



Г. Герц

1857—1894

Об электромагнитных волнах

Создание Дж. К. Максвеллом теории электромагнитного поля явилось важнейшим событием в истории физики. Однако признание этой теории пришло далеко не сразу. Еще практически в течение двадцати лет физики обсуждали альтернативные подходы к описанию электромагнитных явлений. Решающую роль в подтверждении справедливости полевых представлений Фарадея—Максвелла сыграли опыты немецкого физика Г. Герца, в которых были получены и исследованы электромагнитные волны, существование которых предсказал Максвелл.

Генрих Рудольф Герц родился 22 февраля 1857 г. в Гамбурге, в семье адвоката. Еще во время учебы в частной школе и гимназии Герц проявил большие способности к изобретательству и ручному труду. Он овладел мастерством столяра и токаря. Естественно, что после окончания гимназии Герц хотел стать инженером. Однако после годичной подготовки к карьере инженера и службы в армии (1875—1877) Герц решил посвятить себя физике и поступил в Мюнхенский университет.

Во время учебы в университете он много занимался математикой, изучал произведения классиков физики. Однако наибольшее удовлетворение Герц получает от работы в лабораториях университета и мюнхенской Высшей технической школы. В 1878 г. Герц переходит в Берлинский университет, где его учителем становится глава немецких физиков Г. Гельмгольц. Еще будучи студентом, Герц по совету Гельмгольца принимает участие в конкурсе, объявленном философским факультетом. Темой конкурса была экспериментальная проверка следствий электродинамики В. Вебера. Герц доказал, что эффекты, которые следуют из теории Вебера, не наблюдаются. За свою работу он был удостоен премии.

В 1780 г. Герц с блеском защищает докторскую диссертацию, посвященную электромагнитной индукции во вращающихся проводниках (это было чисто теоретическое исследование), и становится ассистентом Гельмгольца. В течение трех лет работы в

Берлине он подготовил пятнадцать статей, на самые разнообразные темы — от электромагнетизма до твердости материалов и конструирования научных приборов до испарения жидкостей. Хотя в этот период Герц вряд ли мог пожаловаться на плохие условия работы, он все же задумывался о самостоятельной деятельности.

В 1883 г. Герц становится приват-доцентом в Кильском университете, а в 1885 г. переходит в Высшую техническую школу в Карлсруэ. Именно в Карлсруэ начинаются исследования Герца, приведшие к открытию электромагнитных волн.

В 1890 г. Герц переходит в Боннский университет, где становится преемником выдающегося немецкого физика Р. Клаузиуса. Здесь он продолжает заниматься электродинамикой, но постепенно его интересы смещаются в область механики. В течение нескольких лет он с увлечением разрабатывает новый подход к построению механики. Результаты этих исследований были обобщены Герцем в сочинении «Принципы механики, изложенные в новой связи», опубликованном уже после смерти ученого, в 1894 г. В нем Герц, сторонник механицизма, попытался изложить механику без использования понятия «сила». Хотя подход Герца к построению механики не нашел последователей, его «Принципы» сыграли важную роль в развитии философии XIX в.

Заслуги Герца в исследовании электромагнитных явлений получили международное признание. Он был удостоен наград Венской, Парижской, Туринской академий наук, итальянского научного общества, Лондонского Королевского общества и избран членом ряда научных обществ и академий, в том числе Прусской Академии наук.

Последние годы жизни Герца были омрачены тяжелой болезнью. Он умер 1 января 1894 г., в расцвете таланта, когда ему было всего тридцать шесть лет.

Интерес Герца к электродинамике был стимулирован его учителем Г. Гельмгольцем, который в 70-х годах поставил своей целью «упорядочить» эту область физики, решив с помощью эксперимента, какая же из конкурирующих теорий соответствует реальности. Еще в 1879 г., когда Герц завершал свое исследование, удостоенное премии философского факультета, Гельмгольц предложил ему заняться исследованием процессов, протекающих в незамкнутых электрических цепях. В то время Герц, стремившийся побыстрее получить докторскую степень и, вероятно, не видевший реальных возможностей решить поставленную задачу, отказался от темы, предложенной учителем.

Герц вспомнил о задаче Гельмгольца в 1886 г., когда оказался в Карлсруэ, где обнаружил приборы, подходившие для изучения процессов в незамкнутых цепях. Немаловажную роль в обращении к этой проблеме сыграло и то, что еще в Киле Герц написал теоретическую статью, посвященную электродинамике Максвелла, и, следовательно, был хорошо подготовлен к работе в данной области.

В короткий срок Герцу удалось провести выдающийся по полноте и убедительности цикл исследований, в ходе которого были разработаны методы генерации и детектирования электромагнитных волн и путем наблюдения таких явлений, как отражение, преломление, интерференция, дифракция и поляризация, доказать тождественность их свойств со свойствами излучения, предсказанного Максвеллом. В ходе экспериментов в 1888 г. Герц обнаружил явление внешнего фотоэффекта, исследование которого в дальнейшем сыграло важную роль в развитии физики.

Следует отметить, что успех Герца был обусловлен не только его талантом экспериментатора, но и большим мастерством теоретического анализа. Дело в том, что для правильной постановки опытов ему пришлось решить ряд задач, подробно не рассмотренных Максвеллом. Кроме того, уже после проведения основных экспериментов с электромагнитными волнами, в 1890 г., Герц опубликовал теоретическую работу, в которой придал максвелловской теории форму, очень близкую к той, которой мы пользуемся в наши дни.

Ниже приводятся отрывки из двух работ Герца, посвященных электромагнитным волнам, по которым можно составить представление о стиле и характере его экспериментов.

О весьма быстрых электрических колебаниях

Предварительные опыты

Если в разрядную цепь индукционной катушки последовательно с искровым промежутком включить искровой микрометр Рисса, полюсы которого соединены между собой длинным металлическим ответвлением, то, если только длина воздушного промежутка микрометра не превысит известного предела, разряд пройдет скорее через воздушный промежуток, чем через металлический провод. Это явление не ново; как известно, построение громоотводов для телеграфных проводов имеет своим основанием именно это явление. Только в том случае, если металлическое ответвление коротко и обладает небольшим сопротивлением, можно рассчитывать на исчезновение искры в микрометре. И на самом деле длина получаемой искры уменьшается вместе с длиной ответвления, но полного ее погашения едва ли можно достигнуть. Даже в том случае, когда оба шарика микрометра соединены толстой медной проволокой длиной всего в несколько сантиметров, можно наблюдать искорки, хотя и очень короткие. Непосредственно этот опыт показывает, что в момент разряда потенциал изменяется вдоль замыкающей цепи на величину в сотни вольт на протяжении всего лишь нескольких сантиметров, косвенно же он дает указание на исключительно большую скорость, с которой происходит разряд. Разность потенциалов

между шариками микрометра может рассматриваться только как результат действия самоиндукции в металлической замыкающей цепи.

Время, в течение которого потенциал на одном шарике испытывает заметные изменения, будет того же порядка, что и время, в продолжение которого эти изменения доходят до другого шарика через короткий отрезок хорошего проводника. Можно было бы предположить, пожалуй, столь большую плотность разрядного тока, что одно лишь сопротивление ответвления обусловит разность потенциалов на шариках микрометра. Но приблизительное рассмотрение количественных условий показывает, что это предположение неосновательно, а в дальнейших опытах такого рода предположение вообще не может быть выдвинуто.

Замкнем опять искровой микрометр при помощи хорошего металлического провода, например медной проволоки диаметром 2 мм и длиной 0,5 м, согнутой в прямоугольник. При этом мы не включаем его в разрядную цепь индукционной катушки, а соединяем только один из ее полюсов с какой-нибудь точкой разрядной цепи при помощи промежуточной проволоки. На рис. 109 представлено расположение приборов: *A* — индукционная катушка, *B* — разрядник, *M* — микрометр. Во время действия индукционной катушки мы будем опять наблюдать в микрометре поток искр, достигающий иногда длины в несколько миллиметров. Этот опыт показывает, во-первых, что в момент разряда интенсивные электрические движения происходят не только в самой цепи, замыкающей разрядник, но и во всех соединенных с ним проводах; во-вторых, он показывает нагляднее, чем предыдущий опыт, что эти движения происходят очень быстро и поэтому должен быть принят во внимание даже тот промежуток времени, в продолжение которого электрические волны проходят через короткие металлические провода. В самом деле, опыт этот можно объяснить только таким образом, что изменение потенциала, создаваемого индукционной катушкой, достигает шарика 1 заметно раньше, чем шарика 2. Это явление становится поразительным, если принять во внимание, что электрические волны, насколько нам известно, распространяются в медных проволоках почти со скоростью света.

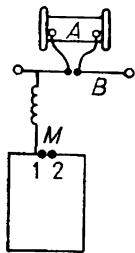


Рис. 109

Индукционные действия незамкнутых токов

Искры, появившиеся при предыдущих опытах, возникают, по нашему предположению, благодаря самоиндукции. Но если принять во внимание, что это индукционное действие вызывается крайне слабыми токами в коротких прямых проводах, то мы

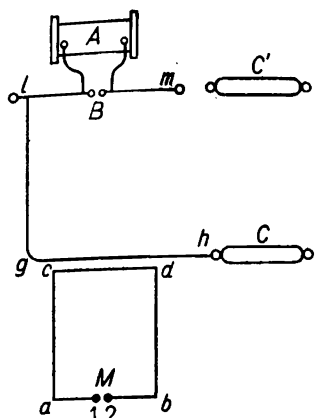


Рис. 110

вправе усомниться, действительно ли его можно считать достаточным объяснением появления искры. Для того чтобы устранить это сомнение, я старался узнать, не вызывают ли наблюдаемые электрические движения соответственных по силе действий также и в соседних проводах. Для этого я согнул из медной проволоки прямоугольнички со сторонами 10—20 см, имевшими весьма короткий искровой промежуток. Эти прямоугольнички, будучи изолированными, приближались к прямым проводам, в которых происходило движение электричества, и притом так, что одна сторона прямоугольничка была параллельна проводу. При достаточном приближении в том проводнике, который приближали, всегда появлялся поток искр, сопровождающий разряды индукционной катушки. Интенсивнее всего эти индуцированные искры появились вблизи разрядника, но они наблюдались также и около провода, ведущего к смежной цепи, равно как и у ветвей этой последней. Между индуцирующим и индуцируемым проводами разряд не происходил — это было тщательно констатировано; возможность такого разряда специально устранялась еще прокладкой твердого изолятора. В этом отношении ошибка в истолковании явления едва ли возможна. То обстоятельство, что индукция между двумя простыми короткими отрезками проволоки, в которых движутся лишь небольшие количества электричества, может все-таки возрасти до образования искры, снова указывает, что время, в продолжение которого эти небольшие количества электричества движутся в проводах туда и обратно, чрезвычайно мало.

Для того чтобы изучить эти явления поближе, я воспользовался прямоугольничком, который раньше служил смежной цепью, применяя его в качестве индуцируемого проводника. Как показывает рис. 110, вдоль короткой стороны прямоугольничка на расстоянии 3 см была натянута вторая медная проволока gh , которая соединялась с какой-нибудь точкой разрядника. Пока конец h проволоки gh был свободен, в микрометре M появлялись лишь совершенно ничтожные искорки, которые возникали под влиянием разрядных токов проволоки gh . Но в микрометре появлялись искры длиной от 1 до 2 мм, когда к h был подвешен изолированный кондуктор C , отделенный от электростатической машины, так что через проволоку должны были проходить большие количества электричества. Причиной этого не была электростатическая индукция кондуктора: когда он был подвешен вместо h в g , он не оказывал никакого действия. Зарядный ток кондуктора также не был тому причиной; это было исключитель-

но действие внезапного разряда, вызванного искрой. В самом деле, когда шарики разрядника кондуктора были раздвинуты настолько, что между ними не проскакивала искра, то и в индуцированной цепи искра также совсем не появлялась. Не всякого рода искра вызывала достаточно сильное действующий разряд. Только те искры, которые вызывали раньше сильные смежные искры, оказывались способными возбудить в данном случае индукционное действие.

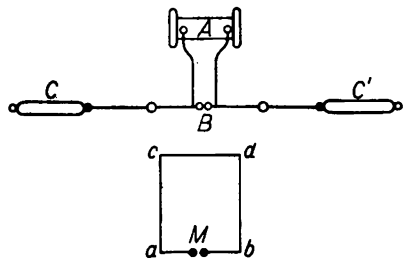


Рис. 111

Во вторичной цепи возбужденные искры переходили не только между шариками микрометра, но также и от последних к другим изолированным проводникам, которые приближались ко вторичной цепи. Искры заметно укорачивались при соединении шариков с кондукторами большой емкости или при прикосновении к одному из них рукой. Очевидно, количества электричества, приведенные в движение, были слишком малы, чтобы зарядить до полного напряжения проводник большой емкости. Наоборот, соединение обоих шариков микрометра посредством короткой влажной нитки не оказывало особенного влияния на появление искры. Физиологические действия индуцированного тока не замечались; можно было, не ощущая сотрясения, прикасаться ко вторичному проводу, замыкать его через тело. <...>

Так как при только что описанном опыте индуцированные искры достигали длины в несколько миллиметров, то я не сомневался, что при значительно большем расстоянии между действующими отрезками проволок можно было еще получить искры, и поэтому я произвел в опыте несколько изменений, представляющих интерес. Индуцирующему току я придал вид прямой линии [рис. 111], когда его образовывали кондукторы *C* и *C'*. Последние находились на расстоянии 3 м один от другого и были соединены медной проволокой толщиной 2 мм, в середине которой находился разрядник индукционной катушки. Индуцируемая цепь была такой же, как и в предыдущих опытах, т. е. шириной 80 см, длиной 120 см. Когда наименьшее расстояние между обоими проводами было взято в 50 см, то еще получались индукционные искры длиной 2 мм; когда же расстояние увеличивалось, длина искры быстро уменьшалась, но и при наименьшем расстоянии 1,5 м еще замечался регулярный поток искр. Без нарушения опыта можно было двигаться между индуцирующим проводом и индуцируемым. То обстоятельство, что наблюдаемое явление действительно имело своей причиной прямолинейный ток, было подтверждено опять несколькими проверочными опытами. Когда я удалял одну или обе половины прямолинейного провода, искры в микрометре прекращались, хотя индукционная

катушка и продолжала действовать. Точно так же искры прекращались, когда шарики разрядника были раздвинуты настолько, что это препятствовало появлению в нем искр. Так как при этом электростатические напряжения на концах кондукторов C и C' только возрастают, то это и служит доказательством того, что эти напряжения не являются причиной искр в микрометре.

Индукционный ток был до сих пор замкнутым, но легко можно было предположить, что в незамкнутом проводнике индукция проявилась бы в не меньшей степени. Поэтому параллельно прямолинейной проволоке предыдущего опыта на расстоянии 60 см была натянута вторая медная изолированная проволока. Она была несколько короче первой, на ее концах были укреплены два изолированных шара диаметром 10 см, в середину ее был введен искровой микрометр. Когда индукционная катушка была приведена в действие, поток искр катушки сопровождался потоком искр во вторичном проводе. Здесь, однако, нужно быть осторожным в толковании опыта, так как наблюдаемые искры не являются исключительно следствием индукции. Переменное движение в проводе CC' налагается на собственный разряд катушки Румкорфа. Последний же в продолжение всего своего действия обуславливает заряд кондуктора C одним знаком, кондуктора C' — другим. Эти заряды не оказывали никакого действия на замкнутую цепь предыдущего опыта, но теперь в разомкнутом проводе благодаря исключительно электростатической индукции они обуславливают противоположные заряды обеих его частей, а вместе с этим и искры в микрометре. И на самом деле, если мы в данном случае раздвинем шарики разрядника до погашения в нем искр, то в микрометре будут все еще проскакивать искры, хотя и более слабые. Эти искры зависят от электростатической индукции, присоединяющейся к тому действию, которое мы хотим выделить.

Между тем существует простой способ устранить мешающие искры. Они исчезнут, если мы устроим плохо проводящее соединение между шариками микрометра, проще всего при помощи влажной нитки. Очевидно, что проводимость этой нитки достаточна для того, чтобы позволить току следовать за сравнительно медленными изменениями заряда катушки Румкорфа, но она недостаточна, как мы уже видели, для того чтобы способствовать выравниванию электричества при крайне быстрых колебаниях в прямолинейном проводе. Если мы после присоединения нитки вызовем опять в первичной цепи искру, то и во вторичном проводе опять появятся сильные искры, но они обусловлены уже исключительно действием быстрых колебаний в первичном прямолинейном проводе. Я испытывал, на каком расстоянии будет все еще проявляться это действие. При расстоянии 1,2 м между параллельными проволоками искры были еще вполне заметны: наибольшее расстояние по перпендикуляру, на котором можно еще было устойчиво наблюдать появление искр, было 3 м. Так как электростатическое действие уменьшается с расстоянием

быстрее индукционного, то при больших расстояниях было излишним усложнять опыт применением влажной нитки; даже и без последней только такие разряды, которые возбуждают в первичной проволоке колебания, вызвали искры во вторичном проводе.

Я думаю, что здесь впервые было показано на опыте взаимодействие прямолинейных разомкнутых токов, имеющее такое большое значение для теории. <...>

Об электродинамических волнах в воздухе и их отражении

Недавно я пытался доказать на опыте, что индукционное действие распространяется в воздухе с конечной скоростью¹. Соображения, на которых базировалось это доказательство, представляются мне вполне убедительными. Однако они выводились сравнительно сложным образом из довольно сложных фактов и поэтому могут показаться не вполне очевидными тем, кто с самого начала относится к этим рассуждениям с некоторым предубеждением. Поэтому целесообразно дополнить предыдущее доказательство рассмотрением описываемых ниже явлений, в которых волнообразное распространение индукции в воздухе делается почти непосредственно осязаемым. Кроме того, эти новые явления допускают возможность непосредственного измерения длины волны в воздухе. То обстоятельство, что эта непосредственно измеренная длина лишь очень мало отличается от косвенных измерений, произведенных ранее с тем же аппаратом, служит свидетельством, что и предыдущее доказательство в основном было правильным.

Производя опыты по изучению влияния прямолинейного вибратора на некоторый вторичный проводник, я неоднократно наблюдал явления, которые, по-видимому, объяснялись отражением индукционного влияния от стен помещения. Так, например, во многих случаях удавалось наблюдать слабые искры во вторичной цепи в таких положениях, для которых они никак не могли получиться благодаря непосредственному воздействию уже из геометрических соображений симметрии, а именно главным образом вблизи твердых стен. Особенно показательными представляются мне следующие наблюдения: изучая искры во вторичном проводнике на больших расстояниях от первичного, где, разумеется, искры были очень слабыми, я замечал, что во многих положениях вторичной цепи искры явно усиливаются, когда же я приближался к твердой стене, то в непосредственной близости к последней они почти внезапно исчезали. Простейшим объяснением казалось мне следующее: волнообразно распространяющееся индукционное действие отражается от стен, причем отраженные волны в некоторых местах усиливают падаю-

щие, в других — ослабляют, так что благодаря интерференции обеих волн в воздухе образуются стоячие волны. По мере улучшения условий отражения явление делалось все более отчетливым и предложенное объяснение казалось все более вероятным. Я не буду останавливаться здесь на предварительных опытах, а непосредственно перейду к описанию основных исследований.

Физическая аудитория, в которой производились эти опыты, имеет примерно 15 м длины, 14 м ширины и 6 м высоты. Параллельно двум длинным стенам расположены два ряда железных колонн, совокупность которых в отношении электродинамического действия ведет себя подобно сплошной стене, вследствие чего пространство, находящееся за ними, не должно приниматься во внимание. Благодаря этому для опытов остается пространство 15 м длины, 8,5 м ширины, 6 м высоты. Из этого пространства я удалил висячие части газовых труб и металлические подсвечники, так что в нем остались только деревянные столы и скамейки, вынести которые было затруднительно, но которые едва ли могли оказать заметное влияние. Одна из стен, от которой должно было происходить отражение, представляла массивную стену из песчаника, в ней имелись две двери; на стене находилось значительное количество газовых труб. Чтобы придать стене свойства проводящей поверхности, на ней был укреплен цинковый лист 4 м высоты и 2 м ширины. При помощи проволок он был соединен с газопроводами и близким водопроводом, причем особое внимание уделялось тому, чтобы по возможности облегчить утечку электричества, которое может накапливаться на верхнем и нижнем концах листа.

Против середины этого листа на расстоянии 13 м, т. е. в 2 м от противоположной стены, был установлен первичный провод. Это был тот же самый провод, который применялся при прежних исследованиях скорости распространения. Этот провод был теперь установлен вертикально, так что исследуемые силы колебались в вертикальном направлении. Середина первичного проводника была поднята над полом на 2,5 м. На такой же высоте производились и наблюдения, причем между столами и скамьями был оставлен проход для наблюдателя. Назовем перпендикуляр, опущенный из середины первичной цепи на отражающую поверхность, нормалью. Наши наблюдения производились вблизи нее. Опыты при большом угле падения значительно усложняются тем, что нужно считаться с возможностью различной поляризации волн. Вертикальная плоскость, параллельная нормали, является в наших опытах плоскостью колебаний; плоскость, перпендикулярную нормали, назовем плоскостью волн.

Вторичная цепь представляла собой уже использованный ранее проводник, согнутый по кругу радиуса 35 см. Он мог вращаться вокруг оси, проходящей через его середину и перпендикулярной его плоскости. Эта ось при опытах была горизонтальной. Она была укреплена в деревянной подставке таким образом, что можно было вращать ее вместе с контуром вокруг верти-

кальной оси. Правда, в большинстве опытов проводник, закрепленный в деревянной подставке, можно было держать в руке и устанавливать в наилучшем из различных положений. Но так как тело наблюдателя всегда оказывает некоторое влияние, то наблюдения, сделанные таким образом, необходимо контролировать потом наблюдениями с большого расстояния. При этом искры были достаточно сильны и их можно было заметить в затемненном помещении на расстоянии нескольких метров, в светлом же помещении описываемые явления незаметны даже на близком расстоянии.

Явление, которое при этих условиях наиболее важно, заключается в следующем: мы совмещаем среднюю точку вторичной цепи с нормалью, располагаем ее плоскость в плоскости колебаний и затем поворачиваем искровой промежуток сначала к отражающей стене, затем в противоположном направлении. Обычно в обоих положениях искры представляются весьма различными. Так, если мы будем производить опыт на расстоянии 0,8 м от стены, искры получатся более сильными, если искровой промежуток обращен к стене. Можно так отрегулировать длину искр, чтобы при обращении искрового промежутка к стене получались устойчивые искры, но в противоположном положении искры совершенно не наблюдаются. Если мы повторим опыт на расстоянии 3 м от стены, то найдем обратное: устойчивые искры получаются при повороте искрового промежутка к стене, а отсутствие искр — при повороте от стены. Если теперь удалиться от стены на 5,5 м, то явление снова изменится на обратное: искры будут получаться на стороне, обращенной к стене, но исчезнут на другой стороне. Наконец, на расстоянии 8 м от стены мы снова будем наблюдать обратную картину, искры получаются более сильными на стороне, удаленной от стены, но различие делается менее отчетливым. В дальнейшем обращения явления не происходит, так как вблизи первичной цепи оно маскируется сильным влиянием первичных колебаний и усложненной картиной поля вблизи первичной цепи. На рис. 112, где указан масштаб расстояния от стены, в местах I, II, III и IV вторичная цепь изображена в положениях, соответствующих наиболее сильному образованию искр. Переменный характер состояния пространства отчетливо выявляется на этой фигуре.

На расстояниях, лежащих между вышеуказанными точками, искры в обоих случаях получаются одинаково интенсивными, причем в непосредственной близости к стене различие между искрами также отсутствует. Мы можем, таким образом, назвать эти точки, а именно *A*, *B*, *C*, *D* на фигуре, в известном смысле узловыми точками. Однако мы не должны считать, что расстояние от одной из этих точек до следующей равно половине длины волны. Дело в том, что если бы все электрические движения изменяли свое направление при переходе через одну из подобных точек, то явления во вторичной цепи должны были бы повторяться без всяких изменений, так как направление колебаний не

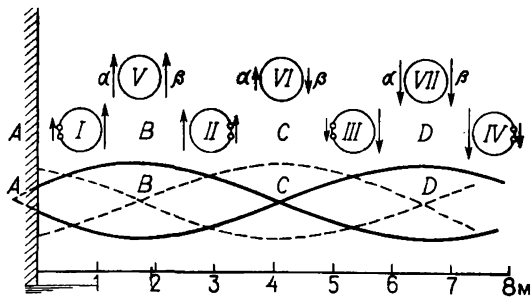


Рис. 112

волны соответствует удвоенное расстояние между подобными точками, так что эти точки могут быть названы концами четверти длины волны. Действительно, исходя из этого предположения и из изложенных выше основных представлений, мы придем к полному истолкованию явления.

Представим себе, что волна вертикальной электрической силы, распространяющаяся к стене, отражается с мало измененной интенсивностью, благодаря чему возникают стоячие волны. Если бы стена была идеально проводящей, то на ее поверхности обязательно образовалась бы узловая точка, так как электрическая сила внутри и на границе идеального проводника может быть лишь исчезающе малой. Но наша стена не является идеально проводящей, так как, во-первых, она не целиком металлическая, во-вторых, участки, покрытые металлом, не слишком велики. Поэтому на ее поверхности сила имеет еще некоторое значение, знак которого определяется проходящей волной. Поэтому узловая точка, которая при наличии идеальной проводимости получилась бы на самой стене, в действительности должна лежать за поверхностью, например в точке, обозначенной А.

Если удвоенное расстояние AB , т. е. расстояние AC , соответствует половине длины волны, то геометрическое изображение стоячей волны определится кривой, изображенной на фигуре сплошными линиями. Силы, действующие на обе стороны кругового проводника в положениях I, II, III, IV, для некоторого момента времени изображаются по величине и направлению стрелками. Таким образом, если вблизи узловой точки искровой промежуток обращен к ней, то большая сила действует в более благоприятных условиях, чем противоположная ей слабая сила, действующая в менее благоприятных условиях. Если же искровой промежуток обращен в сторону, противоположную узловой точке, то большая сила находится в менее благоприятных условиях, чем противоположная ей меньшая сила, условия действия которой более благоприятны. Какая бы из сил ни перевесила в последнем случае, несомненно, что искры окажутся более слабыми, чем в первом случае. Этим и объясняется изменение знака явления через каждую четверть длины волны.

влияет на величину искры. Из этого опыта скорее следует заключить, что при переходе через одну из подобных точек часть действий обращается, другая же часть остается без изменений. Поэтому более приемлемым является допущение, что половине длины

Наше объяснение само дает в руки средство его дальнейшей проверки. Если оно верно, то изменение знаков в точках *B* и *D* должно происходить совсем не так, как в точке *C*. Цифрами V, VI, VII отмечены положения цепи для этих точек и соответствующие силы. Легко видеть, что если мы, находясь в положении *B* или *D*, будем вращать цепь в ее собственной плоскости, то колебание изменит свое направление относительно некоторого фиксированного направления в цепи, а потому при вращении цепи искры должны обращаться в нуль один раз или же нечетное число раз. Напротив, при аналогичном процессе в *C* колебание не изменяет своего направления, а потому искры не должны исчезать совершенно или же должны исчезать четное число раз. Действительно, если произвести соответствующий опыт, то мы заметим, что в *B* интенсивность искр падает при удалении искрового промежутка из положения α , обращается в нуль в наивысшей точке и снова возрастает до первоначального значения при приближении к положению β . То же наблюдается и в *D*. Но в *C* вращение не изменяет картины искр; они лишь немного усиливаются в наивысшей и наинизшей точках. Далее, наблюдатель может установить, что изменение в *C* возникает при значительно меньших смещениях, чем в *B* и *D*, так что и в этом отношении изменение знака в точке *C* происходит отлично от изменений в точках *B* и *D*. <...>

Продолжим теперь наши исследования в другом направлении. До сих пор вторичный проводник находился между отражающей стеной и первичным проводником, т. е. в пространстве, в котором прямая и отраженные волны распространяются во взаимно противоположных направлениях и, интерферируя, образуют стоячие волны. Если же первичную цепь расположить между стеной и вторичной цепью, то последняя будет находиться в пространстве, в котором прямая и отраженная волны распространяются в одинаковом направлении. В этом случае они будут складываться в общую бегущую волну, интенсивность которой будет, однако, зависеть от разности фаз обеих интерферирующих волн. Для получения отчетливой картины этого явления обе волны должны иметь приблизительно одинаковую интенсивность, а потому расстояние первичного проводника от стены не должно быть велико по сравнению с размерами стены и должно быть мало по сравнению с расстоянием до вторичной цепи. Для выяснения вопроса о том, может ли это явление наблюдаться в действительности, я произвел следующий опыт. Вторичная цепь была расположена на расстоянии 14 м от отражающей стены, т. е. примерно в 1 м от противоположной стены. Ее плоскость была параллельна вышеупомянутой колебательной плоскости, а искровой промежуток был обращен к более близкой стене, так что условия для возникновения в нем искр были наиболее благоприятными. Первичная цепь, расположенная параллельно первоначальному положению, находилась против середины отражающей стены, причем сначала была удалена от нее на очень

малое расстояние — около 30 см. При этом искры во второй цепи были весьма слабы; искровой промежуток был отрегулирован так, чтобы искры совершенно исчезли. Теперь первичная цепь постепенно удалялась от стены. Вскоре во вторичной цепи появились отдельные искры, перешедшие в дальнейшем в непрерывную искру, когда первичный проводник находился на расстоянии 1,5—2 м от стены (отражающей), т. е. приблизительно в точке В. Это можно было бы приписать уменьшению расстояния между обоими проводниками. Однако при дальнейшем удалении первичного проводника от отражающей стены, т. е. при приближении его ко вторичному проводнику, искры снова ослаблялись, а непрерывная искра прекратилась, когда первичный проводник достиг точки С. При дальнейшем приближении искры непрерывно усиливались. Точное измерение длины волны в этих опытах невозможно, но из сказанного выше следует, что полученная ранее длина волны соответствует рассматриваемому явлению. Подобные же опыты могут быть очень хорошо проведены и с маленьким аппаратом. Соответствующий первичный проводник был установлен на расстоянии 1 м от отражающей стены, а вторичный проводник — на расстоянии 9 м. При этом искры в последнем были весьма слабы, но все же вполне доступны наблюдению. Они гасли, когда первичный проводник был смещен из первоначального положения, причем его можно было смещать как по направлению к стене, так и по направлению ко вторичному проводнику. Но когда расстояние его до стены составило 3 м, искры снова возникли, а при дальнейшем приближении ко вторичному проводнику уже не исчезали. Замечательно, что на одном и том же расстоянии (около 2 м) присутствие стены оказывается благоприятным в случае более медленных колебаний, но ухудшает условия распространения индукции в случае более быстрых колебаний. Это с очевидностью доказывает, что положение особых точек волны определяется размерами колебательных цепей, но не размерами стены или помещения.

Описанному опыту соответствует в акустике опыт, показывающий, что при приближении камертона к твердой стене звук его на определенных расстояниях усиливается, на других же ослабляется. В оптике аналогией нашему опыту является опыт Ллойда с зеркалами Френеля. В оптике и акустике эти опыты рассматриваются как доказательства волновой природы света и звука; поэтому описанные здесь явления следует рассматривать как доказательства волнового распространения индукционного действия электрических колебаний.

Опыты, описанные в этой статье, как и предшествовавшие опыты по распространению индукции, изложены без ссылок на какую-либо специальную теорию, так как убедительность этих опытов независима от какой бы то ни было теории. Однако ясно, что эти опыты могут служить обоснованием для той теории электродинамических явлений, которую создал Максвелл, осно-

вываясь на воззрениях Фарадея. Мне кажется, что в настоящее время связанная с этой теорией гипотеза о природе света получает еще большую убедительность, чем до настоящего времени. Весьма интересна идея, что изученные нами процессы в воздухе представляют те же явления, которые происходят между ньютоновскими стеклами или вблизи зеркал Френеля, но увеличенные в миллионы раз.

Максвелловская теория, несмотря на ее внутреннюю убедительность, нуждается как в описанных подтверждениях, так и в дальнейших. Это доказывается, если вообще требуется подобное доказательство, тем фактом, что скорость распространения электрических действий по хорошо проводящим проволокам не совпадает со скоростью распространения их в воздухе. До настоящего времени все теории, в том числе и максвелловская, приводят к заключению, что электричество распространяется по проволокам со скоростью света. Я надеюсь, что со временем мне удастся сообщить об опытах, объясняющих причину этого расхождения между теорией и опытом².

Комментарий

Перевод с немецкого работы Г. Герца «О весьма быстрых электрических колебаниях» выполнен И. Мчедловым, работы «Об электродинамических волнах в воздухе и их отражении» — Н. Н. Маловым. Отрывки из них воспроизводятся по изданию: Из предыстории радио. Сост. С. М. Рытов/Под ред. Л. И. Мандельштама. М. — Л. (Первые публикации статей: *Annalen der Physik*, 1887, Bd. 31, s. 421—448; 1888, Bd. 34, s. 609—623.), 1948.

¹ Речь идет о статье Герца «О скорости распространения электродинамического действия», опубликованной в 1888 г.

² В 1891 г. Герц сделал примечание: «Это замечание касается опытов по распространению в проводах, производившихся мною во время писания статьи. <...> Высказанная мною надежда не оправдалась».

Литература

- [1] Собрание сочинений Г. Герца: Hertz H. *Gesammelte Werke*. Bd. 1 *Schriften vermischten Inhalts*. Leipzig, 1895. Bd. 2 *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft*. Leipzig, 1892. Bd. 3 *Die Prinzipien der Mechanik, in neuem Zusammenhang*. Leipzig, 1894.
 - [2] Heinrich Hertz: *Erinnerungen, Briefe, Tagebücher*. Leipzig, 1927.
 - [3] Григорьян А. Т., Вяльцев А. Н. Генрих Герц. М., 1968.
-

Голин Г. М., Филонович С. Р.

Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.): Справ. пособие. — М.: Высш. шк., 1989. — 576 с.: ил. ISBN 5-06-000058-3