

Глава 5. Инерция как проявление электромагнитной индукции. Масса тел

Нужно признать, что, несмотря на совместные усилия физиков и философов, математиков и логиков не достигнуто никакого окончательного прояснения понятия массы.

Макс Джемер. Понятие массы в классической и современной физике. М.: Прогресс. 1967 г.

...Самоиндукция влияет на ток в катушке аналогично тому, как влияет инерция на движение тел в механике: она замедляет установление постоянного тока в цепи при его включении и препятствует его мгновенному прекращению при выключении.

Энциклопедия «Кругосвет»

<http://www.krugosvet.ru/articles/22/1002289/1002289a6.htm>

§ 5.1. Основные понятия и категории

Затрагивая столь принципиальный, можно сказать, почти мировоззренческий вопрос, как сущность массы, следует вначале договориться о значении терминов, во избежание недопонимания. «Масса тела - физическая величина, являющаяся одной из основных характеристик материи, определяющая её **инерционные** (инертная масса) и **гравитационные** (гравитационная масса) свойства». [1, с.15]. Впервые идея массы как научной категории изложена, по-видимому, сэром И. Ньютоном в «Математических началах натурфилософии» (1687). В этой работе Ньютон вводит три своих знаменитых закона, давших начало всей механике. Это грандиозный шаг вперёд, однако, все три закона Ньютона являются, по сути, лишь декларациями. Напомним, что первый закон Ньютона гласит: *всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние*. Как принято теперь считать в механике, законы Ньютона выполнимы только в **инерциальных** системах отсчёта и то при скоростях, много меньших скорости света. Отметим, что **масса** проявляется именно при попытке **ускорить** тело, то есть нарушить инерциальность движения. Стремление материальных тел сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения именуется **инертностью**, а первый закон Ньютона называют **законом инерции**. Видим, что в современной физике, как и во времена Ньютона, масса тел является, с одной стороны, крайне важной характеристикой материи, а с другой - совершенно загадочной, поскольку до сих пор не описан никакой внятный **физический механизм** возникновения той сущности, которая препятствует ускорению тел. Чтобы описывать воздействия одних тел на другие, упоминаемые в первом законе Ньютона, вводят понятие **силы**. Под действием сил тела либо изменяют скорость (т.е. приобретают ускорение), либо направление движения, либо деформируются. Обращаясь вновь к определениям [1, с.15]: «В каждый момент времени **сила** характеризуется числовым значением, направлением в пространстве и точкой приложения. Итак, **сила** - это векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел *или полей (курсив наш)*, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет свою форму и размеры». Здесь снова видим, что сила - не менее загадочная сущность, чем масса, и вводится посредством описания. Сила, как физическая категория, многократно была подвергается критике, (в частности, уже И. Кантом в работе «Опыт введения в философию понятия отрицательных величин», 1763г. см. [2]) и, тем не менее, прочно занимает своё место в науке. Необходимым приложением к первому закону Ньютона следует признать и **способ (метод) измерения силы**. Таких способов наука знает на сегодняшний день немало, но все

они, в конечном счете, сводятся либо к изменению движения *пробных* тел, либо к их *деформации*.

Второй закон Ньютона - *основной закон динамики поступательного движения* - отвечает на вопрос, как именно изменяется механическое движение тела под действием приложенных к нему сил. Ускорение, приобретаемое телом (материальной точкой), **прямо пропорционально** вызвавшей его силе и обратно пропорционально массе тела. В частности, в системе единиц СИ:

$$(5.1) \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \text{ [м/с}^2\text{]},$$

где F [Н] - сила, m [кг] - масса тела, a [м/с²] - ускорение. В настоящее время ко второму закону Ньютона принято относить и так называемый «**принцип независимости действия сил**», который гласит, что если на тело (материальную точку) действует одновременно несколько сил, то каждая из этих сил сообщает телу ускорение, согласно второму закону Ньютона, как если бы других сил не было. Этот принцип также является в механике декларативным, хотя и не противоречащим опыту.

И, наконец, третий закон Ньютона говорит нам о **взаимности** воздействия тел друг на друга, и, тем самым, о **взаимности сил**: всякое действие тел (материальных точек) друг на друга носит характер взаимодействия; ибо силы, с которыми тела действуют друг на друга, всегда равны по модулю, противоположны по направлению и действуют вдоль прямой, соединяющей эти тела (материальные точки). Сегодня принято добавлять, что эти силы приложены к *разным* телам, всегда действуют *парами* и являются силами *одной природы* [1, с.16]. Такое добавление делается не случайно. Дело в том, что если мы прикладываем к телу силу, ускоряя его, то тело сопротивляется ускорению ровно с той силой, которую мы к нему приложили - именно так гласят второй и третий закон Ньютона. Тела в механике представляются точечными. Следовательно, они могут соприкасаться лишь в *одной* точке. Либо в одном точечном теле, либо в другом. И именно от этой точки придётся откладывать вектора сил, если следовать логике. В результате полная сумма сил в точке соприкосновения взаимодействующих тел - равна нулю. Причём при *любом* законе движения этих тел. А говоря, что силы приложены к *разным* телам, механика просто уворачивается от вопроса: какое отношение имеют силы к движению, коль скоро их полная сумма всегда равна нулю?

Итак, инерционная масса введена как необъяснимая в рамках механики (т.е. несводимая к другим явлениям) характеристика тел, описывающая их способность сопротивляться ускорению. Такой феноменологический подход был неизбежен во времена Ньютона, да и во времена Канта, поскольку учёным было неизвестно строение материи и неизвестны законы электродинамики. В настоящее время мы отчётливо понимаем, что вся известная нам зримая материя состоит из элементарных частиц. Подавляющий процент материи состоит из протонов и электронов (водород). Весьма небольшая часть материи видимой Вселенной содержит ещё и нейтроны (гелий), которые на сегодняшний день признаны сложными частицами, состоящими из разноимённых зарядов [3]. Вся остальная материя составляет столь ничтожный процент, что о ней имеет смысл говорить лишь после того, как мы разберёмся хотя бы с водородом. Встаёт вопрос, а возможно ли объяснение такого явления, как инерция, в рамках современных представлений о строении вещества и на основе знаний об электрических явлениях? Мы считаем, что да, это возможно, и, более того - крайне необходимо. Попытки объяснить механическую (инерционную) массу элементарных частиц электрическими явлениями уже предпринимались как в конце XIX века Г. А. Лоренцем (который связывал заряд элементарной частицы и массу), в начале XX века Дж. Дж. Томсоном и У. Томсоном (лордом Кельвином), так и в середине XX века Р. Фейнманом, который пытался применить новейший для того времени аппарат релятивистской электродинамики и даже

теорию запаздывающих потенциалов. Можно упомянуть работы немецкого физика Макса Абрагама (1875-1922) и теорию Альфреда Генриха Бухерера (1863-1927), которые пытались решить вопрос с зависимостью массы электрона от скорости. Почему ни одна из попыток, предпринятых столь известными учёными, не была удовлетворительной? Может быть, всё настолько сложно, что не стоит и пытаться? Сегодня мы можем уверенно ответить - всё просто. В каком-то смысле даже очень просто. настолько просто, что ответ мог быть найден уже в XIX веке. Помешала *инерция мышления*. Веками масса была абсолютной загадкой, и убедить себя в том, что она сводится к простейшим электрическим механизмам, по-видимому, было трудно. Великие физики с энтузиазмом бросались на штурм этой высоты, но на полдороги сами же себя останавливали и запутывали.

Мы попробуем пойти иным путём и дойти до конца. Для начала давайте сразу же откажемся рассуждать о «точечных» зарядах и массах. То есть о зарядах и телах нулевого размера. Таких тел в природе никто никогда не видел, и, в полном соответствии с принципом Оккама, мы и не будем вводить их в рассмотрение. Вместо точечных зарядов мы выберем модель элементарного заряда конечных размеров. Поскольку немало копий было сломано в физике вокруг конкретной формы элементарных зарядов, мы должны отметить следующее: кубический заряд, сферический заряд, цилиндрический заряд, тороидальный заряд и многие другие формы, будучи *назначены* в качестве модели, дадут почти одинаковые результаты. Особенно если выразить этот результат через некий «средний размер» r_0 . Поэтому исключительно для простоты и удобства *изложения*, мы выберем, по-видимому, наиболее простую *сферическую* форму. Кроме того, мы прекратим всякие рассуждения насчёт существования различных масс, или масс различной природы. Природа у явления инерции ровно одна, всё из того же принципа Оккама. Следовательно, и природа массы - ровно одна.

§ 5.2. Модель элементарного заряда

Представим себе элементарный заряд в виде крайне упрощённой модели - равномерно заряженной по поверхности уединенной *сферы*. Пусть данная сфера (рис.5.1) изначально покоится в вакууме. Характеристиками такого "физического" заряда являются величина заряда $q_0 = -1.6021 \cdot 10^{-19}$ [Кл] и радиус сферы r_0 [м]. Характеристиками среды (вакуума) являются диэлектрическая проницаемость $\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] и магнитная проницаемость $\mu_0 = 1.2566 \cdot 10^{-6}$ [Гн/м].

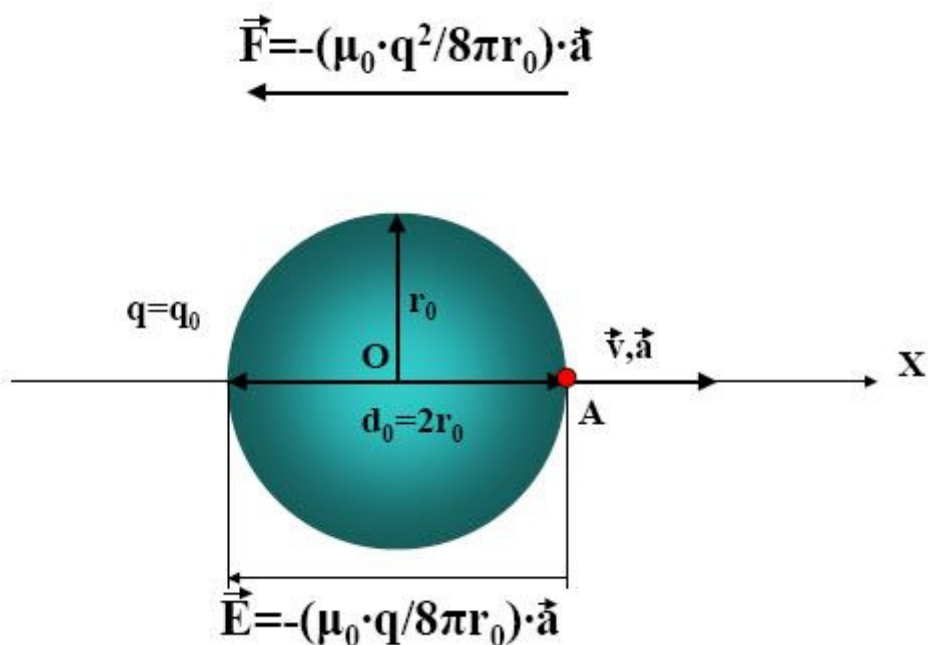


Рис. 5.1. Модель и основные параметры сферического элементарного заряда

Разместим координатную систему таким образом, чтобы её начало O совпадало с центром сферы, а ось OX была бы направлена так, как показано на рисунке. Впредь будем рассматривать движение вдоль этой оси, но в силу симметричности принятой модели заряда полученные выводы будут справедливы для движения в любом направлении в трехмерном пространстве. Кроме того, на основании того факта, что элементарный электрический заряд способен проводить ток (т.е. переносить заряд с одного тела на другое!), будем считать эту заряженную сферу *проводящей*. Откуда возникла такая идея? Из наблюдений и опыта нам известно, что электрон в электростатическом смысле ведёт себя в точности так же, как заряженная проводящая сфера. Кроме того, в каком-то смысле, единственный свободно движущийся электрон - это предельный случай проводника первого рода. Отношение к электрону как к проводящему телу, оказывается, создаёт ряд удобств для размышления. Является ли это соглашением столь уж физически необходимым, мы выясним в дальнейшем.

§ 5.3. Индуктивность и ёмкость модельного элементарного заряда

Мы вывели и многократно экспериментально проверили в предыдущих главах, никак не связанных с элементарными частицами и массой, выражение для *индуктивности* (коэффициента самоиндукции) прямолинейного *отрезка проводника* длины l :

$$(5.2) \quad L = \frac{\mu_0 l}{4\pi} \text{ [Гн]},$$

где l - длина проводника. Чтобы не выходить далеко за рамки темы инерции, укажем, что выражение (5.2) может быть получено предельным переходом $r \rightarrow D$ из известного выражения (5.2а) для *взаимной погонной индуктивности* двух прямолинейных проводников кругового сечения диаметром D на взаимном расстоянии r [10, ф. 3-28 с.139].

$$(5.2a) \quad L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \left(\ln \frac{D}{r} + \frac{1}{4} \right).$$

При сближении проводников до касания расстояние станет, очевидно, равно удвоенному радиусу. Что значит расстояние равно *одному* радиусу?! Это значит, что проводники не только коснулись, но продолжили сближение и *слились в один*, таким образом, что перекрылись друг с другом *наполовину*. Они стали одним проводом. Именно этот случай (взаимоиндукции провода с самим собой) нам и интересен. Понятно, что выражение (5.2a) в скобках содержит два члена, один из которых зависит от расстояния r и диаметра проводов D , а второй - не зависит ни от чего. Первый член имеет смысл лишь до тех пор, пока провода не соприкоснулись. Второй - должен иметь смысл всегда. Рассуждения, разумеется, весьма нестрогие, но в данном случае мы хотели лишь проиллюстрировать, что формула (5.2) не является чем-то уж слишком экзотическим.

У *сферического* проводника (которым мы в наших рассуждениях считаем электрон) есть только одна мыслимая «длина» - это диаметр. Поэтому для индуктивности нашего модельного элементарного заряда мы можем записать:

$$(5.3) \quad L_0 = \frac{\mu_0 d_0}{4\pi} = \frac{\mu_0 2r_0}{4\pi} = \frac{\mu_0 r_0}{2\pi} \quad [\text{Гн/м}\cdot\text{м}] = [\text{Гн}].$$

Такую величину мы можем назвать "*собственной индуктивностью*" элементарного заряда. Такая величина подлежит *экспериментальной проверке*, и эти проверки были нами проведены для случая проводящей сферы и случая отрезка провода макроскопических размеров. Проверки полностью подтвердили справедливость формулы (5.2).

В то же время известно выражение для электрической ёмкости уединенной проводящей сферы радиуса r :

$$(5.4) \quad C = 4\pi\epsilon_0 r \quad [\text{Ф/м}\cdot\text{м}] = [\text{Ф}].$$

Откуда, считая $r = r_0$, имеем:

$$(5.5) \quad C_0 = 4\pi\epsilon_0 r_0 \quad [\text{Ф/м}\cdot\text{м}] = [\text{Ф}].$$

Эту величину мы можем именовать «*собственной емкостью*» элементарного заряда. Эта величина многократно проверена для макроскопических проводящих сфер начиная с конца XVIII века.

Само по себе наличие *реактивностей* электрона в виде индуктивности и ёмкости одно уже способно повернуть мысль исследователей в совершенно новых и неожиданных направлениях. Нас же в данной работе будет интересовать связь этих реактивных характеристик с проблемой инерционной массы.

§ 5.4. Вывод выражения для массы электрона из энергетических соображений

Для удобства изложения выведем сейчас массу электрона, а затем и собственную индуктивность электрона из простых *энергетических* соображений, не связанных ни с физическим *механизмом*, ни с его конкретной геометрической *формой*. Энергетические

рассуждения всегда в конечном итоге опираются на закон сохранения энергии, подобно тому, как рассуждения об импульсе всегда опираются на закон сохранения импульса. Такой подход способен привести исследователя к верным результатам, однако весьма часто скрывает *физический механизм* явления. Мы воспользуемся энергетическим подходом осознано, понимая, что он не даст нам механизма явления, но может дать намёк, почву для догадки. С этой целью определим, *какова величина тока, порождаемого движущимся в вакууме электроном*. Для этого поместим мысленно наблюдателя в точку А (рис. 5.1), и отметим, *какой заряд и за какое время* пройдёт мимо наблюдателя при движении электрона в направлении **ОА**. Весь заряд электрона q пройдёт мимо нашего наблюдателя за время, равное отношению его диаметра $2r_0$ к скорости движения v . При этом конкретная сложность его формы не важна, лишь бы весь заряд электрона прошёл бы мимо наблюдателя. Таким образом, наблюдатель фиксирует локальный **ток**, определяемый выражением:

$$(5.6) \quad I = \frac{qv}{l} = \frac{qv}{d_0} = \frac{qv}{2r_0} \quad [\text{Кл}\cdot\text{м}/\text{с}/\text{м}] = [\text{Кл}/\text{с}] = [\text{А}].$$

Как известно из теории электромагнитной индукции [1, с.231], полная энергия проводника с током:

$$(5.7) \quad W = \frac{LI^2}{2} \quad [\text{Дж}],$$

где L [Гн] - индуктивность проводника, I [А] - величина тока. Что это за энергия? Это *кинетическая* энергия, приобретённая носителями тока в проводнике (контуре). Тот факт, что в нашем случае носитель ровно один - ничего не меняет. Конвекционные токи, (то есть *токи механически перемещающихся заряженных тел*), как было экспериментально и теоретически доказано в начале XX века, ничем не отличаются от токов проводимости или токов смещения. По-прежнему выражение (5.7) описывает его кинетическую энергию. Однако, кинетическая энергия электрона легко определяется и в классической механике. И выражается она через массу электрона m_0 :

$$(5.8) \quad T = \frac{m_0 v^2}{2} \quad [\text{Дж}],$$

где m_0 [кг] - масса электрона, v [м/с] - скорость его движения.

Сделаем несколько принципиальных замечаний относительно кинетической энергии и энергии вообще. Во-первых, отметим, что кинетическая *энергия* T в точности равна **работе** A , которую нужно затратить, чтобы разогнать тело массой m_0 до скорости v , и в точности равна работе, которую можно получить, остановив тело с той же самой массой, разогнанное до той же скорости. Причём, во-вторых: совершенно не важно, как медленно вы будете останавливать или разгонять это тело - работа будет совершена та же самая. В самом деле, работа пропорциональна силе, умноженной на перемещение $A = F \cdot S$. Сила пропорциональна ускорению, умноженному на массу $F = m_0 a$.

Перемещение тела - квадрату скорости, делённому на ускорение $S = \frac{v^2}{2a}$. Их произведение

равно работе $A = FS = m_0 a \cdot \frac{v^2}{2a} = \frac{m_0 v^2}{2}$. Всё то же самое можно сказать и об энергии тока

в электрической цепи. Работа, совершаемая током не зависит от того быстро или медленно вы разгоняете или останавливаете электроны в проводнике. Разумеется, эти рассуждения верны только в том случае, если нет диссипативных сил, вроде сил трения. Таким образом, становится очевидно, что энергия тока в цепи (т.е. направленного движения электронов) - это кинетическая энергия, связанная с поступательным движением электронов. Здесь следует остановиться, поскольку со стороны физически образованных людей может поступить возражение. Нам скажут, что из одного и того же провода можно создать *различные* цепи с разной индуктивностью и, следовательно, различной энергией W при одинаковом токе I . А ведь количество электронов в проводнике постоянно и их скорость одинакова, коль скоро ток имеет ту же величину. Значит, кинетическая энергия электронов при данном токе постоянна. Противоречие? Нет, это снова - инерция мышления. Рассуждая о токе в проводниках, физики обычно забывают о наличии *неподвижных положительных ионов* решётки. Кто сказал, что их можно выкинуть из рассмотрения? Ведь между движущимися электронами и неподвижными ионами возникает, кроме кулоновского, ещё и *магнитное* взаимодействие. Этого взаимодействия не будет, если убрать ионы. Значит, с наличием ионов связана *дополнительная* энергия. Следовательно, полная энергия электрона, одиноко движущегося в вакууме, и электрона, несущегося сквозь решётку ионов - *различна*. Кроме того, при сложной конфигурации проводника одни электроны *движутся относительно других* электронов, что также порождает дополнительные *взаимодействия* и связанную с ними *энергию*. Если же мы отбросим все дополнительные взаимодействия и рассмотрим *единственный* электрон, движущийся прямолинейно, то его энергия, как энергия конвекционного тока и его механическая кинетическая энергия окажутся *равны*. Если бы мы не понимали механизма возникновения явления инерции, а пытались бы исходить *только* из законов сохранения, то, скорее всего, мы бы здесь безнадежно запутались.

Поскольку мы только что уравнили кинетическую энергию движущегося заряда и энергию тока, представляемого этим зарядом, то возникает принципиальный вопрос: а правомерно ли такое «вольное» обращение с энергиями? Чтобы осмыслить этот непростой вопрос, давайте разберём задачу о внутренней (термодинамической или *тепловой*) энергии тел. Представим себе моль газа, например воздуха. Масса этого тела - около 29 грамм. Наиболее вероятная тепловая скорость молекул при комнатной температуре (по данным различных источников, см.[9]) - 500 м/с. Следовательно, внутренняя энергия, связанная с тепловым движением должна составлять величину порядка $K = \frac{mv^2}{2} = \frac{0.029 \cdot 500^2}{2} = 3625 [Дж]$. В термодинамике внутренняя энергия одного

моля идеального газа определяется как $K = \frac{3}{2} N_A kT = \frac{3}{2} RT = 1.5 \cdot 8.31 \cdot 293 = 3650 [Дж]$.

Как видим, величины весьма близкие, и, учитывая условность понятия «вероятная скорость» и неидеальность реального воздуха, можно считать их совпадающими. Видите, тепловая энергия благополучно *сводится* к сумме кинетических энергий молекул!

Подытоживая, можно сказать, что *кинетическая* энергия есть *работа*, совершаемая при *разгоне* тела. Для элементарного заряда в вакууме она же - есть *энергия конвекционного тока*, представляемого движущимся электроном. То есть - работа по созданию тока. Она же есть то, из чего состоит внутренняя (*тепловая*) энергия системы тел (зарядов). *Потенциальная* энергия (например, энергия электрического поля) - это есть та *кинетическая* энергия, которую *приобретёт* тело (заряд), *если* позволить ему свободно *двигаться*. Как видим, *любая* энергия может быть *определена* через *кинетическую* энергию. То есть понятие энергии неразрывно связано с *движением материальных тел* и является *способом* описания движения материи. Важно понимать, что такие величины, как скорости и ускорения, связаны с кинематикой, т.е. с движением как таковым, а не с конкретным движением каких-либо определённых материальных тел. Энергия же всегда

связана с движением (реальным или потенциальным, направленным или хаотическим) конкретных материальных тел.

Итак, понимая, что энергия электрона W , как тока, и его кинетическая энергия, как энергия весомого тела T - это одна и та же энергия механического движения элементарного заряда, просто выраженная языком разных разделов физики, приравняем (5.7) и (5.8) с учётом (5.6) и (5.3):

$$(5.9) W = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 r_0}{2\pi} \left(\frac{qv}{2r_0} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 q^2}{8\pi_0} v^2 = \frac{1}{2} m_0 v^2 = T \text{ [Дж]}.$$

Отсюда, выражая массу m_0 , получим:

$$(5.10) m_0 = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi_0} \text{ [кг]}.$$

Как видим, масса оказалась пропорциональна квадрату заряда, а следовательно, не зависящей от его знака, и обратно пропорциональна некоему «характерному радиусу». То есть геометрическому размеру. Если же теперь подставить массу в выражение (5.8) и приравнять снова к (5.7) с учётом (5.6), то получим выражение для собственной индуктивности электрона L_0 (5.3) через массу m_0 :

$$(5.11) L_0 = \frac{m_0 v^2}{I^2} = m_0 v^2 \frac{4r_0^2}{q^2 v^2} = \frac{4m_0 r_0^2}{q^2} \text{ [Гн]}.$$

То есть видим, что **индуктивность** электрона **прямо пропорциональна массе** электрона. Здесь уже трудно не сообразить, что масса, т.е. *способность сопротивляться изменению скорости*, определяется индуктивностью, то есть *способностью сопротивляться изменению тока*. Не просто **напоминает** индуктивность, не просто **аналогична** индуктивности - а именно **полностью определяется индуктивностью**. Всё, мы догадались о конкретном физическом механизме, ответственном за инерцию, то есть за способность тел сопротивляться изменению скорости движения. Этот механизм давно и хорошо известен в теории электрических явлений и называется **самоиндукцией**.

§ 5.5. ЭДС самоиндукции переменного конвекционного тока и инерционная масса

Теперь последовательно опишем **механизм** возникновения инерции элементарного заряда. Придадим нашему модельному заряду движение во введенной выше системе координат. Пусть заряд движется вправо вдоль оси (OX) со скоростью v . Такой движущийся заряд, как мы уже говорили, являет собой элементарный конвекционный ток. Величина этого тока определена выше в формуле (5.6). Индуктивность электрона нам известна из (5.3). Определим теперь **ЭДС самоиндукции**, наводимой таким током на проводник длины $l = d_0 = 2r_0$ в том же месте, где протекает ток. Зная индуктивность проводника L , мы немедленно можем записать по Фарадею:

$$(5.12) U = -L \frac{dI}{dt} \text{ [Гн} \cdot \text{А/с]} = \text{[В]},$$

в нашем же случае, подставляя (5.6) и (5.3) в (5.12), получим:

$$(5.13) \quad U = -L_0 \frac{dI}{dt} = -\frac{\mu_0 r_0}{2\pi} \cdot \frac{d\left(\frac{qv}{2r_0}\right)}{dt} = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} \cdot \frac{dv}{dt} \quad [\text{Гн/м} \cdot \text{Кл} \cdot \text{м/с}^2] = [\text{В}].$$

Пусть производная dv/dt скорости по времени, фигурировавшая в этом выражении, будет обозначена как a . Эта величина является просто ускорением. Значит, мы только что обнаружили, что *ускоренное движение заряда приводит к появлению **вблизи** этого заряда электродвижущей силы самоиндукции.*

ЭДС самоиндукции, выраженная через ускорение a , будет иметь вид:

$$(5.14) \quad U = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} \cdot a \quad [\text{В}].$$

Напомним, что знак ЭДС определяется *правилом Ленца*, в соответствии с которым самоиндукция всегда направлена *против* причины, вызвавшей изменение тока. Эта ЭДС означает наличие электрического поля, действующего на сферу в направлении XO «от полюса до полюса» (рис. 5.1). Следовательно, можно записать для напряжённости E этого поля:

$$(5.15) \quad E = \frac{U}{d_0} = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} \cdot \frac{a}{2r_0} = -\frac{\mu_0 q}{8\pi \cdot r_0} \cdot a \quad [\text{В/м}].$$

Теперь вспомним, что наша сфера заряжена зарядом q , и, следовательно, электрическое поле с напряженностью E вызовет действие на заряд q силы F :

$$(5.16) \quad F = qE = q \cdot -\frac{\mu_0 q}{8\pi \cdot r_0} \cdot a = -\frac{\mu_0 q^2}{8\pi \cdot r_0} \cdot a \quad [\text{В/м} \cdot \text{Кл}] = [\text{Н}].$$

В то же время из 2-го и 3-го законов Ньютона для силы инерции нам известно:

$$(5.17) \quad F = -ma \quad [\text{Н}].$$

где F - сила инерции, *противодействующая* ускоряющей силе, m - коэффициент пропорциональности, именуемый в механике «инерционной массой».

Сопоставляя выражения (5.16) и (5.17), можем записать:

$$(5.18) \quad m_0 = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi \cdot r_0} \quad [\text{кг}].$$

что полностью совпадает с (5.10).

Таким образом, взяв модельный заряд в виде заряженной сферы конечных размеров и попытавшись придать ему ускоренное движение, мы обнаружили *силу противодействия ускорению*. Эта сила обязана своим происхождением явлению *электромагнитной самоиндукции уединенного переменного конвекционного* тока. Коэффициент пропорциональности между указанной силой и величиной ускорения заряда

имеет размерность массы [кг] в СИ и численно выражается формулой (5.18). Поскольку заряд входит в выражение для массы во второй степени, то для положительных зарядов наблюдается ровно то же явление противодействия самоиндукции их ускоренному движению, что и для отрицательных. Более того, поскольку явления индукции элементарного тока проявляются только на расстояниях, сопоставимых с длиной самого элементарного тока, то система из совершенно различных жёстко связанных неким образом зарядов, расположенных на достаточно далёких, по сравнению с их собственными характерными размерами, расстояниях, будет при ускорении создавать силу противодействия, пропорциональную *простой сумме* их «индукционных» масс. Так образуется **инерционная масса макроскопических тел** - как **простая сумма** масс элементарных зарядов этого тела. Если же расстояние между разноименными зарядами уменьшать, то общая масса системы начнёт *отличаться* от простой суммы масс и продемонстрирует нам эффект «**дефекта массы**». Это произойдёт в силу того, что проявится **взаимоиндукция** зарядов. В самом деле, если на *отрицательно* заряженную частицу ЭДС её самоиндукции при ускоренном движении воздействует так, что препятствует ускорению, то на расположенную **рядом положительную** частицу то же самое поле произведёт *обратное* действие. Следовательно, мы можем утверждать, что масса атома водорода должна быть несколько меньше, чем простая сумма масс протона и электрона. Т.е. самоиндукция частиц в системе частично компенсируется их взаимоиנדукцией. При дальнейшем сближении разноимённых зарядов в системе будет происходить дальнейшее «исчезновение» массы, вплоть до полной её «аннигиляции».

В связи с вышесказанным необходимо отметить, что невозможно бесконечно увеличивать *плотность* материи - при определённой степени сжатия, когда разноимённо заряженные частицы сблизятся на расстояние, сопоставимое с их размерами, масса начнёт *убывать* и рост плотности замедлится, а затем, возможно, прекратится. Дальнейшее сжатие, буде оно физически возможно, привело бы к «исчезновению» массы и превращению зримой материи обратно в вакуум (мировую среду, эфир, *плenum*).

Коль скоро мы свели понятие массы к понятиям индуктивности и заряда, а явление инерции к явлению самоиндукции, то следовало бы увязать законы механики Ньютона с электрическими законами Кулона и Фарадея. Итак, мы установили, что **первый закон Ньютона** есть следствие того, что индукция и самоиндукция возникают только при **изменении** тока (явление, открытое М. Фарадеем). **Второй закон Ньютона** есть просто прямое следствие закона электромагнитной индукции Фарадея (ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна произведению индуктивности на скорость изменения тока). **Третий закон Ньютона** выражает **правило Ленца** для самоиндукции (ЭДС самоиндукции всегда направлена против причин, вызвавших изменение тока). Принцип же **независимости действия сил** в механике является выражением **принципа суперпозиции полей** в электродинамике и является прямым следствием закона Кулона. Таким образом, все три основных закона (и их современные дополнения) классической механики свелись к явлению самоиндукции и законам Кулона и Фарадея. Позже, в главе 9 мы покажем, что и сам закон Кулона не фундаментальный закон, а лишь следствие законов индукции.

§ 5.6. Незримый участник, или возрождение принципа Маха

Рассмотрев вышеизложенный механизм инерции, внимательный читатель может задать вопрос: так что же, ускоряемый электрон порождает поле, которое препятствует его ускорению? Да. Это так. Так что же, выходит, он сам себя останавливает?! Разумеется, **нет**. Это барон Мюнхгаузен сам себя вытаскивал из болота за волосы. Применявшийся Р. Фейнманом термин **self-induction**, в русскоязычной литературе переводится как «**самодействие**», и не имел у Фейнмана прямого отношения к явлению электромагнитной индукции Фарадея, а просто служил указанием на то, что ускоряемый электрон неким

загадочным образом «действует сам на себя». Дело в том, что электрон не в одиночку порождает противодействующее его ускорению поле. Не случайно в формулы массы (5.10) и (5.18) входит магнитная проницаемость *вакуума*. Это говорит о том, что в создании электрического поля самоиндукции участвует не только электрон, но и окружающий вакуум (эфир, *плениум*). В самом деле, если мы попробуем ускорить любое другое тело, то оно будет сопротивляться в точности так же, как наш электрон. Если же мы ускорим *сам* вакуум, то *все* заряды во Вселенной будут испытывать силу (5.16). Следовательно, можно заключить, что наш ускоряемый электрон, посредством вакуума, «цепляется» за все материальные тела во Вселенной. Так это же и есть знаменитый принцип Маха, в который так верил А. Эйнштейн! Правда ни Мах, ни Эйнштейн не могли назвать конкретный *механизм*, посредством которого этот принцип выполняется. Теперь такой механизм может быть предложен.

§ 5.7. Ещё одно сокращение сущностей

Говоря о том, что ускоряемый электрон порождает поле, учёные тем самым, утверждают, что вот, есть *электрон*, а есть *поле*. И это вещи *разные*. Но откуда же такая уверенность?! Насколько нам известно, никто и никогда не держал в руках электрона *без* его поля. Более того, похоже, никто даже не представлял себе такого электрона. Ещё более того - всякий раз, когда мы имеем дело с электроном, мы имеем дело *только* с его полем! Если бы мы мысленно проделали такой эксперимент - извлекли бы все электроны из какого-то тела, но так, чтобы их поля остались нетронутыми, - разве заметили бы мы хоть какие-то перемены?! Нет. Не заметили бы. До сих пор только наличие *инерционных* свойств электрона позволяло физикам говорить что электрон - это нечто большее, чем его поле. Но мы выяснили теперь, что инерция - это результат действия электрического поля самоиндукции на электрон. То есть инерция - это что-то, что вызывается полем. Всё. У нас исчезло единственное и последнее основание говорить раздельно слова «электрон» и «поле». Выясняется, что электрон - это и есть его поле. И больше в нём ничего нет. Помните, говоря о законах Ньютона, мы выделили курсивом в современном определении слово *поле*, чтобы подчеркнуть, что поле как минимум признано равноправным участником в механических явлениях. Мы уверены теперь, что поле - *единственный* реальный участник как механических, так и электрических явлений. Что с этой точки зрения происходит при ускорении электрона?! А вот что: поле, исходно имевшее симметричную форму, искажается (деформируется) при ускорении таким образом, что сопротивляется ускорению. Об этом догадывался ещё Р. Фейнман [6]. То есть ускоряемый электрон - *деформируется*. Это очень важный вывод, открывающий путь для рассмотрения многих явлений физики, в частности - излучения электромагнитных волн. Но этот вопрос уже выводит нас за рамки заявленной в этой главе тематики.

§ 5.8. Энергия заряженного конденсатора,

«электростатическая» масса и $E = mc^2$

Ещё в XIX веке ([4]) были предприняты попытки объяснить инерционную массу, исходя из представлений классической электродинамики. Проследим лишь один из таких возможных путей (Г. А. Лоренц, А. Зоммерфельд [8]) и попытаемся довести соответствующие рассуждения *до логического завершения*.

Для этого обратимся к выражению (5.5) для емкости нашего модельного заряда и вычислим энергию соответствующего *уединенного* сферического конденсатора:

$$(5.19) \quad W = \frac{CU^2}{2} = \frac{QU}{2} = \frac{Q^2}{2C} \text{ [Дж]}.$$

Таким образом, зная C из (5.5), можем записать:

$$(5.20) \quad W = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_0} \text{ [Дж]}.$$

Далее, формально воспользовавшись формулой Эйнштейна $W = mc^2$:

$$(5.21) \quad m = \frac{W}{c^2} \text{ [Дж]}.$$

где W - полная энергия, c - скорость света в вакууме, получим:

$$(5.22) \quad m_0 = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_0} \cdot \frac{1}{c^2} \text{ [кг]},$$

Этот результат был получен ещё Г. А. Лоренцем [7] и приведён, в частности, А. Зоммерфельдом ([8, ф. 33.14 с. 383]). Однако, как и в случае с Р. Фейнманом [6], этот результат не совпал с результатом, полученным из подсчёта *механического импульса электромагнитного поля движущегося электрона*. И на этом шатком основании Зоммерфельд заявил, что не вся масса имеет электромагнитное происхождение.

Памятуя, что $c^2 = 1/(\mu_0\epsilon_0)$, окончательно имеем:

$$(5.23) \quad m_0 = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi \cdot r_0} \text{ [кг]}.$$

Что **полностью** совпадает с выражениями (5.10) и (5.18) для массы элементарного заряда, полученными как из энергетических соображений, так и из детального анализа явления самоиндукции. Как видим, такой подход приводит нас к вполне *правильному* выражению для массы, однако совершенно не вскрывает **механизма** возникновения явления инерции. Масса здесь выступает как загадочное свойство, связанное с энергией. Причём в начале XX века эйнштейновский формализм (5.21) был воспринят неоправданно расширительно, и тем самым крайне запутал ситуацию с анализом электрического происхождения инерционной массы. Поскольку Эйнштейн «забыл» указать, какая именно энергия W имела в виду, то исследователи того времени ошибочно сочли, что *любая* энергия, в т.ч. кинетическая, внутренняя и все виды потенциальной могут быть подставлены в формулу Эйнштейна с целью получить осмысленный результат. Увы, это не так. Получив выражение (5.23) и зная о магнитных и механических свойствах электрона, физики стали задумываться, а какая именно часть «полной» массы электрона определяется энергией электрического поля? А какая часть - энергией магнитного поля электрона?! А как быть с присущей электрону механической энергией?! Если же добавить сюда ещё и крайне запутанный вопрос о том, обладает ли гравитационное поле электрона *собственной* массой, то задача просто переходит в категорию неразрешимых. Решением уравнений ОТО Эйнштейна, например, являются, в частности, *пустые* миры, содержащие только гравитационное поле, т.е. кривляющееся пространство. Вот так и запутывали сами себя великие умы.

На самом деле заявление, что энергия обладает массой - это пример схоластической средневековой чуши. Энергия - это, как мы рассмотрели ранее, определённого вида *расчет* (идея, интеграл), то есть нечто, существующее лишь в человеческом сознании, а масса - это *характеристика материи*, говорящая о её реакции на изменение движения. Заявить, что идея имеет материальную характеристику - это, простите, нонсенс. Другой вопрос, почему электростатическая энергия *неподвижного* электрона оказывается связанной с его кинетической энергией, обретаемой при движении и с силой инерции, возникающей при разгоне (торможении)? Этот вопрос может привести нас к размышлениям о том, что же такое *заряд*? Ведь современная физика на этот вопрос не даёт *никакого* вразумительного ответа. Возникает подозрение, что заряд сам по себе связан с неким движением чего-то. То есть за зарядом, как и за массой, стоит некая более общая сущность, скорее всего, связанная с движением. Кроме того, мы уже показали, что понятия «заряд» и «поле» - имеют одно и то же содержание. Тогда вопрос «что же такое заряд?» - сведётся к вопросу «что же такое поле?»... На самом деле, формула (5.20) говорит о той работе, которую пришлось бы затратить, чтобы притащить заряд электрона из бесконечности и разместить его на сфере конечного радиуса. А (5.21) говорит нам, что точно такую же работу, оказывается, пришлось бы затратить, чтобы разогнать *два* таких заряда до скорости света. Как нам кажется, это довольно громкий намёк на возможное внутреннее устройство электрона.

Итак, мы, вскрыв *индукционный механизм* возникновения явления механической инерции, ясно видим, что масса элементарного заряда связана *только* с его *электрическим полем*, то есть с *зарядом и его геометрическими размерами*. И более - ни с чем. Таким образом, знаменитая формула, приписываемая Эйнштейну, $E = mc^2$ справедлива *только для электрического поля*.

Обратим теперь взгляд на труды наиболее далеко продвинувшихся в этом вопросе предшественников и попробуем понять, почему они так и не смогли поставить точку в этой проблеме.

§ 5.9. Электромагнитная масса в электродинамике А. Зоммерфельда и Р. Фейнмана

Разумеется, проблема массы, как электрического явления, исследовалась многими выдающимися учёными, так что, как и И. Ньютон, мы можем заявить, что стоим «на плечах гигантов» и лишь потому, возможно, видим дальше. После Г. А. Лоренца наиболее серьёзные работы были проведены в этом направлении А. Зоммерфельдом [8] и Р. Фейнманом [6]. Оба они прекрасно владели аппаратом электродинамики и оба начинали своё рассмотрение проблемы массы с вычисления *импульса* поля электрона. Вычисляя механический импульс поля, оба полагали, что движение электрона вызывает появление магнитного поля и записывали импульс электрона как импульс электромагнитной волны через E и H компоненты. Откуда они взяли, что электрон - это *электромагнитная волна* и его импульс может быть записан именно таким образом, не вполне понятно. Фактически, это является произвольным допущением. Дело в том, что электромагнитная волна в современной физике это совершенно конкретный объект с конкретными свойствами. В частности, напряжённости электрического и магнитного поля в волне всегда *жёстко связаны*. Если известна электрическая компонента поля волны, то автоматически известна и магнитная (в вакууме, разумеется). Не может быть такого, что одной напряжённости электрического поля волны соответствуют различные напряжённости магнитного поля. Именно поэтому идея принять магнитное поле движущегося электрона как магнитную компоненту электромагнитной волны вызывает вопросы. Математический аппарат, использованный этими учёными, несколько отличался. В результате А. Зоммерфельдом было получено значение массы:

$$(5.24) \quad m_0 = \frac{\mu_0 q^2}{6\pi \cdot r_0} \text{ [кг]} \text{ (система СИ)},$$

а Р. Фейнманом был получен результат:

$$(5.25) \quad m_0 = \frac{2}{3} \frac{q^2}{c^2 r_0} \text{ [г]} \text{ (система СГС)}.$$

После приведения (5.25) в систему СИ видим, что выражение полностью эквивалентно выражению (5.24). Оба учёных на этом не остановились и попытались получить массу электрона ещё и из других соображений. Так, А. Зоммерфельд приравнял кинетическую энергию движущегося электрона к энергии магнитного поля *элемента с током*, используя закон Био-Савара-Лапласа. Похожее действие демонстрировали и мы, когда выводили массу электрона из энергетических соображений. Однако есть огромная разница - у А. Зоммерфельда элемент с током имеет *бесконечно малый размер* (иначе нельзя было бы пользоваться выражением для магнитного поля элемента с током). Закон Био-Савара-Лапласа прекрасно работает, но на расстояниях, много больших размеров элемента с током. А магнитное поле сконцентрировано как раз на расстоянии порядка размеров элемента тока. Видимо, Зоммерфельд чувствовал, что что-то не так, и размер у него, конечно, потом появляется, как нижний из пределов интегрирования плотности энергии по пространству. То есть это эквивалентно заявлению, что внутри электрона нет магнитного поля, порождаемого движением электрона. Почему?! Что его остановило? Непонятно. Может быть, он имел в виду, что там магнитное-то поле есть, но нет электрического? Тогда не было бы импульса (выраженного через произведение $\vec{E} \otimes \vec{H}$) внутри объёма электрона. Но он же, в данном случае, не импульс считал, а *энергию*. (Заявление, что внутри электрона нет электрического поля, кстати, эквивалентно заявлению что электрон - *проводник*). То есть и здесь проявилась произвольность вычисления энергии электрона как энергии магнитного поля *бесконечно малого* элемента с током. В результате этого, на наш взгляд, не вполне корректного подхода Зоммерфельд получил выражение для массы электрона, полностью совпадающее с (5.24). Но и тут он не остановился и сделал *третий* подход к проблеме; он посчитал энергию *электростатического* поля электрона и вычислил массу делением этой энергии на квадрат скорости света. Разумеется, он получил выражение (5.23). Такое расхождение заставило его сделать вывод: «Только 3/4 этой энергии электростатического происхождения; оставшаяся 1/4 должна быть обусловлена взаимодействиями, лежащими за пределами теории Максвелла». Совершенно непонятно, причём здесь «взаимодействия, лежащие за пределами теории Максвелла», поскольку электростатика, с которой вступил в противоречие электродинамический результат - считается предельным случаем электродинамики же. То есть проблема кроется либо где-то *внутри* самих учений об электричестве, либо в *способе* их применения. Характерно, что Р. Фейнман также не удовлетворился только рассмотрением импульса поля электрона, тоже вычислил массу из энергии электростатического поля и получил выражение (5.23) (см [6] с.383). По поводу расхождения двух выражений для массы Р. Фейнман писал: «По-видимому, мы где-то допустили ошибку. Конечно, не алгебраическую ошибку в наших расчетах, а где-то проглядели что-то существенное» (курсив наш). Все эти подходы к выводу электромагнитной массы объединяет нечто общее - полнейшее *отсутствие ускорения*. Электрон у обоих учёных либо покоится, либо движется равномерно и прямолинейно. Как же тогда *проявляется* масса? Да никак. При таких подходах масса - всего лишь мыслимая, *воображаемая* характеристика (параметр, коэффициент). А с воображаемой величиной могут всякие чудеса происходить... Реальной, с чем-то связанной, она

становится только тогда, когда движение тела *изменяется*. Р. Фейнман не был бы выдающимся учёным, если бы не почувствовал этого. И далее (насколько мы можем судить, *впервые* в истории электродинамики!) делает попытку объяснить *механизм* возникновения силы сопротивления ускорению. Он заметил, что при *ускоренном* движении электрона нарушается баланс *сил*, удерживающих электрон в равновесии. Конечно, он привлекал *фиктивные* силы (т. н. натяжения Пуанкаре), якобы удерживающие электрон от разрыва силами внутреннего электростатического отталкивания. Но, тем не менее, сама *необходимость вскрыть механизм* была им высвечена. Проблема была, наконец-то, поставлена, хотя он и не довёл это направление до конкретного уравнения. По поводу старого вопроса о силах, удерживающих заряд электрона, скажем, что о таких силах есть смысл рассуждать только в том случае, если мы *знаем*, как элементарные заряды устроены. Например, знаем, что они состоят из более мелких, чем элементарный заряд, порций, и *в принципе* могут быть «расчленены». А мы разве знаем?

Итак, можем констатировать, что предыдущие исследователи не смогли ускорить электрон и посмотреть, что получится. А не содержащие механизма подходы через закон сохранения импульса и закон сохранения энергии дали им *разные* результаты, по причине произвольных допущений, принятых при вычислении импульса. Эта ситуация привела к такой путанице в умах, что и по сегодняшний день бытует мнение, будто Р. Фейнман сделал в этом направлении всё возможное и больше ничего сделать нельзя. Что ж! Судите сами.

§ 5.10. Собственная индуктивность электрона как кинетическая индуктивность

Можно подумать, что, вводя в научный обиход понятие «*индуктивности электрона*», мы сами нарушаем принцип Оккама, используя новую сущность. Это категорически не так! С индуктивными свойствами электрона физики *уже* сталкивались более 60 лет назад, изучая явления в сверхпроводящих (идеальных) проводниках. (См. [5, с.40-41]). Дело в том, что при подключении идеального (не имеющего активного сопротивления), но имеющего индуктивность L проводника к идеальному источнику ЭДС U ток I линейно нарастает со временем как:

$$(5.26) \quad I(t) = \frac{U}{L} t \text{ [А]}.$$

Следовательно, электроны в такой цепи должны двигаться *равноускоренно*. Но ведь внутри сверхпроводника (идеального проводника) электрического поля E нет и быть не может. Что же разгоняет электроны? Анализ этого противоречия привёл физиков к представлению об особой *кинетической индуктивности* L_k , связанной со свойствами носителей тока (электронов). В теории сверхпроводников Ф.Лондона эта величина выражается как:

$$(5.27) \quad L_k = \frac{m_0 2\pi \cdot a}{nq^2 S} \text{ [Гн]},$$

где n [м^{-3}] – концентрация носителей тока, q [Кл] и m_0 [кг] – заряд и масса носителей, a [м] – длина идеального проводника, а S [м^2] – площадь его сечения. Если *формально*

представить себе проводник радиуса r_0 ровно с *одним* ($n=1$) носителем тока внутри, то получим:

$$(5.28) \quad L_k = \frac{m_0 2\pi \cdot (2r_0)}{\frac{1}{r_0^3} q^2 (\pi \cdot r_0^2)} = \frac{4m_0 r_0^2}{q^2} = L_0 \text{ [Гн]},$$

что совпадает с выражением (5.3) для *собственной* индуктивности электрона. Таким образом, становится ясно, что известная в физике сверхпроводников кинетическая индуктивность L_k равна или, по крайней мере, пропорциональна введенной нами собственной индуктивности электрона в *предельном случае проводника с одним единственным носителем*. И теоретически и экспериментально известно, что роль кинетической индуктивности возрастает по мере уменьшения сечения проводника и по мере роста скорости движения носителей. Логично предположить, что в проводнике *предельно малого* сечения, равного сечению одного единственного электрона, роль этой индуктивности будет максимальна. Оказалось, что она не просто максимальна, а является *определяющей*, причём определяющей такую фундаментальную характеристику, как *масса* свободного заряда. Также оказалось, что эксперименты, выявляющие индуктивные свойства электронов, нет необходимости проводить, ибо они уже проведены во множестве при изучении свойств сверхпроводящих цепей. Нам представляется удивительным, что до сих пор индуктивные свойства элементарных частиц практически не учитываются в физике (по крайней мере, в явном виде).

§ 5.11. О массе протона и ещё раз об инерции мышления

Проследив и даже поняв тот путь решения проблемы инерционной массы, который мы изложили выше, многие, тем не менее, зададут старый, как сама проблема, вопрос: так что же, получается, что в соответствии с (5.10), (5.18) и (5.23) **протон** в 1836 раз *меньше* электрона, раз он тяжелее? Да, ответим мы, это именно так! Но помилуйте, скажут нам, ведь *всем известно*, что протон больше! А вот тут остановитесь. Откуда это известно? Мы провели исследование с целью выяснить, как именно и с какой точностью был измерен **размер атома водорода**. Каково же было наше удивление, когда мы обнаружили, что он *никак* не измерен. Не удалось обнаружить *ни одного* опыта, в котором был бы доказательно и без встроенного порочного круга измерен размер атома водорода! Что же говорить о размерах элементарных частиц?! Их размеры - всего лишь предмет веры и теоретических рассуждений. Таково состояние современной физики. Допустив, (всего лишь допустив!), что электрон в 1836 раз *больше* протона, мы вполне могли бы истолковать результаты всех опытов по рассеянию, приняв также, что электрон ещё и «мягче» протона. Кроме того, столь малый размер протона, каким он вытекает из наших рассуждений (порядка 10^{-18} м) приводит к огромным напряжённости электрического поля вблизи протона, и к огромным *градиентам* этого поля, что следует учесть. Позже, например, в Главе 7, мы укажем и на другие явления вблизи протона. Рассеивая электроны на протонах и наоборот, невозможно выяснить, кто из них больше, а кто меньше. Можно лишь выяснить, что их размеры *отличаются* на 3 порядка. Нам просто *по инерции* кажется, что тяжёлое должно быть больше лёгкого. Таков наш усреднённый бытовой опыт.

§ 5.12. А проводник ли?

До сих пор мы все наши рассуждения вели, положив в самом начале, что электрон (и вообще элементарные заряженные частицы) - это проводник. Ёмкость и индуктивность проводника, хотя и геометрически малого, не вызывают большого недоумения и мы сравнительно легко проделали и энергетические и силовые расчёты. Однако *после* того, как мы объяснили механизм явления инерции, уяснили электрическую сущность инерционной массы и разобрались, что происходит с энергией при ускорении тел, возник вопрос: а так ли *существенно* то, что мы полагали элементарные заряды проводниками? Если бы указанная выше модельная сфера была бы *диэлектрической*, что изменилось бы? Ведь конвекционный ток, даже если его носителями являются диэлектрические крупинки (лишь бы они имели заряд!), ведёт себя так же, как ток проводимости. И магнитное поле он создаёт такое же, как контур с проводником при той же величине тока. Так, может быть, понятия индуктивности и ёмкости следует распространить не только на проводники, но и на диэлектрики и даже на *само пространство*? Однажды такая попытка уже была произведена Максвеллом, однако он полагал, что магнитная проницаемость вакуума есть погонная индуктивность пространства (эфира, мировой среды, *плenums*). А диэлектрическая проницаемость есть погонная ёмкость. Мы же пришли к выводу, что для получения погонных реактивностей «пространства» скорее диэлектрическую проницаемость надо умножать на 2π , а магнитную, соответственно, разделить на те же 2π . При этом связь этих величин со скоростью света останется той же самой, теми же останутся резонансные частоты антенн, но волновое сопротивление вакуума уменьшится в 2π раз и составит примерно 60 Ом (а не 377 Ом, как *считается* сегодня). И специалисты, и любители от радиотехники хорошо знают, что именно в диапазоне 50-75 Ом лежит волновое сопротивление большинства антенн и антенных кабелей. Как известно, излучение волн из некоего излучателя в среду лишь тогда эффективно, когда волновые сопротивления среды и самого излучателя близки. Это касается и механики, и акустики, и радиотехники. Так почему же, более ста лет повсеместно используя антенны с импедансом порядка 60 Ом, физики не пытались согласовать их с волновым сопротивлением вакуума (377 Ом), каким они его представляли со времён Максвелла?! Более того, антенны с высоким импедансом практически всегда считаются «плохими» антеннами. Так, может быть, и не надо ничего согласовывать, ибо всё уже согласовано?! Кстати, до сих пор нами не обнаружено в литературе ни одного *эксперимента* по измерению волнового сопротивления вакуума, как такового. Эта величина просто *назначается*! Подробное рассмотрение причин такого положения дел выведет нас за рамки заявленной в данной главе тематики. Но мы обязательно вернёмся к вопросу позже, когда будем рассматривать природу такого явления, как «электромагнитная волна», и в главе 12.

Таким образом, начав с *назначения* электрону свойств проводника и построив *индукционную теорию инерции*, мы пришли к выводу, что все результаты останутся в силе и для диэлектрического электрона и даже «пустого» электрона, состоящего, например, из вакуума. Что же это за электрон такой, состоящий из «пустоты», мы объясним несколько позже, когда будем рассматривать сущность элементарных частиц.

§ 5.13. Насколько важна форма?

Примерно такая же ситуация возникает и тогда, когда мы начинаем размышлять о форме электрона. А если он не «шарик», а «бублик», к примеру? А практически ничего не изменится. По-прежнему ускоренно движущийся заряженный бублик – это переменный ток. По-прежнему переменный ток вызывает ЭДС самоиндукции. По-прежнему ЭДС самоиндукции препятствует ускорению заряда. Все формулы останутся в силе. Что же

изменится?! Единственная вещь, которая может измениться, это содержание и величина понятия «эффективный радиус». Если же мы потребуем соответствия формул опытным данным, то даже и величина не изменится. Если для сферического электрона, «эффективный радиус» это просто радиус, то для кубического электрона нам пришлось бы *сказать*, что это нечто среднее между радиусами вписанной и описанной сфер. Так мы же всегда, говоря о среднем размере сложных объектов, имеем в виду что-то вроде «среднего радиуса». Это естественно. Когда-нибудь, кто-нибудь выяснит точно, какова форма электрона, точнее *внутренней части поля*, и в теорию войдёт, возможно, не один «эффективный радиус», а несколько чисел, описывающих геометрию электрона. А до тех пор будем пользоваться одним числом. Тем более что его пока вполне хватает для ответов на конкретные вопросы. Так в чём же причина, что явление инерции так мало зависит от конкретной формы заряда? На самом деле мы уже давали ответ: масса присуща только электрическому полю, а электрон это его поле. Следовательно, масса, инерция заряда, содержится *не внутри*, а распределена по *всему* его полю. Все, кто на практике познакомился с электростатикой, прекрасно знают, что поле проводника *гораздо* равномернее и симметричнее самого проводника. Можно взять клубок проволоки и зарядить его. Поверхность проводника – очень сложная. А уже в сантиметре от неё поле практически неотличимо от поля заряженной сферы. Вот почему столь маловажно, какова форма электрона «на самом деле».

§ 5.14. Взаимо- и самоиндукция частиц как основа всякой взаимно- и самоиндукции вообще

Поскольку нами установлено, что элементарные частицы обладают само- и взаимной индукцией (что проявляется как инерция и дефект масс соответственно), то возникает вопрос: а не являются ли все вообще проявления макроскопической индукции обусловленными индукцией элементарных частиц? Мы отвечаем на этот вопрос утвердительно. Мы утверждаем, что ***ускоренно движущиеся элементарные частицы взаимодействуют с другими частицами***, будь то свободные частицы или частицы, находящиеся внутри проводников, и даже внутри диэлектриков. Это взаимодействие не сводится к электростатическому, магнитному или взаимодействию посредством «электромагнитных волн». Это именно ***индукционное*** взаимодействие. В этом месте в современной физике, к сожалению, зияет дыра. Здесь мы предложим эксперимент, который вполне можно осуществить и который способен доказать только что сделанные утверждения. Возьмём тороидальную катушку с достаточно большим количеством витков и сердечником с высокой магнитной проницаемостью. Выполним обмотку в стиле «пояса Роговского», чтобы минимизировать побочные явления. Подключим катушку к чувствительному усилителю и поместим в электростатический экран. Теперь нам нужно какое-либо заряженное до возможно более высокого потенциала тело (например, металлический шарик) бросить в центр тороидальной катушки так, чтобы оно жёстко ударилось о некое препятствие (например, керамическую вставку) и, следовательно, приобрело в момент удара значительное ускорение. В силу взаимной индукции между заряженным шариком и катушкой на выходе усилителя должен быть зарегистрирован импульс, амплитуда которого будет пропорциональна заряду шарика и величине механического ускорения. После этого опыта дальнейшее доказательство взаимной индукции заряженных шариков элементарно: раз каждый шарик имеет взаимную индукцию с катушкой, то они должны иметь взаимную индукцию и друг с другом (транзитивность). Отсюда возникает интересное следствие: даже если частицы движутся в лабораторной системе равномерно и прямолинейно, но в разных направлениях, то, проходя близко одна мимо другой, будут испытывать кроме электростатических и магнитных взаимодействий ещё и взаимную индукцию, поскольку расстояние между ними меняется нелинейно от времени,

т.е. *ускоренно*. Можно показать, что на малых расстояниях (например, при бомбардировке ядер протонами и нейтронами) влияние взаимоиндукции достаточно велико и его надо бы учитывать, интерпретируя результаты таких опытов.

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. Учеб. Пособие для вузов. Издание 9-е, перераб. И доп.- М.: Издательский центр «Академия». 2004. - 560 с.
2. Энциклопедия «Кругосвет». Статья «КАНТ, ИММАНУИЛ».
<http://slovari.yandex.ru/dict/krugosvet/article/e/e8/1011683.htm?text=%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F%20%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8B&encid=krugosvet&encid=krugosvet>
3. G. A. Miller, «Charge Densities of the Neutron and Proton», Phys. Rev. Lett. 99, 112001 (2007).
4. Э. Уиттакер. История теории эфира и электричества. Москва. Ижевск. 2001. Перевод с английского.
5. С. Гордюнин. Идеальные проводники и кинетическая индуктивность. Квант 1996/№4. с.40.
6. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Лекции по физике. 6. Электродинамика. Глава 28. Электромагнитная масса. с.302-311. М.: Эдиториал УРСС 2004.
7. Бредов М.М, Румянцев В.В., Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. М.: Наука,1985. с.101
8. А. Зоммерфельд. Электродинамика. М.: Иностранная литература. 1958. с.377-384.
9. Владимир Жданов. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ Энциклопедия «Кругосвет» <http://slovari.yandex.ru/dict/krugosvet/article/9/92/1011706.htm>
10. Калантаров П. Л., Цейтлин Л. А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. - Л. Энергоатомиздат, 1985.