направление этих линий определяет направление магнитных сил, действующих в магнитном поле, их густота — величину этих сил и т. д.

Используя картину магнитных силовых линий, Фарадей рассматривает явление электромагнитной индукции. Индукционный ток, считает он, возникает в том случае, когда проводник пересекает магнитные силовые линии. При этом величина индукционного тока в проводнике определяется числом пересекаемых магнитных

¹⁾ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. I, с. 720—721.

²⁾ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. III, с. 113.

³⁾ Свои взгляды на природу материи Фарадей впервые изложил в 1844 г. в статье «Размышление об электрической проводимости и о природе материи» (Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. II, с. 392).

силовых линий за единицу времени, так что «количество электричества, приводимое в движение, прямо пропорционально числу пересекемых линий»¹⁾. Положив в основу теории электричества и магнетизма представление об электрических и магнитных силовых линиях, Фарадей тем не менее не конкретизировал, что представляют собой эти силовые линии. Он писал:

«Те, кто в какой-нибудь мере придерживаются гипотезы эфира, могут рассматривать эти линии как потоки, или как распространяющиеся колебания, или как стационарные волюобразные движения, или как состояние напряжения»²⁾.

Экспериментальные открытия Фарадея были, конечно, хорошо известны, и он еще при жизни приобрел огромный авторитет и славу. Однако к его теоретическим взглядам современники в лучшем случае оставались безразличными. Английский физик Эйри писал:

«Я заявляю, что мне трудно себе представить, что кто-нибудь знающий практическое и численное совпадение данных наблюдения с результатами вычисления, основанного на действии на расстоянии, мог хотя бы одно мгновение колебаться между этим простым и точным действием, с одной стороны, и чем-то столь расплывчатым и изменчивым, как линии сил, с другой»³⁾.

Таким образом, основные теоретические представления Фарадея не были восприняты его современниками; первым обратил на них серьезное внимание Максвелл. Он воспринял эти представления, развил их и построил теорию электромагнитного поля.

§ 43. ПЕРВЫЕ ШАГИ В ПРАКТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ ОТКРЫТИЙ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ. РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА

Первое практическое применение открытия в электродинамике нашли в технике связи. Уже упоминалось, что Ампер высказал идею о возможности использования открытия Эрстеда для построения телеграфа. Идея Ампера была воплощена в жизнь уже в 30-е годы Шиллингом, в 1832 г. — Гауссом и в 1833 г. — Вебером. Приемная часть телеграфа Шиллинга состояла из шести «мультипликаторов» — устройств, представляющих собой астатические системы из двух подвешенных на тонкой нити магнитных стрелок, одна из которых помещалась внутри проволочной катушки. На нити имелся кружок, одна сторона которого была окрашена в белый цвет, а другая — в черный. Был еще седьмой мультипликатор для вызова (рис. 54). К приемному аппарату от передающей станции шло восемь проводов: шесть из них были соединены с первыми шестью мультипликаторами, один был предназначен для обратного тока и один был соединен с вызывным мультипликатором

¹⁾ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. III, с. 481.

²⁾ Там же, с. 720.

³⁾ Из предистории радио. — Сборник оригинальных статей и материалов. Вып. 1. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1948, с. 17.