

Механические движения зарядов и магнитов. Ускоренное движение зарядов

Посмотрим теперь, как отражаются простые механические движения источников полей (зарядов и магнитов) в учении об электрических явлениях. То есть постараемся *соотнести понятия*. Мы попробуем *не пользоваться понятием точечного заряда* (т.е. заряда бесконечно малых размеров), поскольку это понятие немедленно приведёт к несуразностям, сильно мешающим пониманию. Вместо этого мы будем считать все заряды *маленькими сферами* с радиусом r_0 и величиной заряда q . Зарядом (величиной заряда) называется «физическая величина, характеризующая свойство тел или частиц вступать в электромагнитные взаимодействия и определяющая значение сил и энергий при таких взаимодействиях»[2, с.176]. Пусть в начальный момент времени эта заряженная сфера (заряд) покоится в начале координат. Поле этой сферы (вне её самой) сферически симметрично и *эквивалентно* полю точечного заряда, традиционно используемого в электродинамике. Это означает, что как бы мы ни уменьшали радиус сферы, при условии сохранения её заряда, мы, находясь на расстоянии большем начального радиуса, не заметим изменений поля. Опытный факт. Электрическое поле принято характеризовать напряжённостью \vec{E} . Это векторная величина, определяющая величину и направление *силы*, действующей на пробный заряд во внешнем электрическом поле. В самом начале изучения электричества и магнетизма в первой трети XIX века, М.Фарадеем было введено понятия о *силовых линиях*. Силовыми линиями называются *воображаемые* линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с вектором напряжённости электрического поля [2]. Вначале исследователи склонны были полагать силовые линии реально существующими объектами, вроде тонких незримых нитей, исходящих из зарядов и магнитов. В наше время так мало кто считает. Однако как ни считай, но если силовая характеристика поля (напряжённость) тождественно равна нулю в некоторой области пространства, то невозможно изобразить и силовые линии, и даже более того – молчаливо принято считать, что в данной области *нет поля*. Лишь в редких исследованиях (например, у Ааронова и Бома [11]), предполагается, что поле, возможно, *не исчерпывается единственной характеристикой*. Это весьма здравая мысль, следующая из общефилософского принципа *неуничтожимости материи*, в том числе и материи полевой. Фактически, эксперименты Аронова, Бома, Таномуры, Брауна и Твисса показывают, что существуют ситуации, в которых изменение поля *там* влияет на частицу *здесь*, хотя предприняты все мыслимые меры, чтобы частицы *не было* в той области, где осуществляются изменения поля. Сегодня даются различные и, порой, весьма оригинальные объяснения этим эффектам. Тогда как, следуя Аристотелевой логике, надо было бы просто предположить, что либо поле не удалось локализовать, либо частица нелокальна, либо то и другое вместе. В нашей парадигме такие опыты не требуют специальных объяснений, поскольку мы убеждены в невозможности локализовать как поле, так и частицу. Чаще всего в качестве другой, несилевой характеристики поля приводят потенциал (векторный A или скалярный φ) (скалярным потенциалом поля в данной точке называется скалярная величина, численно равная потенциальной энергии единичного положительного заряда, помещенного в эту точку). Но потенциал, к сожалению, не имеет физического смысла. Поскольку определяется произвольно, с точностью до константы. Смысл имеет лишь *разность* потенциалов, а она фактически может быть сведена всё к той же напряжённости. Таким образом, прогрессивные попытки некоторых исследователей заявить, что поле не исчерпывается своей силовой характеристикой, пока что оказываются уже даже не в области метафизики, а скорее мистики. Мы же стоим на позициях последовательной и неукоснительной

демистификации физики везде, где только возможно, где для этого хватает знаний и данных.

Итак, рассмотрим теперь движущуюся заряженную сферу (рис. 1.6).

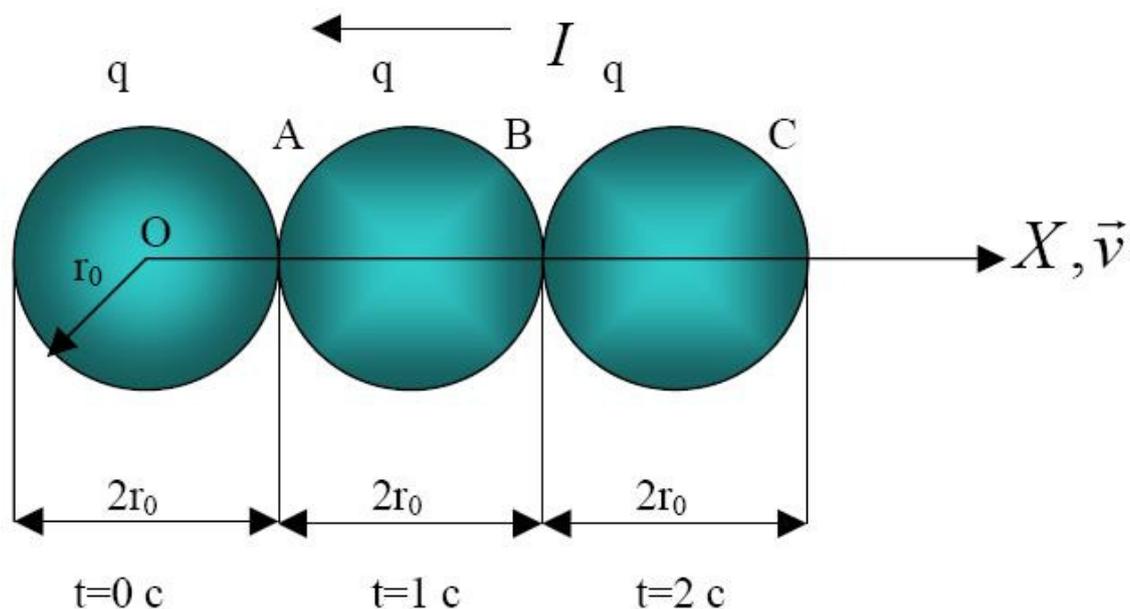


Рис. 1.6. Движение отрицательно заряженной сферы и эквивалентный ток.

В момент времени $t = 0$ сфера находилась в начале координат и двигалась вправо со скоростью v . Пусть наблюдатель находится в точке A и фиксирует количество заряда, которое проходит мимо него в единицу времени. Пусть скорость для определенности 2 м/с а радиус сферы 1 м . Пусть заряд сферы 1 Кулон . Тогда через 1 секунду наблюдатель зафиксирует, что *весь* заряд сферы Q прошёл мимо него, и на вопрос, каков был *средний ток за время наблюдения*, он определённо ответит: $1 \text{ Кулон за секунду}$. Т.е. 1 Ампер . Если теперь поместить наблюдателя в точку B и проделать всё то же самое, ответ останется тем же: 1 Ампер . Затем переместимся в точку C и так далее. Уже понятно, что при такой процедуре ответ всегда будет одним и тем же и будет выражаться формулой:

$$(1.67) \vec{I} = \frac{Q\vec{v}}{2r_0}.$$

Таким образом, мы только что выяснили, что *движущийся заряд конечных размеров* представляет собой *электрический ток*, выражающийся формулой (1.67). (Более детально сила конвекционного тока обсуждается в Приложении П.1). Кроме того, поскольку скорость есть вектор, то и *ток есть вектор!* А что, раньше как-то не так делали? Отвечаем: да, не так. Доселе в физике использовали *точечный заряд*. А используя точечный заряд, невозможно определить силу тока I , можно определить лишь *плотность тока* j . А это совсем другая физическая величина. Такие токи, связанные с механическим движением макроскопических заряженных тел в физике называются *конвекционными токами*. Экспериментально установлено [2, с. 212], что свойства конвекционных токов ничем не отличаются от свойств токов проводимости. Раз так, то тогда мы можем немедленно выразить величину *магнитного поля* нашего тока (1.67), памятуя, что это поле *не* бесконечного провода, а всего лишь *элемента с током* (1.51):

$$(1.68) \quad dB = \mu\mu_0 \frac{\underline{Q}\vec{v} 2r_0 \sin(\alpha)}{4\pi \cdot r^2} = \frac{\mu\mu_0 \underline{Q}\vec{v} \sin(\alpha)}{4\pi r^2}.$$

Видите, зависимость от размеров сферы ушла естественным образом. Значит, если мы всё делали правильно, то наше выражение (1.68) должно *совпасть* с выражением для магнитного поля движущегося точечного заряда, известного в классической электродинамике [1, с. 209]. И оно *в точности совпадает*, хотя наш вывод не использовал даже самого понятия точечного заряда. Запомним вывод: *магнитное поле любого движущегося заряда, каких угодно размеров, на достаточном удалении от заряда соответствует выражению (1.68).*

Теперь прямо не терпится представить себе *ускоренное* движение заряда и посмотреть, что в электрическом смысле означает ускоренность движения. Для этого просто продифференцируем обе части выражения (1.67) по времени:

$$(1.69) \quad \frac{d\vec{I}}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{\underline{Q}\vec{v}}{2r_0} = \frac{\underline{Q}\vec{a}}{2r_0}.$$

Ну вот, уже всё и видно: ***ускоренное движение заряда есть переменный ток!*** Не в том смысле переменный, что он меняет свою полярность 50 раз в секунду, как в осветительной сети, а в том, что он *изменяется во времени*. Вот что писал Э. Х. Ленц в работе «Об определении направления гальванических токов, возбуждаемых электрической индукцией» [4, с. 191]: «...каждому явлению электромагнитного движения должен соответствовать случай *электродинамической индукции*; нужно только, как в вышеприведенном примере, движение, вызываемое электромагнитным путём, осуществлять каким-нибудь другим способом...». Например, способом *механическим*. Тогда становится ясно, что ускоренное движения зарядов должно порождать явление электромагнитной индукции. То есть специфические действия на другие заряды. Действие, связанное не с зарядом как таковым, не со скоростью его движения, а именно с *ускорением*.

Здесь следует сделать существенное, хотя и несколько лирическое отступление. Говоря об ускоренном движении, физики различают всего два вида ускорений: ускорения *абсолютные* и ускорения *относительные*. Хрестоматийным примером абсолютных ускорений служит «ведро Ньютона», т.е. ускорение при круговом вращении. Относительное ускорение двух и более тел рассматривается иногда, но крайне редко и глухо. Это связано с тем, что мы не привыкли усматривать физических явлений, связанных с взаимными ускорениями тел. Примером таких явлений, как мы покажем впоследствии, может служить взаимоиндукция заряженных тел, особый род Доплеровских сдвигов частот и некоторые другие. Благодаря Ньютону, абсолютность ускорения стала устойчивым мифом. Мы часто встречали непонимание самой идеи относительных ускорений со стороны весьма просвещённых оппонентов. Между тем, как мы теперь ясно понимаем, никаких ***абсолютных ускорений вообще нет***. То, что принято принимать за абсолютные ускорения – суть ***ускорения тел относительно окружающего их эфира*** (вакуума, плenums). Так что, мы вынуждены расширить принцип относительности Галилея-Ньютона, заявив, что нет не только абсолютных скоростей, но и абсолютных ускорений.

Вспоминая из кинематики, что такое ускорение и как оно может быть представлено, понимаем, что при *вращательном* движении заряда по окружности радиуса R со скоростью v мы будем иметь:

$$(1.70) \frac{dI}{dt} = \frac{Qa}{2r_0} = \frac{Q}{2r_0} \frac{v^2}{R} = \frac{Q}{2r_0} \omega^2 R,$$

причём направление производной тока будет *радиальным*, таким же, как ускорение. Причём, по или против часовой стрелки происходит вращение, неважно. Знак производной будет зависеть от знака заряда, как следует из (1.70). Таким образом, мы выяснили, что и ***вращательное движение заряда есть переменный ток!*** Теперь понятно, почему излучают электромагнитные волны электроны, движущиеся по круговым (спиральным) орбитам в магнетроне и других подобных приборах. По той же причине, почему излучает провод с переменным током, рассмотренный в предыдущем параграфе.

Глядя на выражение (1.68), мы отчётливо понимаем, что движение *электрического поля* заряда (а никакого другого у него изначально не было) *представляется* внешнему наблюдателю как *магнитное поле*. Таким образом, появляется догадка, что *всякое* магнитное поле есть просто результат движения каких-то электрических полей. По-видимому, Ампер рассуждал так же, выдвигая свою *гипотезу Ампера*: магнитное поле постоянных магнитов обусловлено *микроскопическими токами*, протекающими внутри вещества магнитов. Зная теперь, что токи это движущиеся заряды, мы можем перефразировать: магнитное поле постоянных магнитов обусловлено движущимися внутри них зарядами. Есть там заряды? Вне всякого сомнения. Двигутся ли они?! Конечно же. Электроны в атомах, например. Но ведь мы же знаем, что атом в целом *электронейтрален!* Поле его отрицательных зарядов полностью компенсируется полем положительных (уж на большом расстоянии от атома точно!). И, тем не менее, мы уверенно чувствуем магнитное поле, достаточно взять два сильных магнита в руки и «поиграть» с ними. Как такое может быть?! Электрического поля снаружи магнита вроде бы нет, а факт его (поля) движения мы явственно ощущаем?! В современной физике принято привлекать релятивистские теории для объяснения этого факта. При ближайшем рассмотрении видно, что это не решение вопроса, а его «заметание под ковёр». А давайте просто включим здравый смысл! Давайте вспомним, что материя (в т.ч. и полевая) *неуничтожима*. Следовательно, поле электронов, содержащихся в магните, вовсе не «уничтожено» полем его ионов. «Уничтожена» не сама материя, а лишь одна конкретная её *характеристика* – напряжённость электрического поля. Само поле электронов простирается везде и всюду. Как и поле ионов. Но поле электронов *движется* вместе с электронами. А поле ионов – стоит на месте. Движение поля электронов порождает эффекты, приписываемые магнитному полю. Поскольку чисто электростатические эффекты скомпенсированы, то всё, что мы видим – постоянное магнитное поле, которое является *электродинамическим* эффектом.

Для большей уверенности в наших выводах, мы поставили эксперимент. Была взята проводящая медная сфера. Внутри сферы был помещён весьма чувствительный датчик магнитного поля. Датчик мог двигаться на валу, проходящему сквозь сферу и электрически изолированному от неё. Сфера заряжалась высоким напряжением от высоковольтного генератора. Согласно положениям электростатики – поле внутри заряженной сферы отсутствует. Как мы теперь понимаем, эта фраза означает всего лишь *равенство нулю напряжённости поля*. А не отсутствие полевой материи вообще. Датчик магнитного поля фиксировал только поле Земли. Мы привели сферу во вращательное движение при неподвижном датчике. Датчик зафиксировал слабое добавочное магнитное поле. Вращая сферу в противоположном направлении, мы получали такое же приращение поля. Остановив сферу и снова вращая датчик, мы получили ровно тоже самое. Таким образом, мы убедились в том, что ***магнитного поля, как самостоятельной сущности, не существует!*** Оно проявляется как результат *взаимного* движения электрического поля и наблюдателя. Соответственно, мы убедились и в том, что коль скоро «отсутствующее» электрическое поле способно породить «магнитное», то никакого «отсутствия» попросту и не было.

Отсюда истекает каскад весьма далеко идущих последствий. В том числе философского порядка. В частности, следует, что, по-видимому, поле *каждого* элементарного заряда занимает *всю* Вселенную. И это поле влияет на любой другой объект во Вселенной так, как если бы других зарядов не существовало. То есть подчиняется принципу суперпозиции. Именно поэтому нам *кажется*, что поля элементарных частиц вещества не выходят за пределы самого этого вещества. Из-за суперпозиции полей ионов и электронов. И лишь постоянные магниты и большие массы демонстрируют нам, насколько обманчиво это впечатление. На самом деле ничто не может остановить поле, подобно тому, как ничто не может остановить вакуум (эфир, пленум, мировую среду). Мы можем добиться лишь *компенсации* (и то, как правило, частичной и в ограниченной области пространства) *конкретных характеристик* поля. Обращаясь к аналогии, можно сказать, что это похоже на воздух. Мы не ощущаем атмосферного давления, поскольку оно всюду, в т.ч. и внутри наших тел, одно и то же. Отсутствует разница давлений. Но это же не означает, что нет воздуха! Достаточно энергично *взмахнуть* рукой, как мы тут же поймём, что воздух на месте. Никуда не делся. Так и электрическое поле. Если нет напряжённости, то это не значит, что нет поля. Попробуйте подвигаться с *магнитометром* в руках и немедленно поймёте, что поле никуда не делось.

Какова же причина того, что столь простые и почти очевидные соображения не используются в физике? А потому, что, вообще говоря, с полем дело обстоит несколько сложнее, чем с воздухом. Например, если мы имеем два одинаковых по величине и противоположных по знаку *близко* расположенных зарядов, то *даже движение* (вдали от зарядов) не позволит нам обнаружить поля зарядов. Поскольку в данном случае не только напряжённости электрического поля зарядов, но и магнитные эффекты будут компенсированы. Дело в том, что разноимённые заряды при их общем движении являют собой *разнонаправленные* токи и напряжённости их магнитных полей взаимно компенсируются в дальней зоне. Вот почему нам так упорно кажется, что нет никакого поля снаружи материальных тел. Но ведь скопление большого количества зарядов должно порождать весьма «густые» поля. И даже если *две* характеристики этих полей компенсированы, то должны остаться ещё какие-то! Иначе как же проявляется полевая материя?! В чём её материальность? А давайте вспомним, что, согласно опытным данным, скопление большого количества микроскопических зарядов, т.е. *материальное тело*, *притягивается* к другим таким же телам. Это явление называется *тяготением*, или *гравитацией*. Возникает сильное подозрение, что тяготение тел и есть один из электрических эффектов и являет собой манифестацию электрического поля там, где другие манифестации отсутствуют.