

Глава II ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

§ 6. С чего начинается электричество. Первые загадки и логические ошибки, допущенные при знакомстве с этим явлением

Первые серьезные научные работы в области электричества были выполнены Бенджамином Франклином (1706 – 1790).

В 1746-54 гг. он осуществил ряд экспериментальных исследований, принесших ему широкую известность [1]. Франклин объяснил действие лейденской банки, построил первый плоский конденсатор, состоящий из двух параллельных металлических пластин, разделенных стеклянной прослойкой, изобрел в 1750 г. молниеотвод, доказал в 1753 г. электрическую природу молнии (опыт с воздушным змеем) и тождественность земного и атмосферного электричества. В 1750 г. он разработал теорию электрических явлений – так называемую “унитарную теорию”, согласно которой электричество представляет собой особую тонкую жидкость, пронизывающую все тела. В каждом незаряженном теле, по представлениям Франклина, всегда содержится определенное количество “электрической жидкости”. Если по каким-либо причинам в теле появляется ее избыток, то тело заряжается положительно, когда ее недостает – отрицательно.

Здесь мы видим, что Франклин подходит к явлению электричества с макроскопической точки зрения, т.е. эмпирически, и под “электрической жидкостью” с точностью до знака следует понимать просто электроны. Такое название возникло по той причине, что количество этой “таинственной жидкости” в телах можно было плавно изменять: убавлять или прибавлять.

В этой теории Франклина впервые было введено понятие положительного и отрицательного электричества. Исходя из своей теории, он объяснял наблюдаемые им явления. В унитарной теории Франклина содержался закон сохранения “электрической жидкости” или электрического заряда в современном представлении.

Это были первые макроскопические, опытные представления о кулоновских полях. Впоследствии эти макроскопические представления были перенесены на микрочастицы. По аналогии с макроскопическими телами физики стали представлять себе микрочастицы не иначе как заряженные некоторой “электрической жидкостью”, которая до последнего времени оставалась загадкой.

Таким образом, мы видим, что исторически понятие “электрический заряд” было введено в то время, когда носители электрических явлений – электроны, позитроны и другие элементарные частицы еще не были известны. При этом заряд воспринимался макроскопически как некоторая непрерывная субстанция вроде жидкости, которую можно добавлять или убавлять на поверхности диэлектриков, т.е. как бы “заряжать” или “разряжать” поверхность стекла, янтаря и т.д. Аналогами понятия

“электрический заряд” можно назвать “теплород” или “флогистон”, которые были в употреблении в то время, когда физики весьма смутно представляли себе тепловые явления в веществах. Сюда же можно отнести и самую обычную влагу, которую можно также наносить на поверхность твердых тел.

Поскольку электрические и магнитные явления вплоть до последнего времени, в принципе, в должной степени не поняты, то и в настоящее время понятие “электрический заряд” многими воспринимается макроскопически, т.е. этой “жидкостью” физики “заряжают” даже элементарные частицы. Искать заряд на электроне, позитроне или внутри протона и нейтрона – столь же нелепое занятие, как, например, поиск влаги внутри молекулы воды H_2O .

Достаточно вспомнить историю давно прошедших лет с теплородом, чтобы понять, насколько иные представления, пусть даже и очевидные на первый взгляд, порой бывают абсурдны. Ведь когда мы говорим об электромагнитных явлениях, то речь идет на самом деле не о каких-то там отвлеченных зарядах, а о силовых взаимодействиях между частицами, осуществляющихся через посредника, которым является физический вакуум или более привычно – эфир. В этом случае снимаются какие-либо условности, и мы непосредственно переходим к реальным механизмам взаимодействий. Остается только последовательно, опираясь на логику, проанализировать различные возможные варианты подобных взаимодействий.

Термин “заряженная частица” был введен Г. Лоренцем в отношении электрона. Получалось так, что электрон, как и другие макроскопические тела, тоже был “заряжен” этой таинственной макроскопической “электрической жидкостью”, т.е. опять же электронами, поскольку под “электрической жидкостью” понимались в дальнейшем именно электроны.

Нетрудно заметить, что при введении терминов “электрическая жидкость” и “заряд” в отношении электрона и других микрочастиц появляется явное как логическое, так и семантическое противоречие, поскольку макроскопическое свойство многих тел, а именно, способность “заряжаться” были перенесены на отдельный электрон. При этом “заряд” приобрел некую реальность вне зависимости от материальных объектов. Получается так, что любое тело, а в равной степени и электрон можно зарядить “зарядом”. Здесь явно просматривается неверное использование русского языка, поскольку зарядить материальный объект можно чем угодно, но только не зарядом.¹ Слово “заряд” при этом очень часто используется как

¹ Глагол “зарядить” подразумевает выполнение такого действия, когда в некий исходный объект вносится (добавляется) некоторая дополнительная сущность, способная изменить качественное состояние объекта. Например, можно зарядить ружье, зарядить аккумулятор, зарядить (купюрами) банкомат, зарядить (чернилами) авторучку, зарядить клоунский реквизит (кролика засунуть в шляпу, а пятого туза – за манжету), заправить (зарядить), наконец, бензобак автомобиля, завести (зарядить) будильник. Электрон зарядить нельзя. Быть “заряженным” – это его “врожденное” свойство, природная данность, если угодно – от Бога.

обычный жаргон в том случае, когда всем хорошо понятно, что под этим подразумевается.

Чтобы лучше понять это логическое несоответствие, приведем в качестве аналога для “электрической жидкости” обыкновенную влагу, как макроскопическое свойство тел. Древним аналогом “электричества” можно назвать “теплород” как очень удобное понятие в области теплоты. Избыток влаги делает тела влажными и даже мокрыми, недостаток же ее делает тела сухими. По аналогии с “электрической жидкостью” элементарным носителем влаги является молекула воды. По аналогии с понятием “заряженная частица” можно рассматривать понятие “влажная молекула” как носитель влаги. Здесь мы хорошо видим явный парадокс и логическое противоречие, поскольку некоторое макроскопическое свойство тел перенесено на отдельную молекулу.

В случае же электрона вопрос с его “зарядом” оказался более завуалированным, поскольку в области электричества и электромагнитных явлений до сих пор существует масса неясностей. Более естественным, на наш взгляд, был бы следующий подход. Следует обратить внимание не на таинственные “заряды” частиц, а на силовые поля, которые возникают вокруг электронов и других частиц. Полезно также обратить внимание на причину возникновения силового поля и на его материальный носитель – эфир или, по-современному, – физический вакуум. В этом случае пришлось бы рассматривать не “светоносный эфир”, а эфир как формирователь силового поля, и это могло бы привести к более раннему, на наш взгляд, пониманию эфира как переносчика силовых взаимодействий между частицами.

В физическом энциклопедическом словаре [2] понятие “электрический заряд” рассматривается как “внутренняя характеристика” элементарной частицы, что явно не соответствует действительности. Реально же наблюдаются как раз только внешние проявления электромагнитных явлений в пространстве вокруг частиц, а у таких частиц как электроны и позитроны мы никогда не имеем дело с их внутренними свойствами, а имеем дело с силовыми полями, окружающими эти частицы. В отношении же протонов, нейтронов, мезонов и других более сложных частиц разговор следует вести отдельно, поскольку они обладают вполне ощутимыми размерами и, по всей вероятности, сложной структурой.

Когда мы проводим эксперименты с электронами или ионами, у которых недостает одного или нескольких электронов до полного нейтрального атома, то мы имеем дело не с таинственными зарядами, а с непосредственными механическими силами, действующими между частицами, которые могут порой достигать огромной величины (Фейнман). Эти силы в физике стали характеризоваться и описываться электрическими и магнитными полями, однако это мало что меняет в понимании природы данных сил. Слово “сила” заменяется словом “поле”, а что вызывает такую силу, остается пока скрытым. Поэтому продолжим наши исследования.

Из самых общих соображений понятно, что для реализации силы, действующей на расстоянии между двумя объектами, требуется

определенный посредник. Рассмотрим различные варианты такого взаимодействия. Например, частицы могут обстреливать друг друга какими-нибудь “маленькими снарядами”, стараясь тем самым оттолкнуть соседа. Однако это не может продолжаться вечно, поскольку рано или поздно запас этих снарядов все равно иссякнет. Кроме снарядов, частицы могут “озвучивать” друг друга, т.е. облучать какими-нибудь волнами, что может привести к похожему эффекту. Но и на это требуются определенные затраты энергии, запасы которой у маленьких частиц не могут быть безграничными. Следует также заметить, что при помощи испущенных снарядов или волн они смогут только оттолкнуть друг друга, но при этом никогда не будут притягиваться. Опыт же показывает, что электроны всегда между собой отталкиваются, а между электронами и ядрами в атомах или между электронами и позитронами всегда действуют силы притяжения. Следовательно, предложенные нами версии для объяснения этих сил явно не подходят. Поэтому следует рассмотреть и другие варианты.

Сами частицы могут быть вообще пассивными участниками событий, т.е. ничего не генерировать изнутри, а просто подвергаться внешнему облучению. Это могут быть: либо рой, состоящий из более мелких частиц, которые непрерывно “обстреливают” электроны, протоны, нейтроны, позитроны и т.д., либо это может быть океан некоторой непрерывной среды, насыщенной энергией в виде упругих волн. Тогда пассивные наблюдаемые частицы стали бы играть роль поплавков или буйков в бушующем океане волн.

Первый из этих вариантов был предложен в 1784 г. швейцарским физиком Ж.Л. Лесажем (1724-1803), однако он не принес заметного успеха автору этой гипотезы. Второй вариант, а именно с волнами, которые непрерывно омывают частицы, был рассмотрен норвежскими физиками К.А. Бьёркнесом (1825-1903) и В.Ф. Бьёркнесом (1862-1951), а также русским физиком А.Л. Шаляпиным [3-5]. Он является наиболее интересным, поскольку приводит к многочисленным эффектам, которые как раз и наблюдаются в природе.

В случае волн в некоторой среде вся роль частиц будет сводиться, в основном, просто к рассеянию этих волн.

Электричество и магнетизм, а также все сопутствующие им эффекты, являются одними из наиболее необычных и сложных явлений природы. Они гораздо труднее поддаются пониманию и изучению студентами и школьниками по сравнению с простыми механическими явлениями. Так с чего же лучше всего начать?

В современной физике принято считать, что электрические и магнитные явления имеют не механическую природу, поэтому в рамках квантовой теории электромагнитные явления стали интерпретироваться на языке квантов и фотонов. Однако отказаться от механической природы силовых электромагнитных полей равносильно тому, как если бы понятие силы во втором законе Ньютона мы отнесли к категории не механического происхождения. Таким образом, в современной физике все перемешалось.

Так, где же находится истина? Попробуем все вместе постепенно в этом как можно лучше разобраться.

Если полагать, что знакомство с электричеством следует начинать с зарядов, как это обычно принято в учебниках в разделе «Электростатика», то это будет, по всей вероятности, не совсем оптимальный вариант, поскольку о самих зарядах у нас складываются также весьма туманные представления, как и в целом об электричестве. Ведь рассматривать одну только электростатику в отрыве от других явлений равносильно тому, как если бы мы рассматривали всего лишь мгновенный фотоснимок какого-нибудь сложного процесса, пытаясь угадать: а что там будет дальше? Поэтому лучше всего пройти в экспериментальную лабораторию и начинать знакомство с этими явлениями при помощи непосредственных наблюдений.

§ 7. Природа кулоновского поля. Мысленный эксперимент

Изучение электрических явлений, как в школе, так и в вузах начинается, как правило, в статическом режиме, т.е. в электростатике. Вполне понятно, что такой подход не дает полного представления о кулоновском поле, о его природе, как и отдельный фотоснимок сложного процесса. Поэтому следует прибегнуть к более детальному рассмотрению.

Вместо статики мы рассмотрим электрическое поле Кулона в динамике. Для этого проведем мысленный эксперимент (рис. 7.1). Подвесим металлический шар на нити и создадим на шаре некоторый избыток из Z электронов с общим зарядом $q = Ze$. В точке 1 появится электростатическое поле с напряженностью

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (7.1)$$

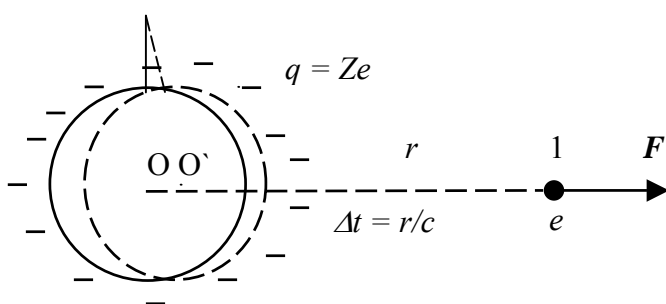


Рис. 7.1. Мысленный эксперимент для выявления эффекта запаздывания кулоновского поля в точке 1 при покачивании заряженного электронами шара.

Если в точку 1 поместить электрон, то на него будет действовать кулоновская сила

$$F = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (7.2)$$

Теперь сместим шар в новое положение из центра O в центр O' . Поскольку взаимодействия в природе не могут распространяться мгновенно, то сила F не может измениться одновременно с перемещением шара.

Произойдет некоторое запаздывание в передаче силы на величину $\Delta t = \frac{r}{c}$,

где c – скорость волн, при помощи которых реализуется кулоновское взаимодействие. В данном случае мы имеем дело с продольными кулоновскими волнами, поскольку сила F направлена вдоль распространения этих волн. Рассмотренный эксперимент не позволит нам зафиксировать величину Δt , поскольку перемещение шара происходит очень медленно по сравнению с огромной скоростью волн.

§ 8. Реальное наблюдение продольных электрических волн

Эффект запаздывания взаимодействия, обусловленный конечной скоростью распространения продольных электрических волн, можно зафиксировать электронными приборами, если несколько видоизменить наш мысленный эксперимент, который был рассмотрен на рис. 7.1. Для этого шар с избыточными электронами можно оставить неподвижным, но следует заставить двигаться сами электроны, что может происходить значительно быстрее. Схема такого эксперимента представлена на рисунке 8.1.

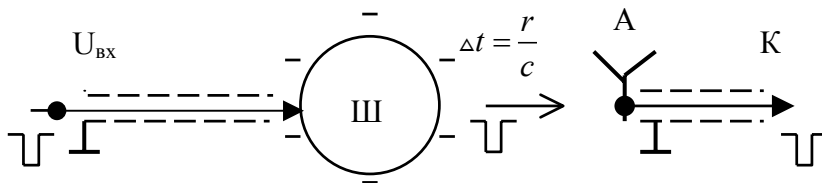


Рис. 8.1. Передача продольной электрической волны на близкое расстояние по воздуху.

Отрицательный импульс напряжения $U_{вх}$ подается на вход по кабелю к металлическому шару III, создавая на нем на короткое время избыток электронов. Кулоновское поле шара начинает быстро изменяться, что фиксируется приемной антенной А. Электрический импульс от антенны передается далее по кабелю к усилителю. По времени задержки между выходным и входным импульсом можно судить о времени прохождения продольной электрической волны расстояния r по воздуху. Поскольку

продольная электрическая волна от шара очень быстро затухает, то передать ее удастся лишь на малое расстояние, что существенно затрудняет измерение очень коротких импульсов.

Гораздо лучшие результаты можно получить, передавая продольные электрические волны по длинным проводам или по коаксиальному кабелю (рис.8.2).

В этом случае затухание волн незначительно, и расстояние передачи может достигать многие сотни и даже тысячи километров. Такая линия передачи играет роль линии задержки с временем задержки $\Delta t = \frac{L}{v}$, где L — длина линии передачи и v — скорость продольной электрической волны в кабеле. При этих условиях время прохождения волны по кабелю измеряется очень легко с помощью самого обычного осциллографа.

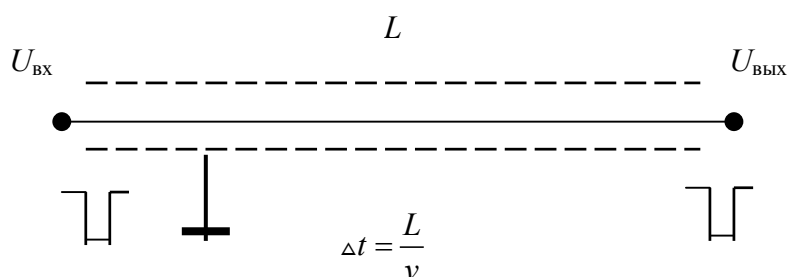


Рис. 8.2. Передача продольных электрических волн по длинному кабелю на большие расстояния. Кабельная линия задержки.

Продольные электрические волны очень легко передаются по металлическому проводу, поскольку свободные электроны металла, находясь на достаточно близком расстоянии друг от друга, при малейшем смещении от положения равновесия посредством кулоновского поля подталкивают соседние электроны, смещая их в том же направлении. Таким образом, процесс смещения электронов развивается по цепочке вдоль провода и быстро достигает противоположного конца проводника. При этом не трудно подсчитать, что средняя скорость электронов в проводе на много порядков меньше по сравнению со скоростью продольных электрических волн. Так, например, в медном проводнике сечением 1 мм^2 при силе тока 1 А средняя скорость направленного перемещения электронов вдоль провода составляет менее $0,2 \text{ мм/с}$. Такой результат получается, если принять диаметр атома меди около 3 \AA и учесть, что каждый атом меди поставляет один электрон проводимости.

Итак, мы установили, что кулоновское поле вокруг электронов формируется за счет некоторых силовых продольных волн, распространяющихся в эфире со скоростью c . Эти волны переносят с собой энергию, поскольку кулоновское поле способно совершать механическую работу над частицами, помещенными в это поле.

Остается предположить, что эти продольные электрические волны являются обычными упругими возмущениями, т.е. деформациями эфира, которые и рассеиваются во все стороны электронами, позитронами, а также другими более сложными частицами, помещенными в данную среду. Наглядное представление подобному процессу являли бы рассеянные буйками на поверхности воды волны. В результате рассеяния упругих волн, появляется сила (назовите ее – сила тяги, давления, рассеяния), которая и совершает работу над частицей. Таким образом, все электромагнитные явления можно полностью перевести на язык обычной механики, а еще точнее – акустики со всеми ее фундаментальными законами сохранения.

Вполне естественно предположить, что эти упругие возмущения эфира представляют собой случайные волны со сплошным спектром частот, т.е. без каких-либо выделенных гармоник, поскольку последние могли бы быть зафиксированы с помощью спектральных приборов. Такого типа волны можно наблюдать на волнующейся поверхности моря или океана при слабом ветре. И рассеяние подобных волн можно наблюдать, еще раз повторимся, при помощи обычных буйков или поплавков.