

Но это значит, что на очень больших расстояниях, на которых пренебрежимо постоянное электрическое поле, на которых уже не заметно непосредственное электростатическое воздействие заряда на заряд, переменное поле волны может быть заметным. Колебания одного заряда вызовут колебания поля, а колебания поля вызовут колебания другого заряда, находящегося вдали от первого. Благодаря электромагнитным волнам возможна передача сигнала на большие расстояния. Свойства света дают возможность определить, откуда, с какого направления пришли волны — и очень много узнать об их источнике.

Г. Герц провел первые опыты с искусственно созданными генераторами электромагнитных волн. Он доказал в своих исследованиях, что электромагнитные волны действительно существуют. Но Г. Герц так и не узнал о важнейшем практическом следствии своих исследований. Спустя год после его смерти, 7 мая 1895 г., А. С. Попов сообщил о возможности приема электромагнитных сигналов, а 24 марта 1896 г. с помощью своих приборов Попов передал первую в мире радиограмму, состоявшую из двух слов «Генрих Герц»...

Возникла радиосвязь. Для ее технического внедрения многое сделал Г. Маркони, подавший в 1896 г. заявку и получивший в 1897 г. патент на применение электромагнитных волн для беспроволочной связи. Но нельзя забывать, что роль первооткрывателя радиосвязи принадлежит А. С. Попову.

Электричество, магнетизм и принцип относительности

Если электрический заряд покоится, он является источником электрического поля. Если же заряд движется, то течет электрический ток — источник магнитного поля. Движущийся заряд одновременно является источником и электрического и магнитного поля. Однако, сказав «движущийся», мы упустили одно важное обстоятельство: относительно кого движущийся? Ведь мы можем двигаться сами, вслед за движущимся зарядом, мы, в принципе, можем его нагнать и двигаться с той же скоростью, что и он. Но тогда какой же это движущийся заряд? Для движущегося вместе с зарядом наблюдателя заряд

выглядит как покоящийся, такой наблюдатель не видит движения заряда, не может наблюдать никакого тока. Но если заряд покоящийся, и тока нет — нет и источника магнитного поля. Для движущегося с зарядом наблюдателя магнитное действие заряда должно исчезать. Но мы-то знаем, что заряд движется. Его магнитное поле действует на провод с током. Нам жаль беднягу движущегося наблюдателя: наблюдать-то ему нечего. Зря только следит за своим проводом — на него не может действовать никакая сила. Провод с током, как нам кажется, электрически нейтрален. Электростатической силы быть не должно. В его системе заряд покоится, тока нет, значит и магнитное поле на провод не действует. «Остановись! — крикнем мы ему. Он остановится и спросит, в чем дело. «Зря следишь за своим проводом: тебе же нечего наблюдать». — «Как нечего? На мой провод действует точно такая же сила, что и на ваш», — с удивлением скажет он и продолжит свое движение вместе с зарядом.

Что же произошло? По нашему представлению движущийся вместе с зарядом наблюдатель не должен обнаруживать никакого действия заряда на провод с током — а он его обнаруживает.

Здесь в игру вступает фундаментальный физический принцип — *принцип относительности*. Впервые этот принцип сформулировал для физических процессов Галилео Галилей в своем знаменитом «Диалоге о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой»:

«Уединитесь с кем-либо из друзей в просторное помещение под палубой какого-нибудь корабля, запаситесь мухами, бабочками и другими подобными мелкими летающими насекомыми; пусть будет у вас там также большой сосуд с водой и плавающими в нем маленькими рыбками: подвесьте далее, наверху, ведро, из которого вода будет капать капля за каплей в другой сосуд с узким горлышком, подставленный внизу. Пока корабль стоит неподвижно, наблюдайте прилежно, как мелкие летящие животные с одной и той же скоростью движутся во все стороны помещения; рыбы, как вы увидите, будут плавать безразлично во всех направлениях; все падающие капли поладут в подставленный сосуд, и вам, бросая другу какой-нибудь предмет, не придется бросать его с большей силой в одну сторону, чем в другую, если

расстояния будут одни и те же; и если вы будете прыгать сразу двумя ногами, то сделаете прыжок на одинаковое расстояние в любом направлении. Прилежно наблюдайте все это, хотя у нас не возникает никакого сомнения в том, что, пока корабль стоит неподвижно, все должно происходить именно так. Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью и тогда (если только движение будет равномерным и без качки в ту или другую сторону) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, двигается ли корабль или стоит неподвижно...»

Согласно принципу относительности любому физическому процессу, наблюдаемому в одной системе отсчета, можно сопоставить другой процесс, наблюдаемый в системе отсчета, движущейся относительно первой равномерно и прямолинейно, что делает обе системы неразличимыми. Но есть и другая формулировка принципа относительности: одно и то же явление можно описать в двух разных системах внешне по-разному, но физическая природа явления остается при этом неизменной. Так, свободное равноускоренное

падение тела под действием силы тяжести $z = -\frac{gt^2}{2}$,

$x = y = 0$ в одной системе есть движение по прямой, но для равномерно движущегося относительно этой

системы наблюдателя это падение есть $z = \frac{gt^2}{2}$,

$x = vt$, $y = 0$ — движение по параболе. Очевидно, что причина падения — тяготение — при этом одна и та же. К концу XIX в. принцип относительности считался твердо установленным для механических процессов. Но при анализе явлений электромагнитных возникали парадоксы, связанные с тем, что скорость распространения электромагнитного воздействия не бесконечна, что она конечна и равна скорости света. Это обстоятельство заставляет более строго относиться к понятиям, которые нам кажутся очевидными. С подобным парадоксом мы и столкнулись.

Последовательное применение принципа относительности к электрическим и магнитным явлениям с учетом конечной скорости распространения взаимодействия легло в основу *специальной теории относительности*. Поясним на основе этой теории, почему же

все-таки и мы, и движущийся с зарядом наблюдатель наблюдаем одно и то же явление.

Согласно теории относительности любой физический процесс происходит одинаково для неподвижного наблюдателя и для наблюдателя, движущегося прямолинейно и равномерно. Физический процесс — взаимодействие движущегося заряда и провода с током — одинаков и в неподвижной, и в движущейся равномерно и прямолинейно системах отсчета. Но причины

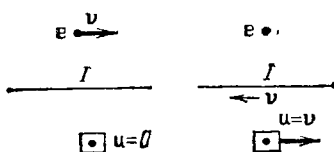


Рис. 8. Неподвижный наблюдатель (его скорость $u = 0$) наблюдает электрон, движущийся со скоростью v , и неподвижный провод с током I . Для наблюдателя, движущегося со скоростью $u = v$, электрон неподвижен, а движется со скоростью v провод с током

движущийся наблюдатель? Для него заряд неподвижен — наблюдатель движется вместе с зарядом. Поэтому он не может говорить о действии магнитного поля заряда. Но — и тут-то вступает в игру теория относительности — для него провод с током уже не электрически нейтрален. Он наблюдает не только определенную плотность тока в проводе. Он наблюдает определенную плотность электрического заряда. Причем эта плотность заряда оказывается точно такой, которая необходима, чтобы вызвать силу электрического взаимодействия заряда с проводом, равную наблюдаемой нами силе магнитного взаимодействия движущегося заряда и тока.

Итак, получается, что на вещество провода оказывает воздействие некоторое особое состояние пространства, окружающего заряд. В связанной с нами системе отсчета мы называем это состояние пространства магнитным полем. В системе, движущейся вместе с зарядом, — электрическим полем. Принцип относительности говорит нам, что воздействие в любой инерциальной системе отсчета будет тем же самым. Но

взаимодействия объясняются неподвижным и движущимся наблюдателями по-разному (рис. 8). Неподвижные наблюдатели — мы — наблюдаем действие магнитного поля движущегося заряда. Вещество провода с током для нас электрически нейтрально. Электрическое поле заряда на него не действует. А как объясняет взаимодействие заряда и провода с током

это значит, что названия «электрическое поле» и «магнитное поле» до некоторой степени условны. Одно и то же воздействие, вызываемое одним и тем же состоянием пространства, в разных системах отсчета мы называем по-разному. В действительности *нет* чисто электрического и чисто магнитного взаимодействия — есть единое взаимодействие, по-разному называемое в разных системах отсчета.

В том же смысле нет разницы между движущимся и неподвижным зарядом — в разных инерциальных системах один и тот же заряд мы называем неподвижным зарядом или зарядом движущимся — электрическим током. Так теория относительности соединяет заряд и ток в единое целое.

Здесь же сразу укажем, что полной эквивалентности все же нет. Покоящийся электрический заряд — источник электрического поля. Движущийся — электрического и магнитного. Не существует, однако, такой системы отсчета, в которой он являлся бы источником одного только магнитного поля. С другой стороны, провод с током в неподвижной системе отсчета обладает одной только плотностью тока, а плотность заряда в нем равна нулю. В движущейся системе отсчета мы наблюдаем в нем наряду с плотностью тока и плотность заряда. Не существует, однако, такой системы отсчета, в которой в нем наблюдалась бы одна только плотность заряда и не наблюдалась бы плотность тока.

Физическая природа такой неэквивалентности связана со строением вещества. В веществе есть электрические заряды, а магнитных зарядов нет. В пустоте электрическое и магнитное поля выступают равноправно, как, например, в электромагнитной волне. При наличии вещества именно потому, что в нем существуют электрические заряды, электростатическое поле приводит к разряду и не может быть сделано сколь угодно большим. Если электрическое и магнитное поля измеряются в одних и тех же единицах (как это имеет место в системе единиц, применяемой в атомной физике), то оказывается, что магнитные поля могут быть на практике значительно больше, чем электрические.

Теория относительности накладывает ограничения и на взаимное превращение электрических и магнитных полей в движущихся системах отсчета. Оказы-

вается, что независимо от системы отсчета величины $E^2 - H^2$ и $E \cdot H$ имеют одно и то же значение. Поэтому, если в какой-то системе E и H направлены перпендикулярно друг другу, так что $E \cdot H = 0$, то так будет и во всех других системах отсчета. Если в какой-то системе, например, $E \neq 0$, а $H = 0$, то в движущейся системе появляется *наряду* с электрическим и магнитное поле: $E \neq 0$ и $H \neq 0$. Однако в этом случае не существует системы отсчета, в которой имеется только магнитное поле, а электрическое поле отсутствует. Более того, в любой системе сохраняется неравенство $|E| > |H|$.

Порожденная парадоксами, связанными с конечностью скорости света, специальная теория относительности вышла благодаря гению Эйнштейна далеко за рамки электромагнетизма, изменив привычные представления о пространстве и времени. Вследствие конечной скорости распространения сигналов, измерения пространственных и временных интервалов потеряли свой абсолютный смысл. Временной промежуток между двумя событиями и расстояние между ними в пространстве выступают как временная и пространственная компоненты единого пространственно-временного 4-вектора. (Что такое вектор и, в частности, 4-вектор, вы можете узнать в Математическом дополнении, с. 188.) Величина этих компонент зависит от выбора движущейся системы отсчета, и определенным образом меняется при переходе к другой системе, отражая связь этих компонент. Отсылая интересующего читателя к многочисленной популярной литературе по теории относительности или к учебнику физики для 10 класса, отметим, что в теории относительности понятия плотности заряда и плотности тока оказываются связанными. Они становятся временной и пространственной компонентами единого 4-вектора плотности электромагнитного тока. Но связь между этими компонентами подчиняется определенным условиям, она не может быть произвольной. Относительность понятий не меняет некоторых абсолютных, не зависящих от системы отсчета связей.