

История электромагнитной массы

Электромагнитная масса

Понятие электромагнитная масса в 1881 году ввёл Дж. Дж. Томсон, назвав так ту (совершенно неизвестную в то время) часть массы, которая обусловлена электростатическим полем заряженной частицы. Эта работа считается первой работой, в которой обсуждается связь энергии и массы. В ней же он показал, что энергия электростатического поля электрона должна быть связана с его массой неким линейным соотношением. Томсон исходил из механических представлений об эфире, господствовавших в науке до начала XX века. Он вычисляет поле заряженной сферы, движущейся с некоторой скоростью, считая, что с ускорением её электрическое поле деформируется. При этом возникает сила, сопротивляющаяся ускорению частицы, как если бы у неё имелась масса, которая при малых скоростях равна $\frac{2\mu e^2}{3a}$, где e — заряд сферы в электромагнитных единицах, a — радиус сферы, μ — магнитная проницаемость среды. При приближении скорости к скорости света эта масса возрастает вплоть до бесконечности. «Другими словами, — пишет Томсон, — невозможно возрастание скорости заряженных тел, движущихся через диэлектрик, до скорости, большей скорости света». Таким образом, вывод о предельном значении скорости света был получен еще за два года до рождения Эйнштейна.

Лоренц еще в ранних своих работах начал вводить в теорию электричества атомистику. В 1892 г он предлагает основы электронной теории. Мир состоит из вещества и эфира (гипотеза *неподвижного* эфира), причем Лоренц называет веществом «все то, что может принимать участие в электрических токах, электрических смещениях и электромагнитных движениях». «Все весомые тела состоят из множества положительно и отрицательно заряженных частиц, и электрические явления порождаются смещением этих частиц». Как видим, Лоренц признал электрическую природу вещества, отказав однако эфиру в электрической природе, причём безо всякого на то внятного основания. По смелой гипотезе Лоренца все молекулярные силы являются электрическими! Как выяснилось позднее, не только молекулярные, но и атомарные силы таковы. А сегодня есть уже основания полагать что и внутриядерные и так называемые «гравитационные» силы имеют всю ту же электрическую природу.

Таким образом, в начале XX века уже было ясно,

- что существуют мельчайшие носители электрического заряда и массы,
- что электрические, магнитные и механические явления тесно связаны,
- что атомы вещества состоят из разноименно заряженных частиц и
- были подготовлены все основания для правильного решения вопроса о сущности и природе инерции, массы и Ньютоновских законов.

Однако, по ряду причин, вопрос оказался не решенным...

Эпоха Максвелла-Эйнштейна

Исторически первым понятие «поле» было введено Фарадеем, оно укрепилось работами Максвелла, а значительно позже появились эксперименты, подтверждающие существование элементарного заряда. Понятие поля, будучи вначале лишь вспомогательной моделью, становится в физике XIX века все более и более реальной физической сущностью. Она позволяла понять многие факты, уже известные в области электрических и магнитных явлений, и предсказывать новые явления. Система взглядов, которая легла в основу уравнений Максвелла, получила название теории электромагнитного поля Максвелла. Был провозглашен новый тип физической реальности - поле, которое не сводится ни к материальным точкам, ни к веществу, ни к атомам.

Электромагнитная теория поля не смогла разрешить ряд вопросов по соотношению заряда, массы, ньютоновских законов и законов Фарадея. Для разрешения накопившихся противоречий Эйнштейн предложил математическую модель физической реальности. Физической реальностью, отмечал Эйнштейн, обладают не точки пространства и не моменты времени, а только сами события, определенные четырьмя числами x, y, z, t .

Специальная теория относительности (СТО), базируясь на рассмотрении инерциальных систем отсчета, позволяет установить важную зависимость для ускоренного движения. В релятивистской физике считается, что чем выше скорость движения тела, тем труднее увеличить ее. Поскольку сопротивление изменению скорости тела называется его массой (инерционной), то отсюда следует, что масса тела возрастает с ростом скорости его движения. Правда, при одном условии: в этих рассуждениях молчаливо полагается, что ускоряется электрон постоянной силой. А вот это умолчание никогда не было всерьез проверено. В классической механике массу рассматривают как постоянную величину, которую в релятивистской механике называют «масса покоя». Изменение массы можно обнаружить лишь при больших скоростях.

Основываясь на принципе эквивалентности гравитационной и инертной масс и зависимости массы от скорости движения, Эйнштейн в СТО делает радикальный вывод об эквивалентности массы и энергии.

Физические же причины возникновения массы остались нераскрытыми...

Поиски Фейнмана

Тема массы не оставляет умы мужей науки, и в 1962 году ее поднимает Р.Фейнман.

Фейнман предполагает, что природа массы электромагнитная. Замечательный педагог рассуждает так:

Откуда же вообще возникло понятие массы? В наших законах механики мы предполагали, что любому предмету присуще некое свойство, называемое массой. Оно означает пропорциональность импульса предмета его скорости. Теперь же мы обнаружили, что это свойство вполне понятно — заряженная частица несет импульс, который пропорционален ее скорости. Дело можно представить так, как будто масса — это просто электродинамический эффект. Ведь до сих пор причина возникновения массы оставалась нераскрытой. И вот, наконец, в электродинамике нам представилась прекрасная возможность понять то, чего мы никогда не понимали раньше. Прямо как с неба (а точнее, от Максвелла и Пойнтинга) свалилось на нас объяснение пропорциональности импульса любой заряженной частицы ее скорости через электромагнитные свойства. [Далее...](#)

«Фейнмановские лекции по физике», Р. Фейнман, Р. Лейтер, М. Сэндс, т.6, гл.28 – 3

Результаты его вычислений, основанных на применении вектора Пойнтинга к движущемуся электрону, дают для электромагнитной массы выражение, $m_{эм} = \frac{2}{3} \frac{e^2}{ac^2}$ и, соответственно, для энергии $U_{эл} = \frac{4}{3} m_{эм} c^2$. Как видим, выражение численно не совпадает с известной формулой $U = mc^2$, хотя и весьма похоже на него по форме.

Еще раньше Р.Фейнмана в 1958 г. А. Зоммерфельд также получил свою формулу для массы покоя электрона:

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

Расхождения в результатах вычислений заставили Р. Фейнмана признать, что масса электрона (а значит и других элементарных частиц) состоит не только из электромагнитной части, имеющей вполне понятную физическую природу, но ещё и некоей загадочной «массы неэлектромагнитного происхождения», не имеющей никакого внятного объяснения.

Другой нерешенный Фейнманом вопрос соотношение масс нейтрона и протона, двух частиц столь схожих с точки зрения сильных взаимодействий и различных с точки зрения электрических. В то время экспериментальных данных о наличии внутри нейтрона различно заряженных областей ещё не было.

Итак, природа массы не открылась Фейнману. Однако, его авторитетное мнение послужило причиной того, что дальнейшая разработка темы была отложена в «долгий ящик».

Какие же ошибки есть в логике Р. Фейнмана и А.Зоммерфельда? И что еще надо «добавить к электродинамике», чтобы создать единую теорию поля?

Прекрасный педагог и великий ученый Фейнман, рассуждая о массе, упускал из виду, что тело демонстрирует свои инерциальные свойства только при изменении скорости (т.е. с появлением ускорения). При равномерном же движении тела (или в состоянии покоя) мы не можем говорить о проявлении инерции. В то же время свои расчеты и Фейнман и Зоммерфельд производили рассматривая поле равномерно движущегося электрона, основываясь на идеях Лоренца об искажении поля движущегося электрона. Однако и в механике Ньютона, и в механике Эйнштейна, да и на практике нет способов выяснить факт равномерного прямолинейного движения замкнутой физической системы. Если бы поле равномерно движущегося электрона действительно искажалось бы *объективно*, то это открывало бы возможность обнаружения такого движения. Соответственно, в реальности поле равномерно движущегося заряда либо не искажается, либо это искажение не является объективным!

Другой принципиальной ошибкой Фейнмана было использование вектора Пойнтинга для описания переноса энергии полем электрона, который может применяться для электромагнитных волн, но вовсе не обязан давать корректные результаты в других случаях, на что указал ещё О. Хевисайд. В случае же движущегося заряда необходимо взять не вектор Пойнтинга, а вектор Умова, связанный с конвективным переносом энергии. [Вектор Пойнтинга представляет собой частный случай вектора Умова]. Доходчивое объяснение разницы между этими аппаратами дано у Марии Корневой и Виктора Кулигина (см. [подробнее](#)). Также весьма детально этот вопрос рассмотрен в работе В. Викулина и М. Мисюченко (...)

Выявление неточностей в подходе Фейнмана и недавнее подтверждение гипотезы Энрико Ферми о сложном строении нейтрона (выдвинута в 1947 году) вернули нас к идее электромагнитной массы.

Мы полагаем, что за инерцию электрона (и других элементарных частиц) отвечает хорошо известное явление самоиндукции. Согласно определению электрического тока, движение заряженной частицы есть ток. Ускоренное (т.е. неравномерное) движение есть изменяющийся во времени ток. Всякий изменяющийся во времени ток сопровождается, согласно М. Фарадею, явлением самоиндукции. Самоиндукция (по правилу Х. Ленца) всегда направлена против силы, вызвавшей изменение тока (т.е. вызвавшей ускорение заряженной частицы). Эта сила и принимается всеми за силу инерции!

Так как незаряженной материи не существует и это было показано в наших работах [см. статьи «[Принцип эквивалентности](#)» и «[Масса](#)»], то любые тела состоят из зарядов. Это приводит к естественному выводу: инерция любого даже электрически нейтрального тела объясняется явлением самоиндукции, возникающим вблизи каждой элементарной частицы, составляющей это тело. Рассмотрим этот вывод подробнее.

Вспомним определение самоиндукции:

Электрический ток в отдельной катушке создает магнитный поток, который пронизывает эту катушку. Если ток в катушке изменяется со временем, то будет изменяться и магнитный поток через катушку, наводя в ней ЭДС точно так же, как это происходит при работе трансформатора. Возникновение ЭДС в катушке при изменении тока в ней называется самоиндукцией. 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. В цепи переменного тока самоиндукция создает реактивное сопротивление, ограничивающее амплитуду тока.

В отсутствие магнитных материалов вблизи неподвижной катушки магнитный поток, пронизывающий ее, пропорционален току в цепи. Согласно закону Фарадея, ЭДС самоиндукции должна в этом случае быть пропорциональна скорости изменения тока, т.е.

$$E = -L \cdot di / dt ,$$

где L – коэффициент пропорциональности, называемый самоиндукцией или индуктивностью цепи. Формулу можно рассматривать и как определение величины L . Если наводимая в катушке ЭДС E выражается в вольтах, ток i – в амперах и время t – в секундах, то L будет измеряться в генри (Гн). Знак «минус» указывает на то, что наводимая ЭДС противодействует увеличению тока i , как и следует из закона Ленца. Внешняя ЭДС, преодолевающая ЭДС самоиндукции, должна иметь знак «плюс». Поэтому в цепях переменного тока падение напряжения на индуктивности равно $L di/dt$.

При движении тела с ускорением, ускоренно двигаются все заряды в этом теле. Ускоренно двигающийся заряд по определению является изменяющимся (переменным) током. Изменяющийся ток вызывает явление самоиндукции. ЭДС самоиндукции препятствует силе, вызвавшей изменение тока, т.е. ускорению заряда.

Полная сила инерции складывается из сил самоиндукции, действующих на каждую заряженную частицу макротела в отдельности. Выявленный механизм демонстрирует, что силы инерции не являются фиктивными силами, а обусловлены электромагнитными явлениями.

Расчеты и выводы

Рассмотрим теперь второй и третий законы Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$ и $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Прилагая силу к любому телу, мы ускоряем тело, т.е. тем самым мы ускоряем все микрозаряды, входящие в состав этого тела. Следовательно, каждая частица тела становится током, причем изменяющимся током. Возникает явление самоиндукции, описываемое согласно Фарадею через ЭДС индукции.

$$E = -L \cdot di / dt$$

Здесь $L = \frac{\mu_0}{2\pi} r_0$ - индуктивность (коэффициент самоиндукции) сферы. В формуле возникает знак «минус» по правилу Ленца, показывая, что ЭДС всегда направлена против сил, вызвавших изменение тока.

ЭДС самоиндукции вызывает появление электрического поля $E_i = E / 2r_0$ самоиндукции, а оно действует на заряд силой

$$F = qE_i = -\frac{qL}{2r_0} \cdot di / dt$$

Таким образом, видно, что сила противодействующая ускорению прямо пропорциональна изменению тока, связанного с движением заряда. Выразим теперь изменение силы тока во времени:

$$\frac{di}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{qV}{2r_0} = \frac{q}{2r_0} \frac{dV}{dt} = \frac{q}{2r_0} a$$

Следовательно, сила, возникающая при ускорении тела, выражается как:

$$F = -\frac{qL}{2r_0} \cdot di / dt = -\frac{q}{2r_0} \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} r_0 \frac{q}{2r_0} a = -\frac{\mu_0}{8\pi} \frac{q^2}{r_0} a$$

Сопоставив со вторым законом Ньютона

$$F = -ma,$$

видим, что масса частицы определяется выражением

$$m = \frac{\mu_0}{8\pi} \frac{q^2}{r_0}.$$

Отметим тот важный факт, что выведенная из закона самоиндукции масса полностью совпадает с Эйнштейновской массой $m = \frac{U}{c^2}$, если под полной энергией электрона U понимать собственную энергию его электрического поля.

Соответственно, и второй, и третий законы Ньютона просто выражают свойства электромагнитной индукции. Метод Ньютона — создание модели явления, «не измышляя гипотез», а потом уже, если данных достаточно, поиск его причин можно и вовсе отбросить. «Замена массы на заряд», раскрывает механизм законов Ньютона, и ряд других явлений.

Теперь становится понятной устойчивость орбит планет Солнечной системы. Так как тяготение действует на планеты с некоторой силой $F_{тяг}$, а вещество (планета) сопротивляется с совокупной силой самоиндукции $F_{\Sigma i}$, причём $\vec{F}_{\Sigma i} = -\vec{F}_{тяг}$, то на планеты в сумме не действуют никакие силы, и поэтому они не меняют характер своего движения.

В теореме вириала центростремительной силе противодействует, возникающая ЭДС самоиндукции. Образуется обратная связь. ЭДС растет до тех пор, пока не сравняется с $F_{ц.с.}$ по величине.

Используя законы электростатики и теорему вириала, мы рассчитали связь в молекуле водорода (см. [подробнее](#)). Результаты говорят сами за себя: расхождение расчетного значения размеров молекулы с экспериментальным менее 4%. Таким образом, наша теория образования связи объясняет устойчивость молекул и атомов, отсутствие излучения электрона в атоме и является весомым аргументом в пользу электромагнитного описания мира.

Достаточно внимательно посмотреть вокруг и... Вы обнаружите многократное подтверждение электромагнитной природы массы. Для определения массы элементарных частиц используют метод масс-спектрометрии. Он дает возможность измерить отношение массы к заряду частицы. О какой массе идет речь? – Об инерционной. Опыт показывает, что инерционная масса до 3-го знака равна весу этой частицы (см. [подробнее](#)). Используя принцип эквивалентности (инерционная масса=гравитационной), мы убеждаемся, что на нейтральную Фейнмановскую массу ничего не остается. Незаряженные частицы в скрещенных электрических и магнитных полях не отклоняются, что также позволяет сделать вывод о неразрывной связи заряда и массы и отсутствии незаряженной массы.

Итак, инерциальные, электрические и гравитационные свойства тела определяются зарядом его частиц, а не их необъяснимой механической «массой». Не «масса» является изначальной, исходной сущностью материи, а заряд. Масса, как самостоятельное *фундаментальное* понятие, не требуется более физике. Введенная Ньютоном она за 300 лет так не получила физического объяснения и по законам истории должна уйти с арены физических действий вслед за весом, флогистоном и теплотомом.

Когда Фарадей впервые опубликовал свое замечательное открытие о том, что изменение магнитного потока создает ЭДС, его спросили (как спрашивают, впрочем, всякого кто открывает какие-то новые явления): «Какая от этого польза?» Ведь все, что он обнаружил, возникновение в проводе крошечного тока... Фарадей ответил: «Какая может быть польза от новорожденного ребенка?» «Выросшее дитя» дало нам точку зрения на электродинамику с позиций концепции поля. На этом фундаменте работает вся индустрия. Законы Фарадея объяснили механизм законов Ньютона, устойчивость орбит Солнечной системы и физический смысл теоремы вириала.

Итак, силы инерции, с трудом поддававшиеся объединению с другими силами, перестали быть препятствием в создании единой теории поля. Механическая масса Ньютона безраздельно господствовала в науке около 200 лет, прежде чем отдельные учёные совершили самые первые попытки вскрыть физический механизм явления инерции и связать массу с электромагнитными свойствами элементарных частиц. Понадобилось ещё 100 лет борьбы, чтобы эта идея окончательно сформировалась и заняла своё законное место в современной науке.