К вопросу об объединении фарадеевой и лоренцевой индукций в единый механизм

Геннадий Ивченков
kashey@kwic.com
http://www.iri-as.org

Проанализирована возможность сведения фарадеевой и лоренцевой индукции к единому физическому механизму. Показано, что движение проводника в магнитном поле и формальное "движение" линий индукции относительно неподвижного проводника не являются тождественными и фарадеева индукция не может быть сведена к лоренцевой.
Possibility of unification of Lorentz and Faraday inductions has been analyzed. It was shown that movement of a conductor in magnetic field and similar movement of lines of magnetic induction about the conductor are not produce equivalent e.m.f. Therefore, Lorentz and Faraday inductions are provided by different physical mechanisms.

1. Введение

Известно, что при изменении тока в проводнике радиус линий индукции меняется и в расположенном рядом проводнике (замкнутом контуре) наводится ЭДС за счет фарадеевой индукции, связанной с изменением магнитной индукции в плоскости замкнутого контура ($U = -\frac{d\Phi}{dt}$ [1]).

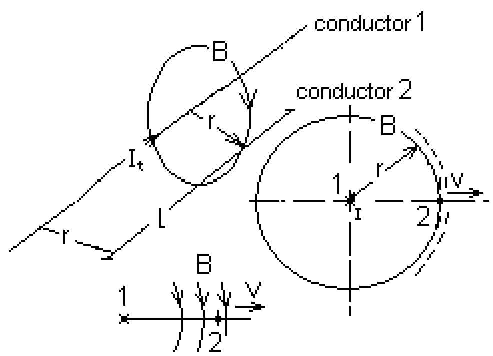

Рис. 1

Также известно, что при движении проводника в магнитном поле со скоростью V он пересекает линии индукции и в нем наводится лоренцева ЭДС ($U = BVl$ для однородного поля [1]).

В первом случае (фарадеева индукция), линии индукции как бы движутся относительно второго (неподвижного) проводника со скоростью V при изменении тока в проводнике 1.

Таким образом, можно было бы предположить, что движение линий индукции эквивалентно перемещению проводника относительно этих линий с такой же скоростью V. При этом, скорость этого движения зависит от скорости изменения тока в проводнике $\frac{dI}{dt}$. Это предположение, если бы оно подтвердилось, явилось бы доказательством того, что обе эти ЭДС возникают за счет единого физического механизма – лоренцевой индукции, основанной на разделении движущихся в магнитном поле зарядов.

Нужно отметить, что в свое время, когда истинный механизм лоренцевой индукции был еще не известен, но этот эффект был уже известен, ее пытались заменить фарадеевой индукцией. Эта "замена" фигурирует во всех учебниках и даже проникла в справочники [1]. В ней предполагается, что за движущимся проводником тянется некий контур, увеличивающий свою площадь по мере движения. Несмотра на очевидную вздорность такого "объяснения" ($\frac{dS}{dt}$ не имеет никакого отношения к электромагнетизму, а, фактически, является линейной скоростью движения отрезка l), формула, полученная таким путем, совпадает с истинной: $U = \frac{d\Phi}{dt} = B\frac{dS}{dt} = Bl\frac{dx}{dt} = BlV$. Это очень помогло уравнениям Максвелла, где вся индукция была сведена к фарадеевой.

2. Анализ возможности сведения фарадеевой и лоренцевой индукцию к единому физическому механизму.

Следовательно, предположим, что при изменении тока в проводнике 1 (см. рис. 1), линия индукции с индукцией B пересекает расположенный рядом неподвижный проводник 2 со скоростью V (рис. 1). Считаем токонесущий проводник 1 бесконечно длинным, и что расположенный рядом с ним и параллельный ему элемент неподвижного проводника 2 имеет длину l (рис. 1). Так как $B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2I}{r}$ и, соответственно, радиус изолинии равен $r_t = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_t}{B}$, то скорость "раздувания" (радиального движения) окружности изолинии индукции с индукцией $B_i = const$ зависит от тока I_t и будет равна $V = \frac{dr}{dt} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{1}{B}\frac{dI}{dt}$. Так как ЭДС Лоренца в элементе движущегося проводника длиной l равна $U = BlV$, то ЭДС в этом элементе проводника 2 в момент пересечения его этой изолинией будет равна: $U = BVl = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{dI}{dt}l$. (2.1)

Согласно этой зависимости получается, что ЭДС не зависит от расстояния между проводниками, чего не должно быть. Кроме того, согласно данной формуле, ЭДС в прямоугольном замкнутом контуре не наводится, что, опять же, не соответствует действительности.

Теперь определим фарадееву индукцию в прямоугольном замкнутом контуре, параллельные проводники которого находятся на расстояниях r_1 и r_2 от токонесущего проводника

Так как $B_r = 2\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{r}$ [1], то интегрируя по r получим:

$$\Phi = 2\frac{\mu_0}{4\pi}I_t l\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r} = 2\frac{\mu_0}{4\pi}I_t l(\ln r)_{r_1}^{r_2} = \frac{\mu_0}{2\pi}I_t l\ln\frac{r_2}{r_1} = \frac{\mu_0}{2\pi}I_t l\ln r_2 - \frac{\mu_0}{2\pi}I_t l\ln r_1.$$

Тогда ЭДС будет равна $U_{r_1r_2} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{dI}{dt}l\frac{\ln r_2}{\ln r_1} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{dI}{dt}l\ln r_1 - \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{dI}{dt}l\ln r_2$ (2.2).

И формула для ЭДС в одном проводнике выглядит как $U_1 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{dI}{dt}l\ln r_1$ (2.3).

Так как такой размерности, как логарифмический метр не существует (под логарифмом должна быть безразмерная величина) и, кроме того, согласно формуле (3) ЭДС возрастает при увеличнии расстояния r, то формула для ЭДС в элементе проводника (3) физического смысла не имеет, и закон Фарадея годится только для замкнутого контура, что хорошо известно.

В то же время, в отличии от фарадеевой ЭДС, можно определить лоренцеву ЭДС ($U = BVl$), наведенную в незамкнутом элементе проводника, что дополнительно говорит о разных физических механизмах этих индукций.

Кстати, такое же ограничение (годится только для замкнутого контура) действует и для формулы с векторным потенциалом, хотя вид формулы $\vec{E} = -\frac{d\vec{A}}{dt}$ (где E – напряженность электрического поля) **будто бы дает надежду на нахождение ЭДС в разомкнутом элементе проводника**. Кроме того, векторный потенциал претендует на некую физическую сущность, ответственную за наведение электрического поля в любой точке пространства и, таким образом, сводящему обе индукции к единому механизму. Последующий раздел данной статьи посвещен рассмотрению такой возможности.

3. Несколько замечаний по поводу векторного потенциала

В этом разделе рассмотрим возможность определения с помощью векторного потенциала ЭДС, наведенной в элементе проводника длиной l, помещенного рядом с длинным токонесущим проводником (рис. 1).

Так как, по определению, $\vec{B} = rot\vec{A}$, то для бесконечного проводника с током, направленного вдоль координаты Y, выражение для векторного потенциала будет иметь вид:

$\vec{B} = \frac{dA_y}{dx}\vec{k}$, тогда $[A] = \int_0^{x_1}B_x dx$. Следовательно, выражение для ЭДС U, наведенной в этом элементе проводника длиной l будет иметь вид:

$$U = \int_l \vec{E}d\vec{l} = -\frac{\mu_0 l}{2\pi}(\ln r - \ln 0)\frac{dI}{dt} = -\frac{\mu_0 l}{2\pi}\frac{\ln r}{\ln 0}\frac{dI}{dt} \quad (3.4).$$

Так как $\ln 0$ не бывает (точнее, $\ln 0 \to -\infty$), то выражение для ЭДС в данном элементе проводника обязано иметь вид $U_l = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \frac{\ln r_0}{\ln r} \frac{dI}{dt}$, где r_0 ($r_0 \neq 0$) - некий проводник длиной l, находящийся на расстоянии r_0 от токонесущего проводника. Таким образом, формула на основе векторного потенциала работает только для замкнутого контура, также, как и формула Фарадея.

Строгий вывод зависимости для определение векторного потенциала в точке, находящейся на расстоянии r от бесконечного проводника с током приведен в работе [4] на стр. 152 -153. Там приведено следующее выражение для **A**:

$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \vec{I} (-\ln r^2)$.

Воспользуемся этим выражением:

$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \vec{I} (-\ln r^2) = -\frac{2\mu_0}{4\pi} \vec{I} \ln r$.

Тогда, если $\vec{E} = -\frac{d\vec{A}}{dt}$, то:

$\vec{E} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{d\vec{I}}{dt} \ln r$, и ЭДС, наведенная в отрезке l будет равна: $U_r = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \frac{dI}{dt} \ln r$.

Формула получается такая же, как формула (2.3), полученная из закона Фарадея. Как и формула (2.3), она не годится для нахождения ЭДС в элементе проводника, а, опять же, работает только для замкнутого контура: $U = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \frac{dI}{dt} \ln \frac{r_0}{r}$.

Таким образом, выражение для ЭДС, полученное из векторного потенциала может работать только для замкнутого контура как и формула Фарадея.

Тогда, спрашивается, чем данный подход, основанный на векторном потенциале, отличается от использования классической первой формулы из уравнений Максвелла $rot\vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$?

Для элемента проводника, направленного вдоль оси Y первая формула Максвелла выглядит следующим образом:

$\frac{dE_y}{dx} = \frac{dB_x}{dt}$.

Так как переменные от x и t – независимые, то:

$[E] = \frac{\int B dx}{dt}$, то есть формула имеет такой же вид, что и выведенная на основе векторного потенциала, и, соответственно, решения получаются такие же.

Кстати, для данного случая выражение $\vec{E} = -\frac{d\vec{A}}{dt}$ **можно преобразовать в классичесскую формулу Фарадея.**

Действительно: $U = \int_l Edl = -\int_l \frac{d\int_{x_1}^{x_2} B_x dx}{dt} dl = -\frac{d\Phi}{dt}$ (3.1),

где $\int_l \int_{x_1}^{x_2} B_x dx dl = \Phi$.

Кстати, в статье [11] приведен достаточно строгий вывод этой формулы (3.1) и показано, что формулы с векторным потенциалом и формула Фарадея – это одно и то же.

В данной статье проанализирован частный случай – наведение ЭДС в элементе проводника, помещенного рядом с токонесущим длинным проводником. Известно, что частный случай не всегда может быть полным подтверждением некой теории, но если частный случай однозначно противоречит данной теории, то эта теория является неправильной. Автор данной статьи считает векторный потенциал математической фикцией, не имеющей физической сущности, а только формально упрощающий запись.

Таким образом, можно утверждать, что "векторный потенциал" не позволяет найти выражение для ЭДС, наведенной в незамкнутом элементе проводника и не добавляет ничего нового к формуле Фарадея, кроме "красивой записи". Кроме того, как величина интегральная при известной производной, этот "векторный потенциал" определен неоднозначно [4], что дает дополнительный простор теоретикам. В частности, как отмечено в [5]: "*Связь потенциалов и полей не является взаимно однозначной, поэтому векторный потенциал следует рассматривать* ***как вспомогательную величину, не допускающую прямых измерений*** *(выделено И. Г,), но облегчающую расчет электромагнитных полей*".

Тем не менее, в ряде работ авторы используют векторный потенциал для доказательмтва своих теорий, пытаясь "выжать" из него нечто фундаментальное. Чего тут только нет! И "вторая составляющая векторного потенциала" плюс "поле векторного потенциала" без магнитного поля [7, 8], и особая важность этого потенциала, определяющую вихревую структуру магнитного поля [6], и "электрический векторный потенциал" с соответствующими полями [9] и, даже, "Генератор аксионного поля с использованием векторного потенциала спиральной структуры". [10].

Также, в работе [7] ее автор (Г. В. Николаев) предполагает, что «векторный потенциал» $\vec{A}$ имеет вторую составляющую, описывающую осевое (направленное вдоль вектора скорости заряда) силовое взаимодействие движущегося заряда с магнитным полем. В своей работе, автор ссылается на эксперименты японских ученых, будто бы зарегистрировавших осевую силу, воздействующую на заряд при его движении в магнитном поле соленоида (вдоль оси соленоида). Автор работы [7], также, утверждает, что ему удалось экспериментально зарегистрировать осевое движение проводника с током, помещенного на оси кольцевого (цилиндрического) постоянного магнита. Попытка повторения этого эксперимента, предпринятая автором данной статьи не увенчалась успехом. Проводник с током, помещенный на оси мощного кольцевого магнита (65x20x10 мм кольцевой NdFeB магнит с Br = 1.2 Тл) не испытывал никакого видимого осевого движения, а только, при малейшем

отклонении от оси, пытался закрутиться вокруг “внутреннего эквивалентного контура”. Проводник, подвешенный параллельно торцевой поверхности магнита, “выстреливался” с поверхности магнита строго перпендикулярно его оси. Таким образом, основываясь на огромном экспериментальном материале, накопленном исследователями силового магнитного взаимодействия за 170 лет, а, также, на результатах экспериментов, проведенных автором данной статьи [3], можно с достаточным основанием утверждать, что никакой “осевой силы”, существенно влияющей на силовые магнитные взаимодействия, не существует.
Кстати, во многих своих работах Г. В. Николаев не учитывал внешние контура, соединяющие проводники с источниками питания и измерительными приборами. В результате чего многие его предположения и выводы являются неправильными.

Ссылки на “эффект Ааронова-Бома”, также приведенные в других работах , например в [6] и [12]. В статье [6] автор этой работы (Г. В. Николаев), ссылаясь на “эффект Ааронова-Бома”, пытается определить “поле векторного потенциала” и представить это поле как “третью компоненту”, ответственную за перекачку энергии в электромагнитной волне, совершенно несерьезны, так как этот эффект абсолютно ничтожен, является величиной высшего порядка малости по сравнению с классическими электромагнитными взаимодействиями и проявляется в набеге фазы электронов, пролетевших рядом с соленоидом, у которого, почему-то, считается, что внешнее поле вектора В отсутствует, а присутствует только “поле вектора А”. По причине совершеннейшей ничтожности данного эффекта (если он, конечно, есть), можно с достаточным основанием предположить, что он обусловлен чем-то другим, а не “полем вектора А”. И, тем более, этот эффект не имеет никакого отношения к сохранению энергии в электромагнитной волне. И, вообще, почему бы авторам подобных работ не провести, хотя бы, оценочный рассчет силы, приложенной к электрону в этом эксперименте? Заряд и масса электрона известны, в работе (по измерению “эффекта Ааронова-Бома”) должны быть указаны параметры соленоида и ток, а выражение для вычисления “поля вектора А” получено, в частности, в [4]. Да, кстати, утверждение об отсутствии (в эксперименте) магнитного поля вокруг соленоида очень спорно, хотя бы в связи с крайней малостью данного эффекта и очевидной неидеальностью соленоида.

Надо отметить, что появление очень незначительной силы (похожей на “силу”, проявляющуюся в “эффекте Ааронова-Бома”), которая в некоторых случаях может быть направлена вдоль вектора скорости заряда, может быть обусловлено наличием собственного магнитного момента у электрона.
Согласно существующим представлениям, электрон может быть представлен как некая вращающаяся капля (сфера) с равномерно распределенным зарядом. Это вызывает появление у электрона кругового тока i и магнитного момента p_m. Таким образом, электрон может быть представлен как сферический постоянный магнит с “эквивалентным контуром”, проходящим по экватору или как кольцевую рамку с током i_1. Предположим, что такой магнит (электрон) поместили соосно с соленоидом или кольцевой рамкой с током i_2, при этом вектор магнитного момента электрона направлен по оси соленоида (см. схему на рис. 2).

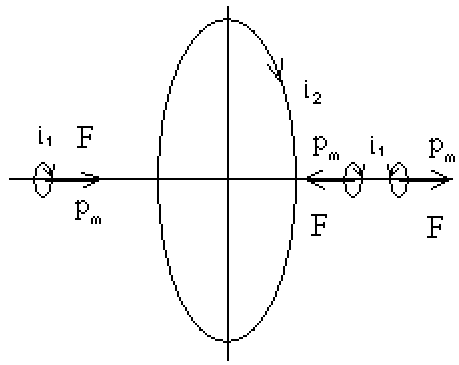

Рис. 2

В таком случае, если электрон не располагается в плоскости рамки, то к нему, согласно закону Ампера, будет приложена сила F (которая, например, может быть приблизительно рассчитана по формуле, приведенной в [1] на стр. 403), направленная вдоль оси рамки, втягивающая электрон в рамку или выталкивающая его (в плоскости рамки осевая сила F равна нулю), при этом направление действия силы зависит от направления тока в рамке и вектора магнитного момента электрона (рис. 2). Причем, эта сила будет действовать как на движущийся, так и на неподвижный электрон (или любую элементарную частицу, имеющую магнитный момент, например, протон и нейтрон). Эффект будет таким же, если рамку заменить на кольцевой (цилиндрический) постоянный магнит. Простейший расчет показывает, что этот эффект на несколько порядков меньше классической лоренцевой силы (прмерно, на 6 порядков - при скорости электрона в 1 см/сек), и он, кроме того, зависит от ориентации спина электрона.

Возвращаясь к векторному потенциалу. Было бы, все-таки, интересно попытаться найти некое подобие физического смысла в манипуляциях с $\vec{B}$ и $\vec{A}$. Известно, что $rot\vec{H} = \vec{j}$, то есть $rot\vec{B}$ совпадает по направлению и пропорционален по модулю вектору тока $\vec{i}$. Вообще-то, в этом есть определенный смысл, так как в механике $rot\vec{V} = 2\vec{\omega}$ для материальной точки [4], то есть вектор $\vec{B}$, как бы вращается вокруг тока $\vec{i}$. Далее, $\vec{B} = rot\vec{A}$, это значит, что теперь вокруг вектора $\vec{B}$ вращается некий вектор $\vec{A}$. Далее, оказывается, что вектор $\vec{A}$ совподает по направлению с током $\vec{i}$, а по модулю пропорционален ему ($\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi}\vec{i}(-\ln r^2)$), то есть выходит, что ток $\vec{i}$ вращается вокруг вектора $\vec{B}$ [3], что отмечено, также, в статье [12]. Очевидно, что если ток $\vec{i}$ течет в соленоиде (или это “эквивалентный ток” дискового магнита), то А также пропорционален и скорости зарядов в проводнике [12].

Получается, что круг замкнулся. Так что же, все-таки, вокруг чего вращается – “Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли”. Можно далее предположить, что есть, также, вектор $\vec{X}$, который вращается вокруг вектора $\vec{A}$ ($\vec{A} = rot\vec{X}$) и так - до бесконечности.

Кстати, во многих таких работах парадоксы современного электромагнетизма представлены и проанализированы правильно, но выводы .... И все эти работы “подкреплены” солидными и пространными математическими выкладками. После их прочтения очевидно, что многие из них достойны публикации в “Сборнике трудов инстиута им. Кащенко”, секция “Физика”, раздел “Электромагнетизм”, а некоторые из них достойны быть представлены на соискание “Кащенковской премии”.

Кстати, на предмет “Кащенковской премии”. Могу предложить следующий подход к “мировым проблемам” вполне ее достойный. Известно, что ускорение это $a = \frac{dV}{dt}$. В то же время $V = \frac{dl}{dt}$. А если предположить, что есть некая величина ξ, производная по времени от которой является длиной l: $l = \frac{d\xi}{dt}$. А длина l, соответственно, является интегральной величиной ξ. Чем этот “подход” хуже векторного потенциала? Это же связь пространства и времени! ОТО тут “лопнет от зависти”. Перспектива-то какая! Это к вопросу о введении ложных (лишних) сущностей.

Заключение

Так или иначе, но формулы для ЭДС в движущемся относительно поля проводнике (лоренцева индукция, формула (1)) и для ЭДС в проводнике контура в меняющемся поле (фарадеева индукция, формула (2)) не совпадают. Кроме того, формула для лоренцевой ЭДС позволяет найти ЭДС в незамкнутом элементе проводника в случае движения проводника в магнитном поле. В то же время, фаредеева формула, формулы с векторным потенциалом и первая формула в уравнении Максвелла не позволяют это сделать. Соответственно, тождество лоренцева и фарадеева механизмов наведения ЭДС не получается. Выходит, что эти два механизма разные.

Это, по видимому, является следствием того, что возрастание величины индукции не означает движения поля (и “тонкой составляющей эфира” [2]), а является только изменением профиля поля. И формальное движение линий индукции не является физическим движением поля.

Это вывод является принципиально важным, так как (в отличии от фарадеева) лоренцев механизм разделения движущихся зарядов ответственнен не только за наведение ЭДС, но и за возникновение лоренцевой силы (она же сила Ампера). Таким образом, фарадеев механизм создает только ЭДС, а лоренцев - и ЭДС и силу, которая используется во всех электромоторах и которая создает электродинамическое сопротивление в генераторах. Таким образом, возникает теоретическая возможность создать электрогенератор, в котором ЭДС создается только фарадеевой индукцией и в котором отсутствует электродинамическое сопротивление [3].

Список литературы

1. Б. Яворский, А Детлаф, “Справочник по физике”, Москва, Наука, 1964

2. Г. Ивченков, «Магнитное поле – статическое образование, не принадлежащее носителю поля, или парадокс униполярных машин», http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11565.html
3. Геннадий Ивченков, "Специфика силового и индукционного взаимодействия постоянных магнитов с проводниками, токами и зарядами. Эквивалентные схемы постоянных магнитов. Униполярные и тангенциальные электромашины. Законы электромагнетизма. Физическая природа магнитного поля", http://new-idea.kulichki.net/?mode=physics
4. Андре Анго, «Математика для электро-и радиоинженеров», Наука, 1965.
5. «Векторный потенциал», http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1175627.
6. З. И. Докторович, «Несостоятельность теории электоромагнетизма и выход из сложившегося тупика», Москва, 1994.
7. Г. В Николаев, «Тайны электромагнетизма и свободная эненргия», http://mwaso.narod.ru/.
8. Г. В. Николаев, «Современная электродинамика и причины ее пародоксальности», http://macmep.h12.ru/nikolaev/027.htm.
9. В. В. Сидоренков, «Электромагнитные векторные потенциалы проводника при стационарной электропроводности», http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8367.html.
10. А. А. Шпильман, «Генератор аксионного поля с использованием векторного потенциала спиральной структуры», http://ftp.bspu.unibel.by/pub/Entertain/texts/torsion/MISC/UFL/Almanach/N2_96/Na_2.htm.
11. L. Kholmetskii, "Mathematical Derivation of the Faraday Induction Law and Explanation of its Lorentz Non-Invariance", Department of Physics, Belarusian State University
12. Эткин В. "Векторный магнитный потенциал как скорость вращения заряда." http://www.etkin.iri-as.org/napravlen/09elektr/vector.pdf

Примечание: Переход на личную стр. автора: http://www.etkin.iri-as.org/napravlen/11colleg/ivchenkov.html

Переход на главную стр. сайта ИИИ: http://www.iri-as.org .