

Пискунов В.И.

## О ФИЗИЧЕСКОМ СОДЕРЖАНИИ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА. Часть 1

*Национальный технический университет Украины «КПИ»,  
проспект Победы 37, Киев, 03056, Украина*

На основе анализа закона электромагнитной индукции (ЭМИ), предложенной Фарадеем в словесной формулировке, и его математической модели, представленной уравнением Максвелла  $\operatorname{rot}\mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t$ , показано:

1. Закон ЭМИ, представленный указанным уравнением не учитывает установленный Фарадеем факт, что явления ЭМИ обусловлены исключительно относительным движением заряженных частиц и магнитного поля;
2. Преобразование полей электрического в магнитное и наоборот магнитного в электрическое при смене систем отсчета не происходит;
3. Уравнение  $\operatorname{rot}\mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t$  некорректно;
4. На роль универсального закона ЭМИ наилучшим образом подходит магнитная составляющая силы Лоренца, если в выражении для силы Лоренца  $\mathbf{F} = q\mathbf{v}\times\mathbf{B}$  символ скорости  $\mathbf{v}$  будет обозначать относительную скорость заряженной частицы и магнитного поля.

*Ключевые слова:* уравнения Максвелла, электромагнитная индукция (ЭМИ), правило потока, преобразование полей Лоренца, сила Лоренца, кулоновское поле, вихревое поле.

### Введение

Известно, что уравнения Максвелла после их создания определенное время научной общественностью серьезно не воспринимались [1, 5]. В настоящее время безальтернативно они признаются в качестве фундамента не только электродинамики, но и общей физики [1, 5]. Известно также, что, придавая математическую форму закономерностям, полученным Фарадеем экспериментальным путем, свои уравнения Максвелл получил, придерживаясь определенной *механической* модели [1, 6]. Механическая модель, фактически выполняла всего лишь роль «лесов», на которых строилась теория электромагнитного поля, и от нее отказались по завершению постройки теории.

После открытия электромагнитных волн, т.е. подтверждения теории Максвелла, прошло уже более сотни лет, но, из-за отсутствия электрической модели, в отношении физической сути уравнений Максвелла, до сих пор нет полной ясности. В настоящее время многие специалисты, использующие уравнения Максвелла считают, что уравнения Максвелла надежно апробированы практикой, и потому дискуссия о физической сути этих уравнений не нужна. Тем не менее, известно [13], что в некоторых случаях расчеты, проведенные на основе уравнений Максвелла дают необъяснимо большие погрешности. Понятно, что при решении конкретных задач ошибки выявляются практически сразу же, а вот при применении уравнений Максвелла для углубления знаний о физической природе явлений, например, при построении теорий в смежных областях физики, ошибки могут не выявляться длительное время.

Описанная ситуация объясняет тот факт, что уравнения Максвелла все ещё подвергают критике [3, 4, 8, 10, 12-14] и предлагают варианты уточнения последних. Очевидно, что наглядное понимание физической сущности уравнений Максвелла, способствовало бы корректному их применению, особенно для целей дальнейшего познания природы.

Цель настоящей работы — обратить внимание специалистов на проблемы, возникающие у пользователей уравнений Максвелла, в процессе применения уравнений не только для решения практических задач, но и для целей познания природы.

### Общие положения (правила), соблюдаемые при выполнении анализа

1. Смысл проделанного анализа физического содержания уравнения автор видит в оцен-

ке степени адекватности математической модели, представленной уравнением Максвелла, тем физическим процессам, которые это уравнение должно отражать согласно установившемуся на сегодня мнению большинства ученых.

2. Корректность любого физического закона, описываемого соответствующей математической моделью, в подавляющем большинстве случаев оценивается путем экспериментальной проверки не самого закона, а следствий из этого закона. Если же следствия экспериментами не подтверждаются, то имеем дело либо с ложным законом, либо с неадекватной математической моделью. При выполнении заключения по проведенной проверке следствий автором предлагается придерживаться суждения, однажды высказанного Эйнштейном: «даже если огромное количество опытов подтверждают теорию, достаточно всего лишь одного, чтобы теория была опровергнута»

3. Поскольку уравнения Максвелла описывают поведение физических полей, то во всех проявлениях этих полей обязательно, должен выполняться принцип близкодействия.

4. Поскольку в работе для сравнения выполнен анализ закона электромагнитной индукции (ЭМИ), предложенного Фарадеем, то автор использует фарадеевскую терминологию. Конкретно, речь идет о магнитных силовых линиях.

5. Для последующего анализа и для лучшего понимания идей Фарадея исключительно важно отметить тот факт, что магнитные силовые линии представляют рациональный способ описания геометрии векторов напряженности магнитного поля. Линии, т.е. магнитное поле, перемещаются в пространстве вместе с магнитом. Автор придерживается точки зрения Фарадея и считает, что магнитные линии сил представляют собой материальные образования, занимающие определенную область пространства, способные перемещаться вместе со своим источником (магнитом) и в физических точках, где происходит пересечение силовой линии с зарядом, пондеромоторно взаимодействовать с заряженными частицами. (Вместо терминологии Фарадея можно пользоваться понятием кванта магнитного потока или же флюксоида [2]).

6. Далее по тексту, для удобства изложения, силовое взаимодействие магнитного поля с зарядом автор будет называть магнитным взаимодействием, а силу, действующую на заряд со стороны магнитного поля — магнитной силой (не путать с магнитной составляющей силы Лоренца)

### **Анализ зависимостей, сопутствующих уравнению Максвелла**

$$\operatorname{rot}\mathbf{E} = -\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t} \quad (1)$$

Уравнение (1) Максвелла в честь первооткрывателя явлений ЭМИ называют законом ЭМИ Фарадея. Так как уравнение (1) имеет непосредственное отношение к явлениям ЭМИ, для полноты его анализа автором рассмотрены зависимости, которые способствуют прояснению физической сущности именно уравнения (1).

Явление ЭМИ было открыто Фарадеем в 1831 году. В ходе поисков способа получения электричества из магнетизма, работая с прибором, (который по сути представлял собой электрический трансформатор), отключая первичную обмотку трансформатора от источника питания, Фарадей обнаружил, отклонение стрелки гальванометра, подключенного ко вторичной обмотке. Цель Фарадея — получить из магнетизма электричество, была достигнута: первичная обмотка с током создавала магнитное поле; ток, протекающий через гальванометр фиксировал появление электричества [17].

### **Заключения Фарадея**

На основе большого количества экспериментов по изучению вновь открытого явления [5, 9, 17], Фарадей установил:

- 1) явления ЭМИ имеют место при относительном движении катушки и постоянного магнита
- 2) причина появления тока во вторичной обмотке есть действие, связанное с пересечением проводящим контуром (витками катушки) магнитных линий сил.

- 3) величина силы тока в контуре пропорциональна числу магнитных линий сил, одновременно пересекаемых контуром

При этом, Фарадей [17] §238, [5] стр.267, а также и Максвелл [5] полагали, что магнитное поле, создаваемое переменным током, возникает в проводнике с током, развиваясь при росте тока, перемещается в пространство, удаляясь от проводника, а при уменьшении тока — возвращается в проводник. Таким способом Фарадей объяснял наличие факта пересечения магнитных линий сил контуром (а, значит и самого явление ЭМИ) для тех случаев, когда контур и магнит неподвижны друг относительно друга. Максвелл со своей стороны видел в этом причину изменения магнитного потока. Объяснение вполне логично, но если бы ставилась задача вычислить величину ЭДС во вторичной обмотке трансформатора, то, выполнить это, применяя подход Фарадея, невозможно из за того, что пока затруднено определение количества магнитных линий сил, формируемых первичной обмоткой, и скорости их движения. Это обстоятельство является существенной преградой на пути применения Фарадеевого закона ЭМИ для случаев переменных магнитных полей и неизменяющихся контуров.

### «Правило потока»

Обрабатывая результаты экспериментов Фарадея, Максвелл предложил еще и такую формулировку закона ЭМИ, описываемую следующим математическим выражением:

$$U = - \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (5)$$

Выражение (5) представляет собой интегральную форму записи закона ЭМИ, названную «правилом потока». Озвучивается это «правило» так: электродвижущая сила (ЭДС)  $U$ , наводимая в токопроводящем контуре, всегда равна, взятой с обратным знаком, скорости изменения магнитного потока  $\Phi$ , охватываемого этим контуром.

«Правило потока» избавило от необходимости определять количество магнитных силовых линий, пересекающих контур одновременно, в случае рассмотрения явления ЭМИ для трансформаторов.

### Качественная оценка «правила потока»

Суть «правила потока» и непредвзятую ему оценку изложил Фейнман в [19]: «Мы не знаем в физике ни одного такого примера, когда бы простой и точный общий закон требовал для своего настоящего понимания анализа в терминах двух разных явлений. Обычно столь красивое обобщение оказывается исходящим из единого глубокого основополагающего принципа. Но в этом случае какого-либо особо глубокого принципа не видно. Мы должны воспринимать «правило» как совместный эффект *двух совершенно различных явлений*. На «правило потока» мы должны посмотреть следующим образом. Вообще говоря, сила на единичный заряд равна  $\mathbf{F}/q = \mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ . В движущихся проводниках сила возникает за счет  $\mathbf{v}$ . Кроме того, возникает поле  $\mathbf{E}$ , если где — либо меняется магнитное поле. *Эти эффекты независимы*, но э.д.с. вокруг проволочной петли всегда равна скорости изменения магнитного потока сквозь петлю.» (выделено автором данной статьи).

Тот факт, что для ясного понимания «правила потока» требуются два различных физических явления, нельзя отнести к числу достоинств «правила потока». По этому поводу автор работы [4], заметил, что индукция является двуликой.

«Правило потока» практически безукоризненно выполняется там, где имеем дело с неизменяемым контуром, и магнитным полем, создаваемым переменными токами. Но это правило в ряде случаев не выполняется. Эти случаи описаны например, в [4, 19] как парадоксы.

### «Правило потока» в свете принципа равноправия инерциальных систем отсчета

Рассмотрим магнит и контур, движущиеся друг относительно друга с постоянной скоростью. Если выбирать ИСО, связанную с магнитом, то, согласно приведенной выше цитате из [19], появление ЭДС в контуре объясняется действием силы Лоренца, а если связать ИСО с контуром, то — возникновением вихревого электрического поля, описываемого уравнением

Максвелла (1). Выходит, что природа «знает» о нашем выборе и, соответственно этому, «включает» в действие один из двух указанных, принципиально отличающихся, механизмов! Наличие таких способностей у природы не вяжутся со здравым смыслом.

### **О пассивной роли потока**

Необходимо обратить внимание на явления ЭМИ в контурах, изменяющих свою геометрию при неизменяющемся магнитном поле. В этих случаях, магнитный поток, который охватывается контуром, изменяется «не по собственной инициативе». Действие выполняет контур, поскольку его элементы совершают движение. Изменение потока является коррелированным (коэффициент корреляции  $k = 1$ ) с площадью контура и не более. Фактически эти случаи подсказывают нам, что поток, возможно, не является причиной воздействия на заряды контура.

### **О принципе близкодействия**

По мнению автора, «Правило потока» изначально предполагает нарушение принципа близкодействия. Это связано с тем, что в определении величины магнитного потока, а, следовательно, и в скорости его изменения (если ..., то  $\partial\Phi / \partial t = \omega\Phi \cos(\omega t)$ ) участвуют все элементы магнитного поля, распределенные по всей площади контура, а значит разноудаленные от «тела» контура. По мнению Фарадея (пункт №2 выводов Фарадея) акт магнитного взаимодействия совершается в «теле» контура, т.е. теми магнитными линиями сил, или элементами магнитного поля, которые находятся в контуре и соприкасаются с зарядами контура, и потому принцип близкодействия выполняется однозначно.

Наиболее отчетливо проявляется нарушение принципа близкодействия в тороидальных трансформаторах.

Известно, что в тороидальных трансформаторах магнитное поле полностью сосредоточено внутри витков первичной обмотки. Витки же вторичной обмотки все время находятся вне магнитного поля. Конечно, магнитный поток так же находится и внутри контура, образованного витками вторичной обмотки (но не соприкасается с ними!). Эта ситуация дает сторонникам Максвелла формально полагать, что «правило потока» эффективно и в применении к объяснению работы тороидальных трансформаторов. Но автор считает, что это тот случай, который предоставила природа, чтобы причину возбуждения ЭДС во вторичной обмотке искали в чем — то другом.

Итак, учитывая сказанное и следуя пункту (2) общих положений можно сделать заключение: *математическая модель, представленная «правилом потока» неадекватно отражает закон ЭМИ.*

### **О магнитной составляющей силы Лоренца**

Выражение  $\mathbf{F} / q = \mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}$  в ранее приведенной цитате из [19] описывает силу Лоренца, действующую на единичный заряд. Это значит, что сила Лоренца является одним из фигурантов закона, описывающего явления ЭМИ и, потому является объектом нашего внимания. Выражение для силы Лоренца имеет вид:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (6)$$

Выражение (6) предложено Лоренцем для вычисления силы, действующей на заряд, расположенный в какой либо инерциальной системе отсчета (ИСО), в пространстве которой имеются как электрическое, так и магнитное поля. Чтобы выражение (6) в качестве рецепта для вычисления силы было пригодным в любой ИСО, Лоренц предложил своеобразную идентификацию полям, имеющим место в конкретной ИСО. Если до Лоренца суть поля и его название определялось всецело по названию источника поля, то у Лоренца название полям и их принадлежность к виду определяется по способу взаимодействия последнего с заряженной частицей [18]. Так, если в какой — либо ИСО имеются одновременно электрическое и магнитное поля, то первую часть полной силы, действующей на заряд, относят к электрическому полю, и именно ту, которая имела бы место, если бы указанный заряд в данной ИСО был бы неподвижен. По величине этой силы судят о напряженности электрического поля. Но поскольку пробный заряд

движется, то на него, кроме действия электрического поля, определенного указанным способом, действует еще и сила, которую относят к действию магнитного поля. Ясно, что по величине второй части полной силы судят о магнитной индукции  $\mathbf{B}$  магнитного поля. Таким образом, в формулах преобразования полей и в выражении для силы Лоренца символами  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{B}$  обозначены композитные (смешанные) поля.

Для ясности рассмотрим на конкретном примере суть предложения Лоренца.

Для этого предположим, что в выбранной ИСО имеются, как неподвижные заряды, создающие электрическое поле  $\mathbf{E}_1$ , так и магнит,двигающийся в данной ИСО со скоростью  $\mathbf{v}_1$ , создающий магнитное поле  $\mathbf{B}_1$ . Ставится задача определить силу, действующую на **неподвижный** пробный заряд  $q$ . По общепринятым в настоящее время представлениям она будет равна:

$$\mathbf{F}_1 = q\mathbf{E}_1 - q\mathbf{v}_1 \times \mathbf{B}_1. \quad (7)$$

Поскольку сила действует на неподвижный заряд, то согласно Лоренцу эта сила обусловлена полностью электрическим полем  $\mathbf{E}$ :

$$\mathbf{F}_1 = q\mathbf{E}. \quad (8)$$

Следовательно, у Лоренца

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2. \quad (9)$$

Сравнивая (8) и (7), можно увидеть, что в (6) *магнитное действие на пробный заряд*  $\mathbf{F}_m = -q\mathbf{v}_1 \times \mathbf{B}_1$  *заменено* в (9) *равновеликим действием электрического поля*  $\mathbf{E}_2$ . Появление в (9) поля  $\mathbf{E}_2$ , Лоренцем объясняется преобразованием магнитного поля  $\mathbf{B}_1$  в электрическое поле  $\mathbf{E}_2$ . (Такой прием не противоречит математике, поскольку, на первый взгляд, не нарушает общий баланс, но этот прием вуалирует истинные причины силового воздействия на заряд со стороны магнитного поля). Аналогичную ситуацию с объединением силового действия двух разных полей можно видеть в (6) и для магнитного поля. Естественно, Лоренцом получены формулы для вычисления значений  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{B}$ , композитных (смешанных) полей, которые следует подставлять в (6) [20].

Но могут ли поля все таки *реально* превращаются друг в друга? Ведь уравнение Максвелла (1) предполагает такую возможность.

### **О преобразовании полей**

Для ответа обратимся к следующему эксперименту.

Представим, что в лабораторной системе отсчета имеется электрически заряженный полый цилиндр. Пусть этот цилиндр вокруг своей оси совершает вращательное движение. Поскольку вращающийся заряженный цилиндр является полным аналогом цилиндрической катушки с током, то в лабораторной ИСО будет наблюдаться магнитное поле, такое же, как и у соленоида, Это поле имеет замкнутые магнитные силовые линии, окружающие стенки цилиндра.

Согласно формулам преобразования полей в лабораторной ИСО электрическое поле цилиндра должно преобразоваться в магнитное поле. Поскольку основная часть электрического поля имеет место снаружи заряженного цилиндра, и незначительное поле внутри цилиндра (имеющее место из за конечной длины цилиндра), то, согласно идее преобразования полей, основная часть магнитного поля также будет иметь место снаружи цилиндра. Реально у соленоида напряженность магнитного поля внутри соленоида больше, чем снаружи.

Описанный эксперимент явно намекает, что с идеей преобразования полей что-то неладно. Поэтому обратимся к более серьезной проверке этой идеи.

Как известно, [7] Лоренцевы преобразования для координат и времени образуют группу. Очевидно, что преобразования Лоренца для полей также должны обладать свойствами группы. Для выяснения этого проверяют одно из свойств группы, а именно свойство транзитивности. Конкретно, используя формулы преобразования полей, определяют набор полей и вычисляют силу Лоренца при переходе из ИСО, обозначенной символом  $\mathbf{S}'$ , в ИСО обозначенную символом  $\mathbf{S}$ , предварительно поместив в  $\mathbf{S}'$  источники полей, а, в  $\mathbf{S}$  – пробный заряд. Вводят промежуточную ИСО, обозначенную символом  $\mathbf{S}''$ , которая не имеет собственных

источников полей. Снова вычисляют набор полей и силу Лоренца, но теперь делая переход из  $S'$  в  $S$  через промежуточную ИСО  $S''$ , что соответствует двум переходам — первый переход это переход из  $S'$  в  $S''$ , второй- из  $S''$  в  $S$ .

Если формулы Лоренца для преобразования полей образуют группу, то идея преобразования полей возможно и адекватно учитывает физические процессы. Конкретно это означает, что вычисленные значения силы Лоренца, для варианта прямого перехода, так и для варианта перехода через промежуточную ИСО  $S''$  непременно должны быть одинаковыми. по величине в обоих вариантах расчета..

Автором для предложенной проверки проведен следующий расчет. В качестве неподвижной ИСО взята ИСО  $S$ . Оси координат всех ИСО параллельны, а оси координаты  $O X$  совпадают. ИСО  $S'$  движется вдоль оси  $O X$  со скоростью  $v$ , а промежуточная ИСО  $S''$  со скоростью  $0,5v$ . Пробный заряд  $q$  движется в ИСО  $S$  параллельно оси  $O X$  со скоростью  $v_q = 0,1v$ .

Формулы преобразования полей при переходе из движущейся ИСО в неподвижную, имеют вид [18]:

$$\begin{aligned} E_x &= E'_x; & B_x &= B'_x; \\ E_y &= \gamma(E'_y + vB'_z); & B_y &= \gamma(B'_y - \frac{v}{c^2}E'_z); \\ E_z &= \gamma(E'_z - vB'_y). & B_z &= \gamma(B'_z + \frac{v}{c^2}E'_y). \end{aligned}$$

где  $c$  – скорость света,  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$ .

Результаты расчета при переходе из  $S'$  в  $S$ :

$$F_x = F_y = 0, \quad F_z = -0,9\gamma qvB,$$

а при переходе из  $S'$  в  $S$  через  $S''$ :

$$F_x = F_y = 0, \quad F_z = \left[ 0,1(1 + 0,25\frac{v^2}{c^2}) - 1 \right] \gamma^2 qvB$$

Как видим, значения силы Лоренца при прямом переходе и при переходе через промежуточную ИСО количественно отличаются.

Итак, формулы Лоренца для преобразования полей не образуют группу. Это означает, что идея преобразования полей физически не реализуема, если в термин « преобразовываться» вкладывать буквальный смысл.

На основании пункта 2 общих положений и выполненного анализа, автор данной работы пришел к общему выводу: *поля как электрические, так и магнитные не преобразуются друг в друга.*

Полученная информация позволяет перейти к анализу уравнения Максвелла (1).

### Анализ уравнения (1)

Уравнение (1)  $\text{rot}\mathbf{E} = -\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}$  принято называть *законом электромагнитной индукции (ЭМИ) Фарадея*, который записан в дифференциальной форме Максвеллом в качестве одного из его системы уравнений [19].

Физический смысл уравнения (1) в настоящее время озвучивается так: «...всякое изменение магнитного поля ( $\partial\mathbf{B} / \partial t \neq 0$ ) неизбежно вызывает поле *электрическое*» [11] (выделено нами). Должны обратить внимание, это электрическое поле является вихревым.

### Причины ЭМИ по Фарадею и по Максвеллу

Уравнение (1) принципиально иначе, чем у Фарадея, объясняет причину ЭМИ. Согласно Фарадею ЭМИ, т.е. действия на заряды проводника, обусловлены магнитным действием, а

согласно Максвеллу — электрическим. Если «правило потока» как-то еще корреспондируется с Фарадеевскими представлениями о причинах ЭМИ, то первое уравнение Максвелла выдвигает новую причину явлений ЭМИ. Высказывания Фейнмана по поводу «правила потока» (см. ранее приведенную цитату из [19]) достаточно прозрачно намекают, что научный мир пока не обладает достоверным знанием об истинной причине явлений ЭМИ. ЭМИ пока еще «двулика» [4]. Разумеется, «двуликость» ЭМИ никого не устраивает [19].

### Анализ опытов Фарадея

Выявить истинную причину ЭМИ в опытах с трансформатором весьма трудная задача. Поэтому обратимся далее еще раз к опытам с постоянными магнитом и отрезком провода, т.е. к тем, что были выполнены Фарадеем [17]. Автор оценивает эти опыты с позиции сегодняшних знаний. В настоящее время достоверно известно, что: 1) магнитное действие на заряды достаточно корректно описываются магнитной составляющей силы Лоренца, 2) магнитные силы, подобно силам гравитации, являются силами *не электрической* природы, и их относят к сторонним силам. [4, 15]),

Поскольку обсуждается зависимость (1), то первым рассматривается тот опыт, в котором Фарадей перемещал магнит, а отрезок провода сохранялся неподвижным. Ясно, что в пространстве, занимаемом «телом» отрезка проводника, из за движения магнита магнитная индукция изменяет свою величину во времени. И, если верить (1), в этих местах возникает вихревое электрическое поле, которое нынче и считается причиной появления ЭДС.

Согласно Фейнману (см. цитату из [19]), в явлениях ЭМИ эффекты от действия силы Лоренца и от вихревого электрического поля независимы. На основании равноправия ИСО на объяснение явления ЭМИ в рассматриваемом опыте в *полной мере* претендует и магнитная составляющая силы Лоренца. Это значит, что в рассматриваемом опыте Фарадея, эффект возникновения ЭДС обусловлен **полностью** либо *силой Лоренца*, либо *вихревым электрическим полем*. В этом случае совершенно ясно, что один из фигурантов просто коррелирует с  $U(t)$  и непричастен к ЭМИ. Чтобы установить название лишнего фигуранта, следует обратиться к другому опыту Фарадея. В другом опыте Фарадей оставлял магнит неподвижным, а перемещался отрезок провода. Сохраняя относительное движение между магнитом и отрезком провода таким же, как в первом опыте, Фарадей наблюдал, что поведение гальванометра полностью совпадает с наблюдаемым в первом опыте. Во втором опыте, в лабораторной ИСО магнитное поле во времени не изменяется. В местах пространства, которые проходит отрезок провода,  $\partial B / \partial t = 0$ . Таким способом, из участия в создании ЭДС, во втором опыте Фарадей **исключил вихревое электрическое поле**. Поэтому, ЭДС, наблюдаемая во втором опыте, полностью обусловлена магнитным действием, совпадающим в этом случае с магнитной составляющей силы Лоренца.

Следствия из равноправия ИСО, а так же факт, что ЭДС в опытах с постоянными магнитами и катушками всецело обусловлена их относительным движением, свидетельствует о том, что в первом опыте *отсутствуют условия, запрещающие участие* в создании ЭДС именно магнитной составляющей силы Лоренца. Формальная логика вынуждает нас сделать вывод: из этих двух опытов однозначно вытекает: непричастным к явлениям ЭМИ является *вихревое электрическое поле*. Таким образом, автор считает установленным, что «из двух, совершенно различных явлений», представленных различными математическими моделями, реально действующим является магнитная составляющая силы Лоренца. *Вихревое электрическое поле является воображаемым, которое мысленно надделено способностью воздействовать на заряженную частицу силой, равновеликой той реальной силе, которую испытывает заряженная частица со стороны магнитного поля при наличии относительного движения между заряженной частицей и магнитным полем.*

Если придерживаться представлений Фарадея, а также и Максвелла [5, 17], относительно способа развития магнитного поля, возбуждаемого переменными токами, то логично полагать, что и в этих случаях явления ЭМИ обусловлены магнитным взаимодействием. При этом, изменение во времени индукции магнитного поля свидетельствует о том, что магнитное поле движется через рассматриваемую физическую точку [5, 17]. Именно к такому выводу пришел

Фарадей на основании комплекса проведенных ним исследований.

### **Формальный способ проверки корректности уравнения (1)**

Корректность уравнения (1) можно определить и чисто формальным способом. Для этого следует учесть, что (1) описывает дифференциальную форму закона ЭМИ, и потому удовлетворяет принципу близкодействия, а значит, описывает физический закон. «Правило потока» описывает следствия из этого закона. Наличие многочисленных парадоксов, касающихся «правила» свидетельствует о том, что следствия, вытекающие из (1) не всегда выполняются [4, 19]. Это означает, что уравнение (1) не отображает ту физическую закономерность, которую ей предназначил Максвелл.

Итак, приходится признать, что уравнение Максвелла (1) некорректно. Оно не адекватно тому физическому содержанию, которое в неё вкладывал Максвелл и вкладывают современные.

### **Сила магнитного взаимодействия**

Изложенное в статье показывает, что существуют еще и некоторые неясности с определением математической модели явлений ЭМИ. Действительно, все вышеизложенное здесь вынуждает автора соглашаться только с фарадеевской трактовкой сути ЭМИ, а именно: причиной ЭМИ является только и только магнитное силовое действие на заряды проводников, которое в первом приближении можно представить как действие магнитной составляющей силы Лоренца. Чтобы физическое содержание магнитного действия не вуалировалось преобразованными полями, следует выражение для магнитной составляющей силы Лоренца изменить. В изменении, по мнению автора, следует учесть, что магнитное взаимодействие во всех его проявлениях всегда обусловлено, как показал Фарадей, относительным движением зарядов и магнитного поля. Этому результату можно достигнуть, если в выражении для магнитной составляющей силы Лоренца, под символом  $\mathbf{v}$  подразумевать не скорость заряда в конкретной ИСО, а относительную скорость между зарядом и магнитным полем, точнее – источником этого магнитного поля. В этом случае магнитное действие на заряд со стороны одиночного источника магнитного поля будет описываться выражением

$$\mathbf{F}_m = q(\mathbf{v}_q - \mathbf{v}_m) \times \mathbf{B}, \quad (10)$$

где:  $\mathbf{v}_q$  - скорость заряда в данной ИСО,  $\mathbf{v}_m$  — скорость магнита в данной ИСО,  $\mathbf{B}$  — магнитная индукция, создаваемая магнитом в месте расположения заряда.

Если в ИСО имеется  $n$  источников магнитного поля, т.е. магнитов, то суммарная магнитная сила вычисляется по формуле :

$$\mathbf{F}_m = q \sum_{i=1}^n (\mathbf{v}_q - \mathbf{v}_{mi}) \times \mathbf{B}_i \quad (11)$$

Указанное предложение автора не снимает трудности в определении  $\mathbf{v}_{mi}$  и  $\mathbf{B}_i$  при рассмотрении явлений ЭМИ в трансформаторах. Более того, должны отметить, что во вторичной обмотке трансформаторов наибольшее значение ЭДС имеет место в те моменты, когда индукция магнитного поля равна нулю. Другими словами, если нечему двигаться, то о какой скорости можно говорить. В работах [13, 14] предложен возможный вариант преодоления указанных трудностей.

### **Выводы.**

1. Электрические и магнитные поля не преобразуются друг в друга.
2. Уравнение Максвелла  $\text{rot}\mathbf{E} = -\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}$  некорректно.
3. Явления ЭМИ обусловлены исключительно магнитной силой, которая описывается выражением (11).



**Л и т е р а т у р а :**

1. Дуков В.М. Электродинамика. — М.: Высшая школа, 1975. — 248 с.
2. Буккель В. Сверхпроводимость. — М.: Мир, 1975. — 375 с.
3. Единая теория электромагнитного излучения. — <http://sites.google.com/drjukow/light>.
4. Канн К.Б. К электродинамике здравого смысла. — <http://www.sciteclibrary.ru/texsts/rus/stat/st3611.pdf>.
5. Льюис М. История физики. — М.: Мир, 1970. — 464 с.
6. Максвелл Д.К. Избр. сочинения. Теория электромагнитного поля. — М.: Гостехиздат. 1952. — 463 с.
7. Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности квантовой механике.— М.: Наука, 1972. — 440 с.
8. Митио Каку. Физика невозможного. / Пер. с англ. — М.: Династия АНФ, 2012. — 454 с.
9. Миткевич В.Ф. Физические основы электротехники. — Л.: КУБУЧ, 1933. — С. 55-58.
10. Научно технический форум. — [www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/yabb2/yaBB.p/?num=1310813507/410](http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/yabb2/yaBB.p/?num=1310813507/410).
11. Никольский В.В. Теория электромагнитного поля. — М.: Высшая школа, 1964. — 385 с.
12. Об использовании второй формы выражения закона ЭМИ... — [www.narod.ru/2008/2/140-143.pdf](http://www.narod.ru/2008/2/140-143.pdf).
13. Пискунов В.И. Некоторые парадоксы электродинамики Максвелла // Электроника и связь. — 2005. — №26. — С. 83-88.
14. Пискунов В.И. Электромагнитные свойства физического вакуума (магнитный эфир). — К.: Аверс, 2006. — 145 с.
15. Тамм И.Е. Основы теории электричества. Издание девятое, исправленное. — М.: Наука, 1976. — 616 с.
16. Уравнения Максвелла их физический смысл. — <http://electromechanica.narod.ru/lessons22.htm>.
17. Фарадей М. Исследования по электричеству. Т. 1. — М.: Изд. Академии наук СССР, 1947. — 832 с.
18. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике: Труд в девяти томах. Т. 5. — М.: Мир, 1966. — 343 с
19. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике: Труд в девяти томах. Т. 6. — М.: Мир, 1966. — 343 с
20. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике.— М.: Наука, 1968. — 940 с.

*Статья поступила в редакцию 01.02.2016 г.*

*Piskunov V.I.*

**On the physical content of Maxwell's equations. Part 1**

On the basis of the analysis of the law of electromagnetic induction (EMI), proposed by Faraday in the verbal formulation, and its mathematical model, presented by Maxwell equation  $\text{rot}\mathbf{E} = -\partial\mathbf{B} / \partial t$ , it is shown:

1. The EMI law represented by the equation does not consider the fact, established by Faraday, that the phenomenon of EMI caused exclusively by relative movement of the charged particles and magnetic field;
2. Transformation of the electric fields in magnetic and magnetic contrary to electric does not occur when changing frames of reference;
3. Equation  $\text{rot}\mathbf{E} = -\partial\mathbf{B} / \partial t$  is incorrect;
4. On the role of the universal EMI law is best suited the magnetic component of the Lorentz force, if in the expression for the Lorentz force  $\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$  symbol of velocity  $\mathbf{v}$  will denote the relative velocity of the charged particles and magnetic fields.

*Key words:* Maxwell's equations, electromagnetic induction (EMI), rule of flow, Lorentz fields transformation, Lorentz force, Coulomb field, vortex field.