Теория поля и электродинамика

УДК 530.10

Пискунов В.И.

О ФИЗИЧЕСКОМ СОДЕРЖАНИИ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА. ЧАСТЬ 2.

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

Продолжен анализ уравнений электродинамики Максвелла. Учитывая результаты анализа в первой части статьи, а так же результаты эксперимента, выполненного с целью проверки гипотезы Максвелла о токах смещения в вакууме, и на основании логического анализа автор делает вывод, что: уравнения $\mathrm{rot}\mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t$ и $\mathrm{rot}\mathbf{B}/\mu = \mathbf{j} + \varepsilon\partial\mathbf{E}/\partial t$ некорректны, поскольку общепринятый физический смысл этих уравнений не соответствует реальным физическим закономерностям. Предложено начать устранение обнаруженных заблуждений с возврата к закону электромагнитной индукции (ЭМИ), отвечающему чисто Фарадеевскому представлению, согласно которому явления ЭМИ обусловлены исключительно относительным движением заряженных частиц и магнитного поля. Для этого предложено откорректировать магнитную составляющую силы Лоренца.

Ключевые слова: система уравнений Максвелла, электромагнитная индукция, волновое уравнение, электромагнитные волны, физическое содержание уравнений, токи смещения в вакууме, магнитное поле конденсатора, кулоновское поле, вихревое поле.

Продолжение анализа уравнений Максвелла.

В обеих частях статьи нумерация формул выполнена сквозной.

Основное внимание в этой части статьи уделим уравнению Максвелла

$$\frac{1}{\mu}\mathrm{rot}\mathbf{B} = \mathbf{j} + \varepsilon\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t}. \qquad (2)$$

Очень кратко уравнение (**2**) озвучивается так: уравнение Максвелла (**2**) описывает связь между магнитным полем и его источниками. Раскрывая физическую суть этой связи, утверждают [9].: «…появление тока ($I + I^{см}$) **неизбежно** порождает магнитное поле…». (В цитате: I – ток проводимости, $I^{см}$ – ток смещения, в уравнении (**2**) фигурируют векторы плотности этих токов) Такое толкование физической сути уравнения (**2**) является общепринятым.

Уравнение (**2**) достаточно часто (см. часть №1 статьи) подвергается критике, поскольку некоторые исследователи, не безосновательно, сомневаются в том, что токи смещения в вакууме создают магнитные поля.

Чтобы успешно проанализировать физическое содержание уравнения (2), очевидно следует разобраться какие источники (причины) ответственны за существование электрического поля, напряженность которого в выражении (2) обозначена символом $\mathbf{E}$. Очевидно, здесь нам поможет знание замысла автора создавшего это уравнение.

Краткая история создания Максвеллом уравнения (2), по работе Фейнмана и других авторов [10,13,15,18]

Связь магнитного поля с его источником описывается уравнением Ампера

$$\frac{1}{\mu}\mathrm{rot}\mathbf{B} = \mathbf{j}. \qquad (12)$$

Уравнение (12) математически корректно лишь для случаев, когда плотность тока проводимости $\mathbf{j}$ соответствует токам, которые во времени не изменяют свою величину. Суть математической корректности состоит здесь в том, что дивергенция, взятая от левой части уравнения (12), и от его правой, должны быть равны нулю, ибо дивергенция от ротора всегда равна нулю, т.е. $\mathrm{div}(\mathrm{rot}\mathbf{B}) \equiv 0$

Как известно, исходя из закона сохранения заряда, имеем:

$$\mathrm{div}\mathbf{j} = -\frac{\partial\rho}{\partial t}. \tag{13}$$

Для постоянного тока $\frac{\partial\rho}{\partial t} = 0$ (ρ – плотность зарядов в физической точке, в которой берется дивергенция). Таким образом, согласно (13), для постоянного тока $\mathrm{div}\mathbf{j} = 0$, и потому уравнение Ампера математически корректно. Но, если ток во времени меняется, то, в этом случае $\frac{\partial\rho}{\partial t} \neq 0$ и соответственно

$$\mathrm{div}\mathbf{j} = -\frac{\partial\rho}{\partial t} \neq 0. \tag{14}$$

Это значит в динамике $\mathrm{div}(\frac{1}{\mu}\mathrm{rot}\mathbf{B}) \neq \mathrm{div}\mathbf{j}$, ибо $\mathrm{div}(\frac{1}{\mu}\mathrm{rot}\mathbf{B}) \equiv 0$, а $\mathrm{div}\mathbf{j} \neq 0$.

Следовательно, уравнение Ампера в динамике не пригодно для описания указанной физической закономерности, ибо оно математически некорректно. Предполагается [13, 15 18], что Максвелл именно по этой причине в правую часть уравнения Ампера добавил еще одно слагаемое, а именно:

$$\varepsilon\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t}. \tag{15}$$

Физической величине $\varepsilon\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t}$, было присвоено название вектора плотности тока смещения, подразумевая, что ток смещения может иметь место не только в диэлектрике, но и в вакууме. С этой добавкой уравнение Ампера (12) превратилось в уравнение Максвелла (**2**) и стало, по установившимся представлениям, пригодным для применения не только в статике, но и в динамике. (Далее, проблему с обеспечением *математической* корректности уравнения, связанную с оператором дивергенции, для краткости будем называть проблемой с дивергенцией).

Источники электрического поля, фигурирующего в уравнении (2)

Доказательство корректности описанного действия Максвелла приведено во многих учебниках по физике [10, 13,15,18]. Способы или приемы получения подтверждения корректности действий Максвелла, описанные в разных учебниках, одинаковы и сводятся к подтверждению выполнения равенства:

$$\mathrm{div}\varepsilon\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t} = -\mathrm{div}\mathbf{j}. \tag{16}$$

Отметим, ни в одном из вариантов доказательства не указаны источники поля, обозначенного в (**2**) символом $\mathbf{E}$.

Автор полагает, что единственным источником, который сможет обеспечить выполнение равенства (16), являются *заряды* в рассматриваемой физической точке, *входящие в состав тока проводимости*, создающего рассматриваемое магнитное поле, описываемое уравнением (12).

Для доказательства высказанного будем исходить из предположения, что электрическое поле, фигурирующее в выражении (2) имет общий характер, т.е. содержит вихревую и градиентную (потенциальную) составляющие. Мы знаем, что для вихревого поля $\mathrm{div}\mathbf{E}_{вихр} \equiv 0$. Потенциальное поле образуется зарядами и в общем случае имеет место зависимость:

$$\mathrm{div}(\varepsilon\mathbf{E}) = \rho. \tag{17}$$

Если ρ в (17) и ρ в (14) оба обозначают плотность заряда в рассматриваемой физической точке, то (16) выполняется автоматически.

Итак видим, проблема с дивергенциями решается только тогда, когда поле $\mathbf{E}$, фигурирующее в правой части уравнения Максвелла (**2**) создается зарядами принадлежащими $\mathbf{j}$.

Как известно [1,7], одной из целей Максвелла было стремление показать, что световые волны являются волнами электромагнитными. Поэтому уравнение (**2**) предназначалось, в первую очередь, для описания электромагнитных явлений в вакууме. В вакууме непременно что-то должно создавать магнитное поле. Максвелл предположил (высказал гипотезу), что эту задачу вполне могут выполнять токи смещения в вакууме, представленные в уравнении (**2**), изменяющимся во времени электрическим полем, Но, в части №1 нашей статьи, показано, что поля не преобразуются друг в друга. А. главное, в работе [2] экспериментально показано, что токи смещения воздушного конденсатора магнитных полей не создают. Это означает, что ***градиентные*** *электрические поля магнитных полей не создают.* Отсюда следует предположение, что электрическое поле, представленное в уравнении (2) символом $\mathbf{E}$, является ***вихревым,*** разумеется *, способным возбуждать в вакууме магнитное поле.* Источником такого вихревого электрического поля, согласно уравнению (**1**) может быть только изменяющееся во времени магнитное поле. Итак, электрическое поле , представленное в уравнении (**2**) символом $\mathbf{E}$, должно обладать , как ***градиентными*** свойствами (для решения проблемы с дивергенциями), так *и* ***вихревыми*** (для получения волнового уравнения в вакууме).

Следствие из рассмотренного:

Когда уравнение (**2**) применяют для описания электромагнитных явлений в вакууме, то проблему с дивергенциями считают несуществующей, утверждая, что в вакууме $\mathrm{div}\varepsilon\mathbf{E} = 0$, потому что вакуум состоит не из кулоновских заряженных частиц.

Обоснование, что в вакууме $\mathrm{div}\varepsilon\mathbf{E} = 0$, потому, что там нет кулоновских зарядов, является ошибочным. Действительно, не кулоновские заряды виновны в возбуждении электрического поля в вакууме, и не они отвечают за то, что в вакууме $\mathrm{div}\varepsilon\mathbf{E} = 0$. В вакууме $\mathrm{div}\varepsilon\mathbf{E} = 0$, потому, что электрическое поле предполагается вихревым.

Поляризация вакуума

Вернемся к токам смещения в вакууме. Аналогия с токами смещения (токами поляризации) в диэлектриках делает предположение Максвелла о свойстве токов смещения в вакууме (токов поляризации вакуума) создавать магнитное поле, вполне естественным и убедительным и наглядным (раз есть ток, то он должен сопровождаться магнитным полем).

По поводу того, что может поляризоваться в вакууме, сегодня профессионалами вопрос не ставится. Так автор [13], полагает, «что термин «ток смещения» является чисто условным. По существу ток смещения – это изменяющееся со временем электрическое поле. Основанием для того, чтобы назвать «током» величину $\mathbf{j}_{cm} = \varepsilon \dfrac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ служит лишь то, что размерность этой величины совпадает с размерностью плотности тока. *Из всех физических свойств, присущих действительному току, ток смещения обладает лишь одним – способностью создавать магнитное поле.»* (выделено автором данной статьи).

О двух гипотезах

В разделе об источниках электрического поля, было отмечено, что на роль $\mathbf{E}$ в уравнении (**2**) претендует в первую очередь вихревое электрическое поле, введенное Максвеллом в обиход уравнением (**1**) (конечно же, если мы не будем придумывать новые физические сущности). Это значит, что описание электромагнитных явлений в вакуумной среде базируется не на одной (как это общепринято считать), а на двух гипотезах, одна из которых касается токов смещения в вакууме, вторая – вихревого электрического поля. Обе гипотезы в совокупности друг с другом отражают физические условия необходимые и достаточные для того, чтобы могли существовать электромагнитные волны и в логической цепочке доказательств их истинности служат подтверждением истинности друг друга, поэтому обе **вместе** являются либо истинными, либо ложными

Действительно, на основании уравнений (**1**) и (**2**), т. е. двух гипотез, было предсказано, а затем и экспериментально подтверждено существование электромагнитных волн. Если бы только одна из этих двух гипотез оказалась ложной, то истинное предсказание не состоялось бы. С другой стороны, если гипотезы, которые в обязательном порядке формулируют условия необходимые и достаточные для происхождения того события, которое ими предсказывается, ложны обе одновременно, то предсказание не обязательно будет ложным. Ложные элементы высказывания одной гипотезы могут быть скомпенсированы ложными элементами высказывания другой, и предсказание будет истинным. Для облегчения понимания смысла представленных логических законов напомним: при перемножении двух действительных чисел, результат перемножения будет со знаком «+», если ***оба*** числа положительные, но он также будет положительным, если ***оба*** числа отрицательные.

Воспользуемся этим замечанием.

О некорректности уравнения (2)

Итак, гипотезы Максвелла, представленные уравнениями (**1**) и (**2**) предсказывают существование электромагнитных волн, и, предсказание подтверждается экспериментально. Но, такое, же предсказание могли бы дать при определенных условиях и две ложных гипотезы (см. раздел о двух гипотезах). На основании анализа мы пришли к выводу, что первая гипотеза о вихревом электрическом поле ложна. Коль скоро электромагнитные волны все же существуют, то следует, что и вторая гипотеза ложна, т. е. уравнение (**2**) некорректно. Такой вывод согласуется с представлением, что общим фигурантом в обеих гипотезах является вихревое электрическое поле, которое как мы ранее показали, является воображаемым. (О том, что источником магнитного поля в вакууме является именно вихревое электрическое поле, было показано в разделе «Источники электрического поля…»)

На основании новых экспериментальны данных, следует , что уравнение (**2**) становится и математически некорректным, если его применять для описания электромагнитных явлений в проводящей среде. Действительно, добавление слагаемого $\varepsilon\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ в правую часть уравнения Ампера решает проблему с дивергенциями, но при этом в левую часть уравнения Ампера ничего не добавляет, поскольку, как показал эксперимент [2] , изменяющиеся во времени кулоновские поля магнитных полей не создают.

С приведенным заключением о том, что уравнения (**1**) и (**2**), не корректны, очень нелегко согласиться, ибо всем известно, что благодаря именно этим уравнениям было предсказано и экспериментально подтверждено существование электромагнитных волн. На это можно ответить так: не просто нелегко согласиться, а даже невозможно, если исходить из представления, что только лишь уравнения (**1**) и (**2**) позволяют предсказать существование электромагнитных волн. Другие возможности тоже существуют. Как известно [17], Фарадей предсказал возможность существование электромагнитных волн до появления уравнений (**1**) и (**2**).

Уравнение (3) т.е. $\mathrm{div}\mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$, показывает, что поток вектора напряженности, электрического поля $\mathbf{E}$, отнесенный к единичному объему, численно равен плотности заряда ρ, создающего это электрическое поле, поделенной на диэлектрическую проницаемость среды ε.

Уравнение (**3**) означает, что электрическое поле, возбуждаемое зарядами, является безвихревым (градиентным, кулоновским).

Должны отметить, уравнение (**3**) строго выполняется только в статике. В работе [12] математически показано: из за того, что при движении заряженных частиц, электрическое поле зарядов деформируется, дивергенция кулоновского поля, вычисленная вне местонахождения заряда (т. е. в вакууме), не равна нулю. Этот факт дополнительно компрометирует уравнение (**2**), ибо, как было показано выше, принято считать, что в вакууме вне расположения зарядов $\mathrm{div}\mathbf{E} \equiv 0$

Уравнение (4), т.е. $\mathrm{div}\mathbf{B} = 0$ показывает, что поток вектора магнитной индукции, также отнесенный к единичному объему, всегда равен нулю. Это уравнение показывает, что линии магнитной индукции всегда замкнуты, т.е. магнитное поле является строго вихревым. Это уравнение не содержит фиктивных элементов.

Уравнения Максвелла в составе системы

Очевидно, анализ уравнений Максвелла каждого порознь, следует дополнить анализом этих уравнений в составе системы уравнений.

В учебниках [5, 6, 14] описаны различные варианты самых общих алгоритмов, используемых при решении системы уравнений Максвелла. В основу всех вариантов положен, известный в математике прием, называемый заменой переменных. Естественно, для определения интересующих нас физических величин $\mathbf{E}(p,t)$ и $\mathbf{B}(p,t)$ можно решать систему уравнений Максвелла и без замены переменных. Замена же переменных существенно упрощает получение решения.

Для того, чтобы после решения, можно было возвратиться к исходным переменным, между исходными переменными и новыми обеспечивается *гарантировано однозначная* связь. Новые переменные могут быть чисто математическими, абстрактными. Удачный выбор новых переменных – настоящее искуство. Тем не менее, при решении системы уравнений Максвелла, выбор новых переменных делается не совсем свободный. К новым переменным изначально ставятся такие требования, выполнение которых обязательно должно привести к тому, что в уравнении из новых переменных, каждая переменная принимает вид уравнения Даламбера. Решение уравнения Даламбера известно заранее. Разумеется, не все новые переменные группируются в структуру, аналогичную структуре уравнения Даламбера. Компоненты, или слагаемые, не попавшие в эту структуру, собирают в одну отдельную группу и приравнивают нулю. Такое действие называют калибровкой. В зависимости от состава этой группы, калибровка называется лоренцевской , кулоновской и т.п. Разумеется, требование калибровки ни в коем случае не должно при этом нарушать однозначность связи новых переменных с исходными [5,6].

Ясно, что такая технология выбора новых переменных, базируется на уверенности в том, что решения системы уравнений Максвелла непременно имеют вид бегущих волн ибо уравнения (**1**) и (**2**) гарантируют получение волнового уравнения.

При этом должны обратить внимание, что в ходе представленного здесь анализа мы исходили из того, что в уравнении $\mathrm{div}\mathbf{E} = \dfrac{\rho}{\varepsilon}$ (**3**) символом $\mathbf{E}$ обозначена напряженность, несомненно, чисто кулоновского электрического поля, в уравнении $\mathrm{rot}\mathbf{E} = -\dfrac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ (**1**) – чисто вихревого, наконец, в уравнении $\dfrac{1}{\mu}\mathrm{rot}\mathbf{B} = \mathbf{j} + \varepsilon\dfrac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ (**2**) – предполагается смесь кулоновского и вихревого. Согласно [4], рассматриваемые нами здесь четыре уравнения Максвелла не образуют именно систему уравнений. Эти уравнения **преобразуют в систему уравнений** уже при решении конкретной задачи **математическими приемами**.

В итоге во всех трех уравнениях под вектором $\mathbf{E}$ подразумевают физическую величину:

$$\mathbf{E} = -\mathbf{grad}\varphi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}, \qquad (18),$$

где : φ – скалярный , $\mathbf{A}$ – векторный электродинамические потенциалы. Очевидно, говорить о физическом содержании уравнений (**1**)-(**3**), в которых, электрическое поле определено уравнением (18) , говорить очень сложно, да и нецелесообразно.

О адекватности математической модели, представленной системой уравнений Максвелла, реальным физическим процессам

В некоторых учебниках [5,9], для демонстрации алгоритма корректного применения системы уравнений Максвелла, приводятся результаты вычисления электромагнитных полей, излучаемых элементарными излучателями – электрическими и магнитными. Выберем, например, учебник [9]. Согласно приведенным в [9] расчетам излучаемые элементарными излучателями поля представляют собой целый набор бегущих волн, отдельно магнитного и отдельно – электрического полей. Электрические и магнитные волны группируются попарно, образуя электромагнитную волну в привычном для нас понимании. Разумеется, объединение компонентов по парам отвечает общепринятой физической трактовке уравнений Максвелла: изменяющиеся во времени поля, электрическое порождает магнитное, магнитное – порождает электрическое. Мы же замечаем, что среди компонентов есть *ряд* таких, которые не имеют себе соответствующей пары, например:

$$\mathbf{H}_r = -\frac{I\mathbf{k}s}{2\pi r^2}\sin(\omega t - kr)\cos\vartheta, \qquad (19),$$

где: $\mathbf{H}_r$, напряженность магнитного поля, рассматриваемого компонента излучения, измеренная в точке наблюдения, а индекс при $\mathbf{H}$ означают орт сферической системы координат, указывающий направление вектора, I – ток диполя, $\mathbf{k}$ – волновой вектор, s – площадь магнитного диполя, r – расстояние от диполя до точки наблюдения, ω – круговая частота излучения, ϑ, – угол, указывающий направление излучения (по тангажу.)

Так, как $H_r = B_r / \mu_0 = f(t)$, то мы, на основании уравнения $\mathrm{rot}\mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ (**1**), должны наблюдать наличие **вихревого электрического поля,** представленного, конечно же, в виде в виде бегущей волны, конкретно

$$\mathbf{E}_\alpha = -\frac{I\mathbf{k}sw_0}{2\pi r^2}\sin(\omega t - kr)\cos\vartheta. \qquad (20)$$

Выражение (20) по структуре аналогично тому, что мы наблюдаем в радиоволнах. Но электрического поля, которое описано выражением (20) и, которое *обязательно* должно существовать согласно (**1**), среди компонентов решения нет. [9]!

Мы здесь имеем явно **парадоксальную** ситуацию. Действительно, уравнение (**1**) требует чтобы, изменяющееся во времени магнитное поле, сопровождалось **вихревым электрическим** полем, а в решении (19)*, полученном с применением именно этого уравнения,* предсказывается существование такого магнитного поля, которое не подчиняется требованиям того же уравнения (**1**). (Может (19) описывает скалярное магнитное поле [8]?)

Наличие парадокса означает: во-первых, электродинамика содержит внутренние противоречия; во-вторых – уравнение (**1**) не обладает силой физического закона (имеются отказы его выполнения). Потому, анализируемая математическая модель несовершенна.

Здесь уместно вспомнить, что в первой части настоящей статьи было показано, что вихревое электрическое поле является полем воображаемым. Отсутствие вихревого поля среди компонентов решения, хотя и косвенно, дополнительно подтверждает, что оно воображаемое. (Это еще раз говорит о том, что физические закономерности, которые проявляют себя в силовом действии на заряд со стороны магнитного поля, описываются уравнением (10) без «посредника», которым является вихревое электрическое поле).

Итак, приведенные во многих учебниках [5,9,14] примеры, поясняющие как следует с помощью уравнений Максвелла решать конкретные задачи электродинамики демонстрируют нам, что математическая модель явлений электродинамики, представленной, .не отдельными уравнениями, а именно системой уравнений Максвелла, *в определенной части* неадекватна реальным физическим процессам. Подтверждением сказанному может служить современное объяснение физического процесса, имеющего место в электромагнитных волнах (ЭМВ), которое, по мнению автора, является ошибочным.

Современное объяснение механизма существования ЭМВ

Причину существования ЭМВ в настоящее время принято объяснять непрерывным процессом преобразования полей электрического в магнитное, а магнитного в электрическое [18]. Такое объяснение выдвинуто в связи с тем, что в ЭМВ векторы напряженностей, электрического и магнитного полей, синфазны. (В данном случае мы должны отметить, что математическая модель дала корректное предсказание наблюдаемых полей).

Но, синфазность причинно связанных физических величин в ЭМВ выглядит странно с позиции преобразования энергий. Обычно, в бегущих волнах, например в акустической волне, между причинно связанными физическими величинами, такими, как скорость частиц (соответственно, кинетической энергией) и смещением частиц (соответственно, потенциальной энергией) имеется сдвиг по фазе во времени и пространстве на угол $\pi / 2$ [11]. Вообще, волна, как физическое явление, всегда представляет собой непрерывный процесс преобразования энергии из потенциальной в кинетическую и обратно, происходящий в материальной среде [11]. . В ЭМВ мы имеем **одновременное** появление и исчезновение магнитного поля и электрического, которые оба считаются носителями энергии. Плотности энергии электрического и магнитного полей в ЭМВ равны по величине и потому причин для перекачки энергий нет.

Получается, что реально не имеем логичного объяснения причин существования ЭМВ.

Но, если учесть, что вихревое электрическое поле в ЭМВ является воображаемым, а его силовое действие на заряженные частицы осуществляет лишь магнитное поле, то, очевидно, причину существования бегущей волны магнитного поля следует искать вовсе не в идее преобразования полей. При этом следует иметь в виду, что математика не исправляет неправильную физическую идею.

Основные результаты анализа, полученные в обеих частях статьи

1. Уравнения Максвелла, каждое порознь, не соответствуют тем представлениям о их физическом содержании, которые считаются общепризнанными
2. Введенное Максвеллом, уравнением (**1**), вихревое электрическое поле является воображаемым, и потому это уравнение некорректно.
3. Поскольку уравнение Максвелла (**1**) некорректно, и поскольку экспериментально установлено, что токи смещения воздушного конденсатора магнитных полей не создают, то уравнение (**2**) также некорректно.

Выводы

1. Уравнения Максвелла являются рекомендациями, применяемыми для решения задач электродинамики. По мнению автора, они только в первом приближении отражают физические закономерности электромагнитных явлений. Но, поскольку рекомендации применялись и применяются достаточно успешно, очевидно, нет смысла менять эти уравнения.
2. Ясно, что для дальнейшего познания природы эти уравнения следует применять исключительно осторожно, помня об описанных здесь заблуждениях, касающихся их физического содержания.
3. Избавляться от обнаруженных заблуждений предлагается начинать с модернизации уравнения для магнитной силы Лоренца, суть которой сводится к учету того, что эта сила, во всех случаях её проявления, обусловлена относительным движением заряженных частиц и магнитного поля.

Литература:

1. *Дуков В.М.* Электродинамика. – М.: Высшая школа, 1975. – 248с.
2. *Гудыменко В.С., Пискунов В.И.* Экспериментальная проверка существования магнитного поля, создаваемого токами смещения конденсатора. // Электроника и связь. – 2013. – №2. – С. 21-27.
3. *Канн К.Б.* К электродинамике здравого смысла. – http://www:sciteclibray.ru/texsts/rus/stat/st3611.pdf.
4. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. – М.: Наука, 1974. – 832 с.
5. *Красюк Н.П., Дымович Н.Д.* Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Высшая школа, 1974. – 280 с.
6. *Левич В.Г.* Курс теоретической физики. Т. 1. – М.: Наука, 1969. – 914 с.
7. *Льоцци М.* История физики. – М.: Мир,1970. – 464 с.
8. *Николаев Г.В.* Скалярное магнитное поле. – rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=2994416.
9. *Никольский В.Б.* Теория электромагнитного поля: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1964. – 385 с.
10. *Парсел Э.* Электричество и магнетизм: Учебное пособие. / Пер. с англ. – М.: Наука, 1971. – 448 с.
11. *Пейн Г.* Физика колебаний и волн. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
12. *Пискунов В.И.* Электромагнитные свойства физического вакуума: Монография. – К.: Аверс, 2006. – 145 с.
13. *Савельев И.В.* Курс физики. Т. 2. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1978. – 480 с.

14. *Семенов А.А.* Теория электромагнитных волн: Учеб. пособие. Издание второе. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. – 182 с.
15. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. 3. Электричество. – М.: Наука, 1977. – 688 с.
16. *Фарадей М.* Иследования по электричеству. Т. 1. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1947. – 832 с.
17. *Фарадей М.* Письмо королевскому сообществу. – bourabai.kz/faraday/Translate this page.
18. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т.6. – М.: Мир, 1966. – 343 с.

Статья поступила в редакцию 05.06.2016 г.

Piskunov V.I.

On the physical content of Maxwell's equations. Part 2

The analysis of the Maxwell electrodynamics equations is continued. Taking into account the results of the analysis in the first part of the paper, as well as the results of an experiment performed to test Maxwell's hypothesis about displacement currents in vacuum, and on the basis of logical analysis, the author concludes that Maxwell's equation and rotB / μ = j + ε∂E / T is incorrect.

Based on the results of the analysis presented in the first and second parts of the article, the author came to the conclusion that the equations rotE = –∂B / ∂t and rotB / μ = j + ε∂E / ∂t are not correct, since the conventional physical meaning of these equations does not correspond to the real physical laws. It is proposed to begin to eliminate the discovered errors from the return to the law of electromagnetic induction (EMI), which corresponds to the purely Faraday idea, according to which the EMI phenomena are caused solely by the relative motion of charged particles and a magnetic field. It is proposed to correct the magnetic component of the Lorentz force.

Key words: system of Maxwell equations, electromagnetic induction, wave equation, electromagnetic waves, physical content of equations, displacement currents in vacuum, magnetic field of the capacitor, Coulomb field, vortex field.