

К ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ ЗДРАВОВОГО СМЫСЛА

К.Б. Канн

kkann@yandex.ru

Теория "взаимодействия полей" искажает природу электромагнитной индукции. Она привела к появлению ряда фантомов – "вихревое электрическое поле", "ток смещения в вакууме" и пр., которые теоретики возвели в ранг реальных объектов. Такие понятия, как сила Лоренца, магнитное поле и др., были наделены несвойственными им функциями. Сложившиеся представления о процессах генерации и распространения электромагнитных волн породили мистический вариант электромагнитного излучения, которое не может ни перемещаться в пространстве, ни переносить энергию. Современная электродинамика изобилует "парадоксами" и утверждениями, противоречащими не только здравому смыслу, но и другим теориям и закономерностям. Все это привело к длительной стагнации в теоретической электродинамике.

*«Имейте мужество
воспользоваться
собственным умом».*

И.Кант

Начало

Началом электродинамики можно считать открытие М. Фарадеем (1831 г.) явления электромагнитной индукции (ЭМИ). Фарадей установил, что при изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый проводящий контур, в нем протекает электрический ток. Этот результат Фарадей сформулировал (примерно) так:

Заряд Δq , прошедший по замкнутой цепи, пропорционален изменению магнитного потока $\Delta \Phi$, пронизывающего контур, и обратно пропорционален сопротивлению цепи R :

$$\Delta q = \Delta \Phi / R. \quad (1)$$

Со временем эта формулировка претерпела некоторые изменения. Не следуя исторической достоверности, запишем соотношение (1) в дифференциальной форме:

$$dq = d\Phi / R.$$

Заряд, прошедший по цепи за время dt , определяется соотношением: $dq = Idt$, где I – мгновенное значение тока в цепи. Тогда

$$Idt = d\Phi / R \quad \text{или} \quad IR = d\Phi / dt. \quad (2)$$

Согласно закону Ома для замкнутой цепи $IR = \mathcal{E}$ – электродвижущая сила (ЭДС) в цепи. Для оценки направления индукционного тока академик Ленц ввел в соотношение (2) знак « \rightarrow » («Правило Ленца»):

$$\mathcal{E} = -d\Phi / dt. \quad (3)$$

Это соотношение отражает «Основной закон электромагнитной индукции». В такой формулировке этот закон и вошел в знаменитую систему уравнений электродинамики Дж. Максвелла. Переход от закономерности Фарадея (1) к "максвелловской" формулировке (3) являлся простым (тождественным) математическим преобразованием и казался логически обоснованным. Но именно эта подмена стала первым шагом науки об электричестве на тропинку, которая к настоящему времени завела эту важнейшую область человеческого знания в тупик.

Критическому анализу некоторых положений современной классической электродинамики посвящена эта статья.

Теория и эксперимент

Начнем с того, что зависимость (3) искажает результаты экспериментов Фарадея. Если у Фарадея в процессе ЭМИ в замкнутом проводнике возникал *электрический ток*, то согласно соотношению (3) переменный магнитный поток создает в проводнике *электрическое поле* – индукционную ЭДС. В «законе Максвелла» нет ни тока, ни электрических зарядов. Это создает иллюзию, что электрическое поле можно получить *непосредственно* из магнитного поля – без участия зарядов и токов. Ничего подобного из экспериментов Фарадея не следовало. Тем не менее, этот умозрительный вывод из зависимости (3) продолжатели Максвелла восприняли буквально – как возможность генерации электрического поля *в вакууме* переменным магнитным полем. Так электродинамика из науки о взаимодействии электрических *зарядов* превратилась в науку о взаимодействии *полей*, а теория Максвелла – в "теорию электромагнитного поля".

За полтора столетия развития электродинамики зависимость Фарадея (1) была практически забыта, а «Законом Фарадея» сегодня повсеместно называют его «максвелловскую» формулировку (3).

"Вихревое" электрическое поле

В 19-ом веке единственным механизмом создания электрического тока было воздействие на заряды электрического поля. Чтобы в замкнутом контуре протекал индукционный ток, требовалась круговая (замкнутая) ЭДС. В отсутствие зарядов замкнутое электрическое поле может быть только *вихревым*. Поэтому ЭМИ в замкнутом контуре сегодня объясняют так:

Нестационарное магнитное поле образует вокруг себя вихревое электрическое поле, которое в проводящем контуре создает индукционный ток.

Сегодня такое объяснение следует признать несостоятельным, ибо – согласно теории физических полей – "вихревое" электрическое поле... не существует.

Действительно:

Электрическое поле образуется *силовым* вектором – напряженностью **E**, которая в любой точке поля связана с *потенциалом* φ в этой точке известным соотношением **E** = –**grad** φ . Циркуляция напряженности по любому конечному отрезку *L* в электрическом поле $\Delta\varphi = \int_L \mathbf{E}d\mathbf{l}$ представляет собой *разность потенциалов* на этом отрезке. Вихревое поле скалярным потенциалом не обладает. Отсюда следует, что *электрическое поле не может быть вихревым*.

Не думаю, чтобы сторонники "вихревого электрического поля" не видели, что это понятие противоречит здравому смыслу, но иначе "максвелловская" формулировка не могла объяснить возникновение индукционной ЭДС в замкнутом контуре.

Итак, следует признать, что идея "взаимодействия полей", порожденная формулировкой (3) закона ЭМИ, в природе не реализуется.

На сайте electrodynamics.narod.ru [1] показано, что во всех случаях, где по существующим представлениям должно "работать" вихревое электрическое поле, работу выполняет *потенциальное* (разомкнутое) поле, а «вихревое электрическое поле» – это фантом, лишенный физического содержания.

Два лика ЭМИ

Известно, что индукционная ЭДС возникает в любом проводящем отрезке, движущемся в магнитном поле. При этом замкнутый контур отсутствует, а причиной

образования ЭДС является *пересечение* проводником линий магнитного поля. Возникновение индукционной ЭДС по *механизму пересечения* можно представить так:

При пересечении линий магнитного поля движущимся проводником в нем протекает электрический ток, создающий на концах проводника индукционную ЭДС.

Возникновение индукционного тока по механизму пересечения объясняется взаимодействием свободных зарядов в проводнике с магнитным полем (теория электромагнитного взаимодействия Х. Лоренца). Очевидно, что это *другой* механизм, принципиально отличающийся от *индукционного механизма* ЭМИ в замкнутом контуре. Таким образом, явление электромагнитной индукции выступает сегодня в двух ипостасях, в двух лицах, совершенно не похожих друг на друга.

Известно, что ЭДС индукции в замкнутом контуре не зависит от того, каким способом изменяется пронизывающий его магнитный поток. Механизмом пересечения можно объяснить возникновение в контуре индукционного тока при приближении или удалении постоянного магнита, при вращении контура в однородном (или его поступательном движении – в неоднородном) магнитном поле, при деформации контура, приводящей к изменению его площади и/или ориентации, и во многих других случаях. И только один случай не удастся описать этим механизмом – возникновение ЭДС в замкнутом неподвижном и недеформируемом контуре вследствие изменения *магнитной индукции* в пронизывающем контур потоке.

Многие специалисты понимают, что такое положение ненормально, но какое-либо внятное объяснение такой "двуликости" явления ЭМИ отсутствует. А ответ лежит на поверхности: механизм пересечения отражает представления Фарадея о природе ЭМИ (зависимость (1)), а индукционный механизм – это рецидив идеи "взаимодействия полей", порожденной формулировкой (3). Признать эту очевидную истину мешает лишь религиозный трепет перед "священной коровой" – теорией электромагнитного поля.

На сайте [1] предлагается вариант, который позволяет объяснить возникновение индукционной ЭДС в замкнутом проводящем контуре механизмом пересечения.

Электрическая энергия

Наибольший вред идея "взаимодействия полей" нанесла понятию "электрическая энергия". Сегодня в "официальной" науке такое понятие вообще отсутствует. Это скажет вам любой физик, добросовестно усвоивший теоретический (университетский) курс электродинамики. В последнем издании "Большого энциклопедического словаря" [2] по физике электрическая энергия упоминается лишь в комбинации "электромагнитная энергия".

Понятие электрического (а затем и магнитного) поля ввели Фарадей и Максвелл, чтобы исключить дальное действие в электродинамике. Поля оказались удобной *математической моделью* для расчетов электрических и магнитных взаимодействий. Но вскоре эти абстрактные модели наделили массой, энергией, импульсом и прочими атрибутами реальных (материальных) объектов. Это было логическим развитием идеи "взаимодействия полей", но стало вторым серьезным отступлением от здравого смысла в электродинамике.

Во времена Исаака Ньютона, когда с большим уважением относились к интуиции естествоиспытателей, была разработана стройная и логичная система современных представлений о *механической энергии*. Она делится на потенциальную (энергию "*положения*" взаимодействующих объектов) и кинетическую – энергию относительного *движения* материальных объектов. Максвелл отмечал явную аналогию между электрической и механической энергией: "Электрическая энергия бывает двоякого рода – электростатическая и электрокинетическая... Первая зависит от свойств среды, в силу которого электрическое смещение вызывает электродвижущую силу в противоположном

направлении... Электрокинетическая энергия есть просто энергия движения, вызываемого в среде электрическими токами и магнитами..." [3, с. 202].

Очевидно, что под "электростатической" Максвелл понимал потенциальную энергию взаимодействия зарядов противоположного знака, "смещенных" относительно друг друга (разность потенциалов, ЭДС). В теории электромагнитного поля стараются избегать термина "потенциальная электрическая энергия", что апологетам теории взаимодействия полей дается с трудом – как иначе назвать энергию заряда q в точке с потенциалом φ ?

Меньше повезло термину "электрокинетическая энергия". Сегодня этот термин воспринимается как ругательство, ересь, сопряженная с "вероотступничеством". О каком "движении" можно говорить в "теории полей", в которой "электрические токи и магниты" выполняют служебные роли?

С тех пор, когда электродинамика стала "теорией полей", электроэнергия существует исключительно в форме "плотности энергии электромагнитного поля". Практически не исследованными остаются ни процессы генерации потенциальной энергии (ЭДС), ни переход потенциальной электрической энергии в "энергию движения". Неясна сама природа этого понятия. А ведь "энергия движения" – это и есть та "рабочая форма" электрической энергии, в которой она превращается в тепло, работу и другие формы энергии!

Практическая электротехника уже многие десятилетия развивается самостоятельно – без какой-либо адекватной теоретической поддержки. Огромные успехи электроэнергетики, электроники, радиосвязи, телевидения и пр. получены не благодаря, а скорее – вопреки представлениям современной теоретической электродинамики.

Потенциальная и "электрокинетическая" энергия

За два века создано множество электрогенераторов разной природы и конструкций. Из-за путаницы в понятии "электрическая энергия" работа генераторов различной природы долгое время анализировалась порознь. Лишь в 1929 году академик И.Е. Тамм [4] предложил модель, которая позволила рассматривать процесс генерации электроэнергии с единых позиций (как "абстрактный генератор"). Кратко эту идею можно изложить так:

Чтобы создать потенциальную электрическую энергию (разность потенциалов, ЭДС), нужно "разделить" заряды противоположного знака и, перемещая их *против* электрического поля, "развести" их на разноименные полюса генератора. Эту работу могут выполнить лишь силы неэлектростатической природы, которые И.Е. Тамм назвал "сторонними силами". Кроме функции создания потенциальной энергии, сторонние силы должны *удерживать* электрические заряды от "схлопывания" внутри генератора (в холостом режиме) и *поддерживать* ЭДС в рабочем режиме, когда потенциальная электрическая энергия переходит в "энергию движения" – энергию электрического тока. Таким образом, электрический ток создается двумя способами: *во внешней цепи* – потенциальными *электрическими силами*, а внутри генератора – *сторонними силами*, принципиально отличными от ЭДС (см. [1]).

Явление ЭМИ – это процесс *генерационный*. ЭДС индукции создается индукционным (*сторонним*) током. "Максвелловский механизм" по формуле (3) ставит "телегу впереди лошади", утверждая, что в процессе ЭМИ сначала образуется индукционная ЭДС, которая затем вызывает индукционный ток.

Эту ошибку в формулировке (3) допустил Максвелл в середине 19-го века. Удивительно, что этой коварной ошибки не избежал и сам автор модели "сторонних сил" [5]. До сих пор ее повторяют многие современные исследователи и авторы учебников (см. [1]). Причина в том, что не определено понятие "электрическая энергия" и существует глубокое непонимание принципиальной разницы между потенциальной и "электрокинетической" энергией.

Если обобщенное представление о процессе генерации потенциальной электрической энергии в 30-ые годы прошлого века как-то определилось, то какое-либо разумное представление об "электрокинетической" энергии отсутствует и по сей день. При этом в

классической электродинамике фигурирует другое понятие – магнитное поле. С точки зрения здравого смысла магнитное поле (как и электрическое) энергией обладать не может. Но – в отличие от электрического поля – магнитное поле не связано ни с какими "зарядами", то есть не может считаться даже удачной *математической моделью* взаимодействия реальных (материальных) объектов. Чтобы не заблудиться в дебрях релятивистской физики, рискну высказать лишь два очевидных утверждения:

- 1) "энергия движения" – это *другая форма* электрической энергии, отличная от потенциальной энергии взаимодействия неподвижных зарядов;
- 2) она определяется силой тока или – при движении одиночного электрического заряда – величиной заряда и его скоростью.

Отсюда следует вывод, который мне кажется разумным и достаточно обоснованным:

"Магнитное поле" – это умозрительное понятие, которое *в какой-то степени* можно считать синонимом "электрической энергии движения". Установить физику этого "родства" – по понятным причинам - еще и не пытались...

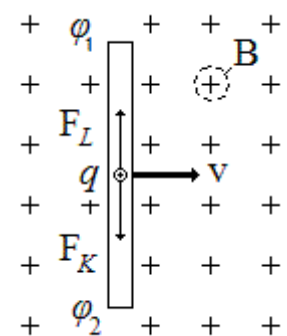
Природа электромагнитных взаимодействий

Исследования процессов получения ЭДС в электрохимических источниках тока оставим электрохимикам. Рассмотрим подробнее лишь работу *индукционного* генератора.

Если объяснение образования ЭДС "вихревым электрическим полем" признать досадным недоразумением, то все явления ЭМИ сводятся к пересечению заряженными частицами линий магнитного поля. При этом работают силы электромагнитного взаимодействия, описываемые теорией Х. Лоренца. Магнитная составляющая силы Лоренца описывается *формулой Лоренца*:

$$\mathbf{F}_L = q[\mathbf{v}, \mathbf{B}]. \quad (4)$$

Эта зависимость отражает силу воздействия магнитного поля с индукцией \mathbf{B} на электрический заряд q , движущийся со скоростью \mathbf{v} (см. рисунок). При движении проводящего отрезка в магнитном поле на его концах возникает разность потенциалов $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ – ЭДС индукции, которая определяется равновесием между силой Лоренца F_L и кулоновской силой F_K . Существует мнение, что сторонней силой в данном процессе является сила Лоренца (другого "претендента" на эту роль просто нет!). Основная функция сторонней силы – передать заряженной частице некоторую энергию, которая позволяет частице двигаться *против поля*, превращаясь в потенциальную электрическую энергию (разность потенциалов, ЭДС). Но – согласно формуле Лоренца (4) – магнитная сила всегда перпендикулярна скорости частицы, и поэтому передать частице какую-либо энергию не может. То есть сила Лоренца *не может быть сторонней силой!* Это противоречие специалистам известно давно, но теоретики предпочитают его "не замечать". В замкнутом контуре от этого "парадокса" спасает "вихревое электрическое поле", но при движении проводящего отрезка в магнитном поле вихревое электрическое поле не образуется*. В таких случаях теоретики, пренебрегая здравым смыслом, прибегают к "палочке-выручалочке" – релятивистскому формализму (см., например, [6]).



В практической электротехнике известно, что магнитные силы (силы Ампера, "пондеромоторные" силы и пр.) успешно выполняют механическую работу, но при этом механизм электромагнитного взаимодействия отличен от механизма Лоренца. Утверждение, что "электромагнитные силы не могут совершать работу", справедливо лишь для *однородного* магнитного поля. В неоднородном поле существуют *градиенты плотности* поля, которые создают градиенты *магнитного давления*.

* Заметим, что к формулировке "силы Лоренца" у специалистов есть еще много других претензий (см. [1]).

При движении электрического заряда в однородном поле его *собственное* магнитное поле *искажает* внешнее поле. Возникающие при этом неоднородности и градиенты давления – это и есть причина силового электромагнитного взаимодействия. Но это – принципиально другой физический механизм, который требует другого формализма и не описывается формулой Лоренца.

Магнитное поле не может непосредственно воздействовать ни на неподвижный, ни на движущийся электрический заряд. "Посредником" в этом взаимодействии служит собственное магнитное поле заряда, а "электромагнитное взаимодействие" является истинно *магнито-магнитным!*

Электромагнитные волны

Венцом "теории взаимодействия полей" является предсказание и дальнейшее экспериментальное подтверждение (Г. Герц, 1888г.) существования электромагнитного излучения – электромагнитных волн (ЭМВ). В этом открытии проявилась вся гениальность и физическая интуиция Дж. Максвелла. Но – с другой стороны – в этом заключительном аккорде "теории полей" сконцентрировались все "парадоксы" и рецидивы отклонений от здравого смысла, допущенные последователями Максвелла – Г. Герцем, О. Хевисайдом, А. Эйнштейном и др. [7].

Вдумчивый анализ современных представлений об электромагнитных излучениях вызывает множество недоуменных вопросов:

1. Решение системы уравнений Максвелла приводит к двум *одинаковым* волновым уравнениям для электрической и магнитной компонент ЭМВ, что делает волны электрической и магнитной напряженности *синфазными*. В связи с этим возникают вопросы: может ли при этом электромагнитная волна перемещаться? Не нарушается ли здесь закон сохранения энергии? Может ли плотность потока энергии (модуль вектора Умова-Пойнтинга) меняться по гармоническому закону? Сегодня на эти вопросы, не пренебрегая здравым смыслом, ответить невозможно.

2. Генерация и распространение электромагнитного излучения предполагает поочередный переход "энергии электрического поля" в "магнитную энергию". Со времен Эрстеда (1820 г.) известно, что магнитное поле создается *только* электрическим током (потоком заряженных частиц). Чтобы ЭМВ могли распространяться в вакууме, пространство должно быть заполнено некоторой средой – "мировым эфиром", который – по мыслям Максвелла – должен обладать свойствами диэлектрика. В частности, "мировой эфир" должен содержать связанные электрические заряды разного знака. Переменное электрическое поле вызывает в "эфире" переменные "токи смещения" (поляризационные токи), которые и создают переменное магнитное поле.

С появлением специальной теории относительности понятие "мировой эфир" было изгнано из научного обихода. При этом на научную свалку был "выплеснут и ребенок" – максвелловский ток смещения. Чтобы не обидеть ни Максвелла, ни Эйнштейна, сторонники электромагнитного поля и релятивисты подменили реальный ток смещения (в диэлектрике)... *производной* (!?) от электрической индукции. При этом авторы этой "гениальной" находки "не заметили", что электрическая индукция – это *поверхностная плотность зарядов*, отсутствующих в вакууме. Если руководствоваться здравым смыслом, то следует признать, что магнитное поле в ЭМВ без какой-то материальной субстанции (в вакууме) создать невозможно.

Выше было показано, что и обратный процесс – генерация электрической компоненты ЭМВ тоже невозможна, ибо магнитное поле не может создать "вихревое электрическое поле". Таким образом, ЭМВ – по нынешним представлениям – "зависнут в вакууме", еще не родившись.

3. И, наконец, если учесть сказанное выше об электрической энергии, то ни электрическое, ни магнитное поле энергией не обладают и, следовательно, ЭМВ не могут принести нам ни солнечный свет, ни тепло. Они не могут "работать" ни в радиоприемниках, ни в телевизорах, ни в радиолокации... Это ли – не тупик!

На сайте [1] все эти "недоуменные вопросы" и возможные ответы на них рассматриваются подробно. Показано, что синфазность компонент в ЭМВ – результат попытки насильственно симметризовать электрические и магнитные явления, что электромагнитное излучение возможно лишь в материальной среде, содержащей электрические заряды. Предлагается возможный вариант механизма генерации и распространения электромагнитного излучения, свободный от "парадоксов" современной теории. В частности, становится очевидным, что изжившую себя модель "магнитное поле" необходимо заменить реальным физическим механизмом перемещения в пространстве "электрокинетической энергии", который определяется нашими представлениями о структуре физического вакуума.

Заключение

Сегодня наука электродинамика считается завершенной. "Священным писанием" является максвелловская "Теория электромагнитного поля", существенно измененная и возведенная в догму последователями и "доброжелателями" Дж. Максвелла. Ретрограды и чиновники от науки берегут ее девственность с не меньшим усердием, чем инквизиция в свое время берегла догматы религиозные. Любая новая мысль упирается в глухую стену, на которой начертано: "Система уравнений Максвелла". Эта стена стоит на пути теоретической электродинамики уже много десятилетий...

Литература

1. www.electrodynamics.narod.ru
2. БЭС, Физика. – М.: Научное изд. БРЭ, 1999. С. 903.
3. Д.К. Максвелл. Статьи и речи. – М.: Наука, 1968.
4. Тамм И.Е. Основы теории электричества: Учеб. пособие для вузов. – 11-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. С. 181.
5. К.Б. Канн. Об изложении "Обобщенного закона Ома" в курсе общей физики. – В Сб. трудов МНМК "Единый подход к преподаванию физики в школе и вузе". – Ст. Оскол, окт. 2010. – С. 80.
6. Э. Парселл. Электричество и магнетизм: Учебное руководство. Пер. с англ. – М.: Наука, 1983. – (Берклеевский курс физики, т. II).
7. Н.Т. Маркчев. Сравнение различных форм системы уравнений Максвелла. – В Сб. статей «Максвелл и развитие физики XIX–XX веков» – М.: Наука, 1985. С. 93.