

магнитную теорию света. Он получает и исследует волновое уравнение для вектора потенциала A . Максвелл вновь приходит к выводу, что скорость света в среде определяется постоянными ϵ и μ среды. При этом он обращает внимание на возможность проверки этого теоретического вывода на опыте, указывая, что такая проверка «является пробным камнем для электромагнитной теории света»¹⁾.

Явление дисперсии света показывает, что скорость света не является постоянной величиной для всех длин волн в одной и той же среде. В связи с этим Максвелл подчеркивает, что поскольку ϵ и μ определяются для постоянного поля, то и вычисленная скорость распространения электромагнитных волн должна приблизительно совпадать со скоростью света, определяемой из измерения показателя преломления для волн достаточно большой длины.

В период, когда писался «Трактат», не были известны точные значения ϵ прозрачных диэлектриков (μ для них можно принять равным единице). Только для парафина значение диэлектрической проницаемости было известно достаточно точно; для парафина был известен также показатель преломления для различных длин волн. Максвелл сравнивает скорость света v в парафине, определяемую из показателя преломления, со скоростью V распространения электромагнитных волн, используя значение ϵ . При этом он получает, что $v \approx V$. Таким образом, хотя достаточно точное совпадение значений этих величин и не имеет места, тем не менее полученный результат можно рассматривать как экспериментальное подтверждение электромагнитной теории света.

Новым интересным вопросом, исследованным в «Трактате», является вопрос о давлении света. Рассматривая процесс распространения электромагнитных волн в веществе, Максвелл показывает, что при этом волны должны оказывать на вещество давление, определяемое величиной электромагнитной энергии, которая приходится на единицу объема, и указывает на возможность проверки этого теоретического вывода на эксперименте. Он пишет:

«Плоское тело, подвергающееся действию солнечного света, будет испытывать это давление только на своей освещенной стороне и, следовательно, будет отталкиваться от той стороны, на которую падает свет. Возможно, что значительно большая энергия могла быть получена при помощи концентрированных лучей электрической лампы. Такие лучи, падая на тонкий металлический диск, весьма чувствительным образом подвешенный в вакууме, произвели бы могущий быть наблюдаемым механический эффект»²⁾.

§ 58. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБОСНОВАНИЯ ТЕОРИИ МАКСВЕЛЛА

Первоначально теория Максвелла не обратила на себя должного внимания. В Германии господствовала теория Вебера и теория Максвелла не могла ее поколебать. В Англии ряд физиков «поверили» в нее,

¹⁾ Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля, с. 556.

²⁾ Там же 563.

но и здесь многие ученые встретили ее прохладно. Так, например, как это ни странно, крупнейший английский физик В. Томсон, идеи которого, как говорилось выше, способствовали появлению работ Максвелла, скептически отнесся к этой теории. Будучи сторонником теории близкодействия, Томсон, однако, не понял и не принял представления о токе смещения и весьма скептически относился к этому основному понятию теории Максвелла. Томсон был также противником электромагнитной теории света, и только экспериментальное подтверждение светового давления П. Н. Лебедевым заставило его изменить отношение к ней.

Тем временем в области электродинамики появляются новые теории, также основанные на принципе близкодействия. В 1867 г. была опубликована уже упомянутая работа Римана, в которой введены запаздывающие потенциалы. Немецкий физик Ганкель в 1865 и 1867 гг. опубликовал теорию электромагнитных явлений, в основе которой лежали представления об электромагнитных явлениях как результате вихревых движений в эфире. В 1871 г. шведский ученый Эдлунд разработал теорию, рассматривающую электрические и магнитные действия как действия, вызываемые движением эфира. Однако эти и подобные им теории имели характер теорий *ad hoc*, и лучшее, на что они были способны, — это объяснение ряда явлений, которые объяснялись уже существующими теориями дальнего действия и не обладали эвристической ценностью.

Одновременно с появлением подобных теорий теория Вебера, которая занимала ведущее положение в электродинамике, начала испытывать затруднения. Они, как выяснилось, были связаны с тем, что эта теория противоречила закону сохранения энергии, который уже приобрел большое значение в физике. Против теории Вебера выступил Гельмгольц. Он, по-видимому, уже в самом начале своей деятельности сомневался в ее истинности. В своей работе «О сохранении силы» он исходил из представления о том, что все силы должны в конечном счете сводиться к элементарным силам, которые являются центральными и зависят только от расстояния. Все известные до этого элементарные силы рассматривались именно так. Сила же взаимодействия между электрическими зарядами, по Веберу, зависит еще и от их относительной скорости и ускорения, и в своей работе Гельмгольц обратил на это внимание.

В 1870 г. Гельмгольц занялся вопросами электродинамики и выступил с критикой теории Вебера, указав, что его элементарный закон противоречит закону сохранения энергии. Он показал, что можно представить себе случай системы двух одноименных электрических зарядов, для которых закон Вебера приводит к физически бессмысленному результату, а именно бесконечно большой скорости движения зарядов. Представим себе, что один заряд e закреплен в некоторой точке пространства, другой заряд e' связан с массой m . Тогда уравнение движения второго заряда вдоль прямой, соединяющей эти заряды, по Веберу имеет вид

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

Умножим обе части уравнения на $\frac{dr}{dt}$ и проинтегрируем по t ; тогда получим

$$\frac{m}{2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{ee'}{r} \left[1 - a^2 \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \right] = C,$$

или

$$a^2 \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = \frac{C - ee'/r}{m/2a^2 - ee'/r},$$

где C — константа. Однако для физически допустимого случая $r_0 = = 2ee'a^2/m$ получаем, что скорость движения второго заряда равна бесконечности, что с физической точки зрения бессмысленно.

Вебер возражал Гельмгольцу. Он указал, что пример его искусствен, ибо согласно его расчетам, r_0 очень мало (порядка атомных размеров), так как величина a порядка скорости света. И далее заметил, что при таких исключительных условиях может действовать другой закон взаимодействия зарядов. Однако Гельмгольц не согласился с Вебером и разобрал вопрос в более общем виде. Между ними разгорелся спор.

Гельмгольц также высказался критически по поводу закона Ампера, с которым был связан и закон Вебера. Он указал, что полная сила взаимодействия между элементами тока не должна быть чисто центральной силой и предположил, что имеется еще пара сил, действующих на элемент тока со стороны другого. При этом Гельмгольц изменил выражение для потенциала двух элементов тока по сравнению с выражением для этого потенциала, данным Нейманом.

Гельмгольц развил свою теорию электромагнитных явлений. К тому времени он уже познакомился с теорией Максвелла и уделил ей серьезное внимание. Его теория была компромиссной по сравнению с теорией Максвелла и теориями дальнего действия. По Гельмгольцу, электрическая и магнитная силы являются силами дальнего действия. Но при рассмотрении их действия нужно учитывать влияние среды, частицы которой под влиянием дальнедействующих сил поляризуются. Герц так характеризует взгляды Гельмгольца на электромагнитные явления: одна из существующих точек зрения

«...полагает, — что действие удаленного тела определяется не одними лишь непосредственными дальнедействующими силами. Напротив, она считает, что в пространстве, которое мыслится всегда заполненным, силы вызывают такие изменения, которые со своей стороны вызывают новые дальнедействующие силы. Притяжение разделенных средой тел основывается тогда частично на непосредственном действии этих тел на расстоянии, частично же на влиянии изменений среды. Изменение самой среды мыслится как электрическая или соответственно, магнитная поляризация ее мельчайших частей под влиянием действующей силы... в наиболее общем своем развитии и в применении ко всей области электромагнетизма она представлена в теории фон Гельмгольца»¹⁾.

¹⁾ Герц Г. Исследования по распространению электрической силы. — В кн.: Из предыстории радио. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1948, с. 127.

В теории Гельмгольца, так же как и у Максвелла, рассматривается ток смещения. Только он определяется не величиной $\frac{\partial D}{\partial t}$, а величиной $\frac{\partial P}{\partial t}$, где P — вектор поляризации среды. Из теории

Гельмгольца следует существование электрических и магнитных волн, только их скорость не равна скорости света. Кроме того, в среде существуют и продольные электрические волны.

Таким образом, к началу 70-х годов в электродинамике возникло кризисное состояние. Вспоминая это время, Гельмгольц писал:

«В эту пору область электродинамики представляла собой хаотическое царство, в котором трудно было разобраться»¹⁾.

Все существующие теории приводили к одним и тем же результатам для замкнутых квазистационарных токов — и теории, основанные на законе Ампера, и теория Вебера, и теория Максвелла, и теория самого Гельмгольца. Для выяснения правильности той или иной теории нужно было обращаться к эксперименту, но для этого нужно было поставить эксперимент с незамкнутыми и неквазистационарными токами. Гельмгольц и другие физики начинают думать над постановкой таких экспериментальных исследований.

Следует отметить, что косвенно подтверждающими теорию Максвелла были бы эксперименты, которые устанавливали связь между диэлектрической проницаемостью и показателем преломления. На это, как мы видели, указывал еще Максвелл.

В 1872—1874 гг. Больцман, ставший сторонником теории Максвелла, провел серию измерений диэлектрической проницаемости некоторых веществ и их показателей преломления. Он показал, что полученные результаты согласуются с теорией Максвелла. Русский физик Зилов, также ставший на сторону Максвелла, в 1875 г. проверил правильность этого соотношения для некоторых жидкостей и пришел к положительным результатам. В 1875 г. Керром было открыто явление двойного лучепреломления в электрическом поле, которое являлось косвенным подтверждением теории Максвелла. Наконец, уже известное Максвеллу соотношение между электростатическими и электромагнитными единицами заряда и скоростью света являлось в какой-то степени подтверждением его теории. Однако все эти факты нельзя было считать решающим подтверждением теории Максвелла. Нужен был эксперимент, который бы однозначно решал вопрос в пользу той или иной теории электрических и магнитных явлений.

Впервые экспериментальные исследования, цель которых — выбор из существующих теорий правильной, проделал Шиллер сначала в Берлине, у Гельмгольца, а затем в Московском и Киевском университетах. Одним из экспериментов, результаты которого были опубликованы в 1875—1876 гг., был эксперимент, заключающийся в определении взаимодействия между намагниченным стальным кольцом и «концом» электрического тока, т. е. концом проводника, соединенным

¹⁾ Гельмгольц Г. Жизнь и труды Генриха Герца. — «Вестник опытной физики», 1906, № 10, с. 28.

с электростатической машиной, с которого непрерывно стекал электрический заряд. Установка Шиллера представляла собой намагниченное стальное кольцо, подвешенное на нитях (рис. 16). Возле кольца помещалось острое провода, соединенного с электрической машиной. С помощью зеркала, расположенного под кольцом, можно было измерить угол поворота кольца и определить момент сил, действующих на него.

По теории Ампера, учитывающей при определении магнитного действия тока только ток проводимости, действие острия («конца тока») на намагниченное кольцо должно было быть равно нулю. Тот же результат следовал и из теории Максвелла, так как в соответствии с ней нужно учитывать также магнитное действие тока смещения; в этом случае общий ток является замкнутым. Взаимодействие же между намагниченным кольцом и замкнутым током в данном случае должно равняться нулю. Только теория Гельмгольца предсказывала, что «конец тока» должен вызывать момент силы, действующей на кольцо. Это было связано с предположением Гельмгольца, что на элемент тока со стороны другого элемента действует пара сил, о чем упоминалось выше.

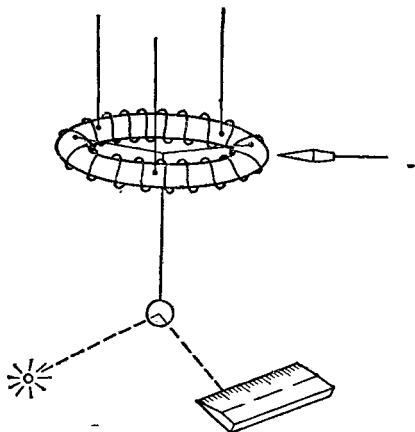


Рис. 16

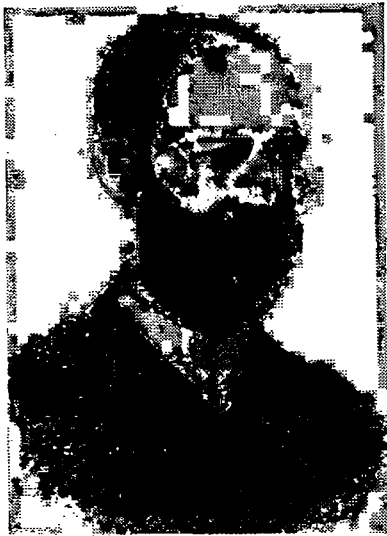
Проведя измерение, Шиллер не обнаружил действия со стороны острия на намагниченное кольцо. Отсюда следует, что либо теория Гельмгольца не верна, а верна или теория Ампера, или теория Максвелла; либо же надо сделать вывод о том, что для магнитного действия нужно учитывать не только токи проводимости, но и конвекционные токи в воздухе. Шиллер писал, что из его опытов следует:

«... выводы потенциальной теории (теории Гельмгольца.— Б. С.) не подтверждаются опытом. Остается или принять выводы теории, не признающей электродинамических действий концов разомкнутых токов, или отказаться от мысли о возможном существовании таких концов»¹⁾.

Гельмгольц решил провести опыты по обнаружению магнитного действия токов конвекции. В 1877 г. Роуландом (учеником Гельмгольца) был проделан эксперимент по обнаружению магнитного действия вращающегося заряженного металлического диска. При этом Роуланд обнаружил, что такое действие существует, и измерил его.

Теперь у Гельмгольца возникает мысль выяснить действие поляризованного диэлектрика на электромагнитные явления. Такая про-

¹⁾ Д у к о в В. М. Развитие теории электромагнитного поля до опытов Герца, — УФН, т. XVIII, вып. 4, 1953, с. 582.



Генрих Герц

но было только в том случае, если пользоваться очень быстрыми переменными токами, но Герц пока не знал, как их можно получить. Поэтому он отложил решение этой задачи, но к 1887 г. он уже имел источник таких токов.

верка могла бы привести к решению вопроса о выборе той или иной теории электромагнитных явлений. В 1879 г. по инициативе Гельмгольца Берлинская Академия наук объявила конкурсную тему «Установить экспериментально наличие связи между электродинамическими силами и диэлектрической поляризацией». Решить эту задачу Гельмголец предложил молодому ученому Герцу.

Генрих Герц (1857—1894), размышляя над поставленной перед ним задачей, сначала пришел к неутешительному выводу о практической невозможности ее выполнения. Трудность решения задачи заключалась в том, что обнаружить электродинамическое действие диэлектрика, или, говоря другими словами, существование тока смещения, мож-

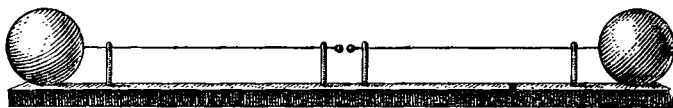


Рис. 17. Общий вид вибратора Герца

Это был генератор электромагнитных колебаний и волн, получивший название «вибратора Герца». Одновременно Герц разработал и способ для их обнаружения, используя явление резонанса. Вибратор Герца состоял из двух прямолинейных проводников (рис. 17), на концах которых имелись металлические шары или металлические кондукторы сигарообразной формы. На других концах этих проводников помещались маленькие металлические шарики, образующие искровой промежуток B . Оба проводника соединялись с концами одной из обмоток индукционной катушки A . При проскакивании искры в искровом промежутке B в проводниках возникали быстропеременные электрические колебания (рис. 18).

Для обнаружения колебаний Герц применял резонатор, который состоял из проволоки, согнутой в виде прямоугольника $acdb$ и имеющей искровой промежуток M . Когда в искровом промежутке вибратора проскакивала искра, то и в промежутке резонатора также про-

скакивала искра. Величина искры, проскакивающей через искровой промежуток M , зависела от соотношения размеров первого и второго контуров и их взаимного расположения.

С помощью подобных приборов Герц взялся за разрешение задачи, которую перед ним поставил Гельмгольц. В том же 1887 г. он уже получил важный результат, который был опубликован в работе «Об индукционных явлениях, вызываемых электрическими процессами в изоляторах».

Герц использовал установку, состоящую из вибратора и резонатора (рис. 19). Только теперь на концах вибратора помещались ме-

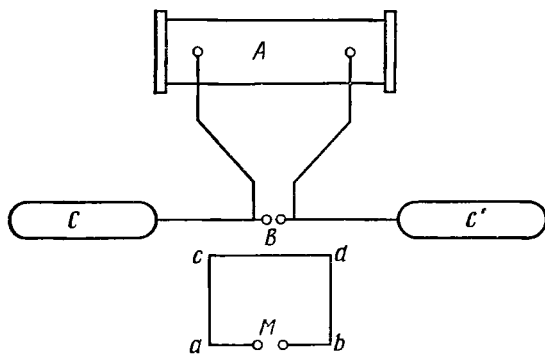


Рис. 18. Схема вибратора и резонатора Герца

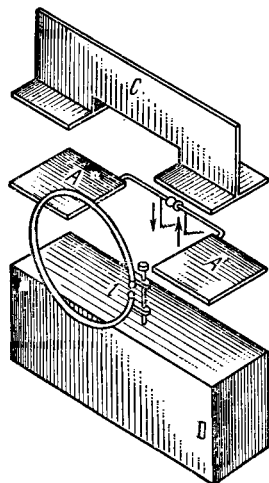


Рис. 19

таллические плоские пластинки A и A' . Резонатором уже служил проводник, согнутый в виде окружности, с искровым промежутком I . Как и в предыдущем исследовании, при проскакивании искры в вибраторе проскакивала искра и в резонаторе. Герц, меняя размеры искрового промежутка резонатора, нашел такие положения, при которых искры в нем не наблюдались.

Взяв затем металлическую перекладину C , имеющую форму, показанную на рис. 19, и поднося ее к вибратору, он обнаружил появление искр. Герц объяснил это наличием индукционных токов, возникающих в перекладине C , которые, как и токи в вибраторе, оказывали действие на резонатор. Затем вместо металлической перекладины C он подносил к вибратору брусок D , который был изготовлен из материала, являющегося изолятором. Как и в случае проводника, он обнаружил эффект, который можно было объяснить, предположив, что токи смещения, индуцированные в диэлектрике, оказывают электромагнитное действие, как и токи проводимости, которые имели место в проводящей перекладине.

Таким образом, результаты опыта свидетельствовали о влиянии диэлектрика на «индукционные» процессы и устанавливали наличие «связи между электродинамическими силами и диэлектрической поляризацией». О полученных результатах Герц немедленно сообщил Гельмгольцу. Он писал:

«... я не мог не послать Вам этой работы, так как в ней излагается предмет, к рассмотрению которого Вы меня побудили несколько лет тому назад. Я постоянно имел в виду эту задачу и наконец нашел путь к ее разрешению, который должен был дать ясный результат» 1). На это последовал ответ Гельмгольца: «Рукопись получена. Bravo! В четверг пошлю в печать» 2).

Этот результат уже являлся подтверждением теории Максвелла. Однако он был в согласии также и с теорией Гельмгольца. Во всяком случае, он ее не опровергал, но Герц не обсуждает этот вопрос в данной работе.

В следующем, 1888 г., продолжая эксперименты с вибратором и резонатором, Герц обнаруживает наличие стоячих электромагнитных волн в комнате, где производились опыты, картина которых стала более четкой, после того, как в комнате был установлен металлический лист.

Теперь уже не могло быть сомнений в правильности именно теории Максвелла. Герц пишет:

«... эти опыты могут служить обоснованием для теории электродинамических явлений, которую создал Максвелл, основываясь на воззрениях Фарадея» 3).

Измеряя длину волн и зная период электрических колебаний вибратора, Герц подсчитал скорость распространения электромагнитных волн. При расчете он ошибся и первоначально получил скорость распространения электромагнитных волн, отличающуюся от скорости распространения света. Однако вскоре Герц исправил свою ошибку, и установил, что ее значение равно скорости распространения световых волн. Продолжая свои исследования, Герц наблюдал интерференцию электромагнитных волн, их отражение и преломление, а также поляризацию. Все эти явления свидетельствовали о полной тождественности электромагнитных и световых волн. В заключение одной из своих последних статей по экспериментальному обоснованию теории Максвелла Герц писал:

«Исследованное нами явление мы называли лучами электрической силы. Пожалуй, их можно было бы назвать световыми лучами с очень большой длиной волны. По крайней мере, мне представляется весьма вероятным, что описанные опыты доказывают идентичность света, тепловых лучей и электродинамического волнового движения» 4).

1) 50 лет волн Герца. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1938, с. 13.

2) Там же.

3) Герц Г. Об электродинамических волнах в воздухе и их применении.— В кн.: Из предьстории радио. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948, с. 164.

4) Герц Г. О лучах электрической силы. Там же, с. 190.

Экспериментальное подтверждение теории Максвелла в опытах Герца произвело большое впечатление. Отныне теория Максвелла получила признание подавляющего большинства ученых.

В 1895 г. Петр Николаевич Лебедев (1866—1912) в лаборатории Московского университета повторил опыты Герца, построив вибратор и резонатор, имеющий собственную частоту примерно в 100 раз большую, чем располагал Герц (т. е. если в опытах Герца длина волны была порядка 0,5 м, то Лебедев провел эксперимент с волнами длиной всего 6 мм). П. Н. Лебедев дополнил исследования Герца, показав что электромагнитные волны способны испытывать двойное лучепреломление при прохождении через анизотропные среды подобно световым волнам. Электромагнитные волны, полученные Лебедевым, по длине уже были близки к инфракрасным волнам, и исследование таких волн служило дополнительным подтверждением электромагнитной теории света.

В последующих экспериментах интервал между электромагнитными и инфракрасными волнами был еще более сокращен. В 20-х годах нашего столетия Никольс и Тир получили, используя вибратор Герца, электромагнитные волны длиной всего 1,8 мм. С другой стороны, к этому времени наблюдали инфракрасные волны длиной волн до 400 μ .

Таким образом, промежуток между радиоволнами и световыми волнами значительно уменьшился. Он был заполнен в 1923 г. в работах профессора Московского университета А. А. Глаголевой-Аркадьевой. Она сконструировала новый источник электромагнитных волн, названный массовым излучением. В этом источнике электрические искры возникали между металлическими опилками, находящимися в вязком масле. Глаголева-Аркадьева получила волны длиной от нескольких сантиметров до 80 μ , т. е. волны, имеющие длину меньшую, чем длина известных уже инфракрасных волн.

Существенным подтверждением электромагнитной теории света явились опыты Лебедева по определению светового давления. Максвелл, как было отмечено выше, установил, что из его теории следует существование давления световых волн, падающих на границу раздела двух сред. Он определил и величину давления, отметив, что она должна определяться величиной потока световой энергии, которая падает на эту поверхность. Давление света очень мало, и для его обнаружения требовались очень точные эксперименты. Лебедев преодолел все трудности и в 1900 г. сделал предварительное сообщение о



Петр Николаевич Лебедев

результатах своих опытов, а в 1901 г. опубликовал исследование по опытному определению давления света на твердые тела. Схема установки Лебедева изображена на рис. 20. Свет от дуговой лампы проходит систему линз и слой воды W , в котором поглощается инфракрасная часть спектра, а затем, отражаясь от зеркал S_1, S_2, S_3 , попадает на специальный подвес R — нить, на которой помещены очень тонкие и легкие платиновые крылышки с зачерненной и зеркальной поверхностями (рис. 21). Подвес помещался в стеклянном сосуде, из которого тщательно откачивался воздух. Свет, падающий на одно из крылышек, оказывает на него давление и вследствие полученного механического момента поворачивает весь подвес на некоторый угол. Передвигая двойное зеркало S_1, S_4 , можно направлять свет от дуги то на одну, то на другую сторону крылышек и менять направление закручивания нити. Для измерения энергии падающего света часть его, отражаясь от стеклянной пластинки P_1 или P_2 , попадает на термоэлемент. Измеряя угол поворота крутильных весов, а также энергию падающего света, можно было проверить выводы теории Максвелла.

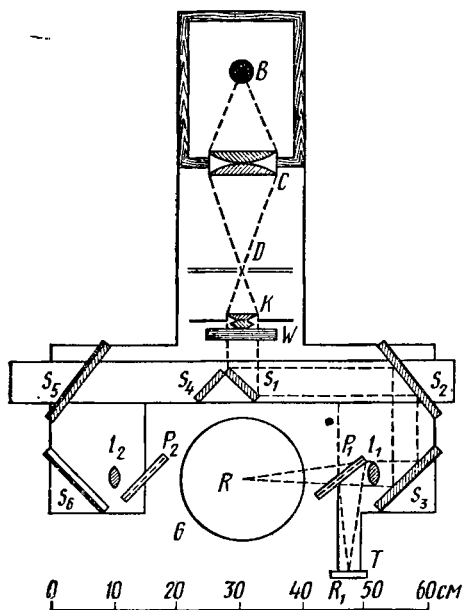


Рис. 20

В опытах Лебедева получена величина светового давления, которая достаточно хорошо соответствовала теории Максвелла, т. е. вновь была подтверждена электромагнитная теория света. Именно так и были восприняты экспериментальные исследования Лебедева. Известно, что В. Томсон, узнав о результатах, полученных Лебедевым, в беседе с К. А. Тимирязевым сказал:

«Вы, может быть, знаете, что я всю жизнь воевал с Максвеллом, не признавая его светового давления, и вот ваш Лебедев заставил меня сдаться перед его опытами»¹⁾.

В последующем Лебедев привел еще более тонкий эксперимент, обнаружив световое давление на газы.

Подлинным триумфом теории Максвелла было первое практическое применение электромагнитных волн для связи. Уже вскоре после опубликования работ Герца была высказана идея о возможности

¹⁾ Лазарев П. П. Очерки истории русской науки. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1950, с. 144.

использования открытых им электромагнитных волн для связи¹⁾. Эта идея впервые получила практическое осуществление в изобретении Александра Степановича Попова (1859—1905), который в 1896 г. демонстрировал передачу и прием радиосигналов с помощью сконструированной им установки. Еще в 1895 г. Попов, зная об открытии Бранли свойства мелких опилок сильно уменьшать свое сопротивление электрическому току под действием электрических колебаний и используя это открытие, построил первый приемник радиосигналов.

Устройство этого приемника, сконструированного Поповым, показано на рис. 22 (рисунок взят из его работы). Над трубкой с металлическими опилками (такая трубка получила, как известно, название когерера) помещен электрический звонок, молоточек которого расположен над серединой трубки и может ударять по ней, встряхивая опилки. Когерер включается в цепь батареи последовательно с реле. Из-за большого сопротивления когерера, когда он не подвергается действию



Александр Степанович Попов

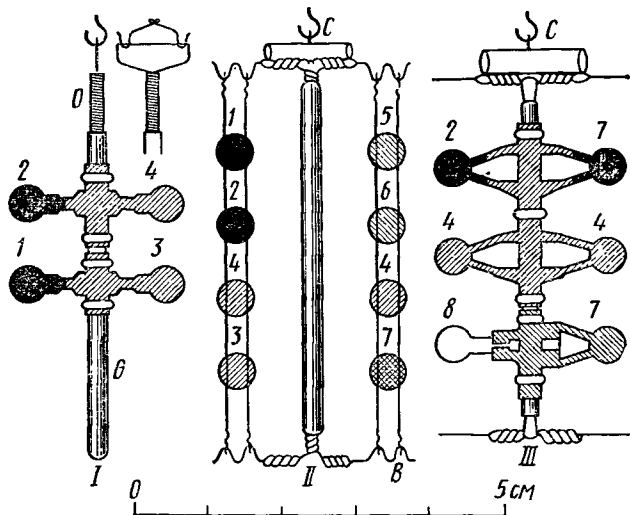


Рис. 21

¹⁾ Известно, что сам Герц относился к этой идее скептически. См.: Из предыстории радио, с. 31—32.

электрических колебаний, через всю цепь идет очень слабый ток, неспособный привести в действие реле. Но под действием электрических колебаний сопротивление когерера падает и ток через цепь с реле увеличивается. Реле срабатывает, цепь, включая электрический звонок, замыкается; звонок начинает звонить, при этом молоточек ударяет о когерер и встряхивает опилки. Поэтому, как только действие на когерер электрических колебаний прекращается, вся цепь снова замыкается и звонок прекращает звонить.

Сконструированный прибор Попов применял для регистрации электромагнитных сигналов от различных источников. Так, если к одному из концов когерера присоединить проволоку длиной 1 м, то прибор «отвечает на разряд электрофора через большую аудиторию»¹⁾. Если соединить прибор с проволокой длиной 2,5 м, поставленной вертикально, то прибор регистрирует электромагнитные возмущения, приходящие от вибратора Герца, расположенного на расстоянии 30 саженей от него. Наконец, прибор может быть применен для регистрации электромагнитных возмущений, происходящих в атмосфере на далеком расстоянии, при наличии в ней электрических разрядов. Для этого прибор должен быть соединен с длинной наружной проволокой, играющей роль антенны. При этом в схему следует включить

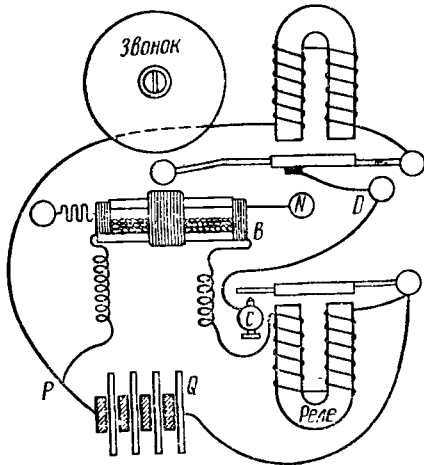


Рис. 22

«электромагнитный счетчик», т. е. записывающее устройство. В связи с последним применением изобретенный Поповым прибор получил название «грозоотметчика». О своем изобретении Попов сделал доклад весной 1895 г. на заседании физического отделения Русского физико-химического общества, напечатанный затем в мартовском номере журнала этого общества. В заключение своего доклада Попов отметил:

«... могу выразить надежду, что мой прибор, при дальнейшем усовершенствовании его, может быть применен к передаче сигналов на расстояния при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающих достаточной энергией»²⁾.

В следующем году Попов решил указанную задачу. Наряду с приемником он построил и передатчик электромагнитных волн. 12(24) мар-

¹⁾ Попов А. С. Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний. — В кн.: Из предыстории радио, с. 454.

²⁾ Там же, с. 458.

та 1896 г. он демонстрировал первую передачу и прием радиосигналов на расстоянии до 250 м. Была передана и принята первая в мире радиограмма, состоявшая из двух слов: «Генрих Герц»¹⁾. Вскоре Попов, усовершенствовал свое приемопередающее устройство (рис. 23, а, б). Летом 1897 г. он провел опыты по передаче сигнала уже на расстояние до 5 км. В 1899 г. была установлена радиосвязь на расстоянии примерно 50 км.

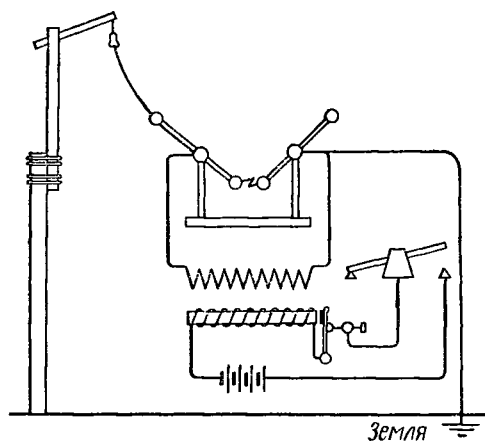


Рис. 23, а.

Схема передатчика Попова

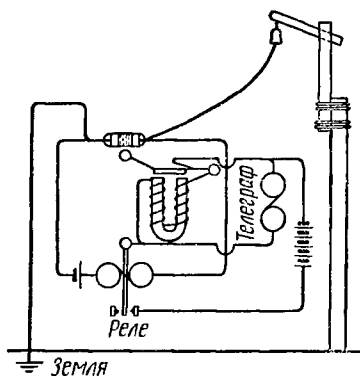


Рис. 23, б.

Схема приемника Попова

В июне 1896 г. появилось сообщение о том, что итальянец Маркони взял патент на аналогичное изобретение. Само же описание установки, повторяющей все основные черты установки Попова, было опубликовано только через год.

§ 59. РАЗВИТИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ ПОСЛЕ МАКСВЕЛЛА

Развитие классической электродинамики после Максвелла шло по нескольким направлениям, из которых отметим два основных. Во-первых, совершенствовалась математическая сторона теории Максвелла и были получены некоторые новые результаты. Во-вторых, произошло объединение теории электромагнитного поля с основными идеями теории строения вещества. Последнее направление привело к созданию электронной теории. Рассмотрим развитие этих направлений.

Систематизацией уравнений Максвелла и приведением их к современному виду занимались в первую очередь Герц и английский ученый Хевисайд. Герц в 1884 г., еще не будучи уверенным в истинности теории Максвелла, выделил из всей системы его уравнений два ос-

¹⁾ Эта установка не сохранилась. О докладе Попова и о демонстрации передачи радиограммы остались письменные свидетельства Миткевича, Хвольсона, Вельберга, Шателена и др. См.: Ш а т е л е н М. А. Русские электротехники. М. — Л., Госэнергоиздат, 1950, с. 297.