**О проблеме реализации единства существования статических компонент электромагнитного поля**

В.В. Сидоренков

МГТУ им. Н.Э. Баумана

На основе фундамента полевой концепции природы электричества – закона Кулона для силы взаимодействия неподвижных точечных электрических зарядов, цепочкой последовательных физико-математических рассуждений получены функционально связанные между собой системы дифференциальных уравнений для статических электрического, магнитного и электромагнитного полей, а также поля векторного потенциала, способные в конечном итоге описать энергетику стационарных эффектов электрической и магнитной поляризаций, феномена электропроводности и других стационарных явлений электромагнетизма.

Суть электромагнетизма – это взаимодействие электромагнитного (ЭМ) поля с материальной средой, где при аналитическом моделировании и анализе этого взаимодействия все в конечном итоге сводится к стремлению описать энергетику явлений электрической и магнитной поляризаций, феномена электропроводности. Для решения такой проблемы воспользуемся фундаментом полевой концепции природы электричества – законом Кулона для силы взаимодействия неподвижных точечных электрических зарядов [1]:

. (1)

Именно его посредством цепочкой последовательных физико-матемаческих рассуждений попытаемся составить на этой основе систему дифференциальных уравнений статического ЭМ поля для описания вышеперечисленных явлений электромагнетизма.

Вначале рассмотрим систему уравнений, непосредственно следующую из закона Кулона, позволяющую описать стационарную электрическую поляризацию материальной среды:

(a) , (b) (0), (2)

(c) , (d) ,

где  и  - абсолютные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды. Здесь в первом уравнении (2a) аналитически сформулировано прямое следствие формулы закона Кулона – условие потенциальности статического поля электрической напряженности . Следующее уравнение (2b) базируется на математическом свойстве структуры поля взаимодействия зарядов в законе Кулона , когда поток такого поля через произвольную замкнутую поверхность равен константе (так называемая теорема Гаусса). Физически уравнение (2b) описывает результат явления электрической поляризации в виде отклика материальной среды на наличие в данной точке стороннего электрического заряда ( – объемная плотность стороннего заряда) либо на воздействие на среду внешнего электрического поля (). Поскольку дивергенция ротора любого векторного поля тождественно равна нулю, то из уравнения (2b) для областей среды с локальной электронейтральностью () напрямую следует третье уравнение (1c), показывающее, что электрическая поляризация материальной среды принципиально сопровождается вихревым полем электрического векторного потенциала . Последнее уравнение (2d) – это условие кулоновской калибровки, обеспечивающее чисто вихревой характер поля вектора .

Как видим, уравнения обсуждаемой системы являются уравнениями электростатики. Они рассматривают области пространства, где присутствует только некое статическое поле, которое физически логично назвать «электрическое поле», структурно реализуемое, согласно уравнению (2c), посредством двух векторных взаимно ортогональных полевых компонент: электрической напряженности  и векторного электрического потенциала . Формально право на существование именно такой структуры обсуждаемого здесь электрического поля иллюстрируется логикой проведенных рассуждений и видом полученных уравнений, однако однозначным аргументом объективности представленных результатов служит следующее из уравнений соотношение энергетического баланса для потока электрической энергии:

. (3)

Следовательно, перенос извне в данную точку пространства потока электрической энергии (левая часть соотношения (3)) действительно осуществляется двумя взаимно ортогональными векторными компонентами электрического поля посредством потокового вектора , что и обеспечивает энергетику процесса электрической поляризации среды (правая часть соотношения (3)).

Продолжим нашу цепочку последовательных физически логичных рассуждений с целью получить теперь уравнения, способные описать стационарный случай феномена электрической проводимости в материальной среде:

(a) , (b) , (4)

(c) , (d) ,

где  - удельная электрическая проводимость среды. Первое уравнение (4a) – это математическая формулировка потенциальности статического поля вектора  в проводнике с током. Второе (4b) является аналитической записью закона сохранения электрического заряда для случая стационарной электропроводности , который, согласно закону Ома , описывает отклик проводящей среды на наличие в ней электрического тока. Этот отклик физически реализует эффект электрической поляризации проводника под действием тока, так как соотношение (4b) можно представить в виде , где  - вектор электрического смещения (индукции),  - постоянная времени релаксации заряда в среде за счет электропроводности. А поскольку дивергенция ротора любого векторного поля тождественно равна нулю, то из (4b) непосредственно получаем третье уравнение (4c), показывающее, что процесс электропроводности принципиально сопровождается вихревым магнитным полем напряженности , охватывающим линии этого тока. Четвертое уравнение (4d) физически представляет собой магнитный аналог теоремы Гаусса, хотя математически это условие калибровки, обеспечивающее чисто вихревой характер поля .

Итак, уравнения системы (4) описывают свойства другого статического поля, согласно (4c), представленного двумя векторными взаимно ортогональными полевыми компонентами: электрической  и магнитной  напряженности. Его общепринято называть «электромагнитное поле». Объективность существования такой структуры поля иллюстрируется следующим из этих уравнений известным соотношением баланса для потока ЭМ энергии:

 (5)

Поток энергии в пространстве реализуется посредством обеих компонент такого поля в виде потокового вектора Пойнтинга . Этот поток, поступая в проводник (левая часть соотношения (5)), идет на компенсацию джоулевых потерь, обусловленных выделением тепла в проводнике с током, что описывается широко известным законом Джоуля-Ленца (правая часть (5)). Данный вопрос наиболее последовательно исследован (вплоть до построения картины “силовых” линий вектора Пойнтинга у поверхности проводника с током) в учебном пособии по электродинамике Зоммерфельда [2]. Важно подчеркнуть, что в случае статических ЭМ явлений традиционное электромагнитное поле поле с компонентами  и создается только стационарным (постоянным во времени) электрическим током, а во всех других в статических процессах единство его компонент не может быть реализовано в принципе.

Необходимо отметить, что, несмотря на наличие в проводнике с током поля компонент электрической  и магнитной  напряженности, вследствие чего проводник, очевидно, обладает электрической и магнитной энергиями, из уравнений системы (4) никак не следуют для этих энергий соотношения баланса, аналогичные соотношению (3). Структурно уравнения ЭМ поля (4) не способны в принципе описать потоки электрической или магнитной энергий ввиду отсутствия в них вторых компонент соответствующих полей. Так, например, для компоненты  нужна, как показано выше, еще и компонента , а это уже электрическое поле, представленное системой уравнений (2). Здесь, безусловно, видна общность полей, представленных системами уравнений (2) и (4), что более конкретно выражается следствием из уравнения (4b): реализацией электрической поляризацией проводящей среды действием тока .

Мы же вернемся снова к нашим последовательным физически логичным рассуждениям с целью вывода теперь уравнений, описывающих эффект стационарной магнитной поляризации (намагничивания) материальной среды:

(a) , (b) , (6)

(c) , (d) .

Здесь уравнение (6a) показывает, что в рамках представлений классической электродинамики все магнитные явления имеют токовую природу, то есть в статике вихревое поле  порождается процессом электропроводности . Второе уравнение (6b) – это магнитный аналог теоремы Гаусса, описывающей эффект магнитной поляризации среды. Следующее уравнение (5c) является следствием (6b) и показывает, что магнитная поляризация среды сопровождается вихревым полем векторного магнитного потенциала . Чисто вихревой характер поля вектора  обеспечивается условием калибровки (6d).

Реальность поля, которое логично называть «магнитное поле», а описывающую его систему (6) – уравнениями магнитостатики, однозначно подтверждается соотношением баланса для потока энергии, обуславливающей намагничивание материальной среды:

. (7)

Полученные выше системы уравнений электростатического (2) и магнитостатического (6) полей позволяют теперь, по существу уже формально, из (2c), (2d) и (6c), (6d) составить еще одну систему полевых уравнений, рассматривающих поведение статических вихревых компонент поля ЭМ векторного потенциала, порождаемых эффектами поляризации материальной среды:

(a) , (b) , (8)

(c) , (d) .

Объективность существования именно таких уравнений указанного поля иллюстрируется следующим из уравнений (8) соотношением баланса:

, (9)

описывающим, судя по размерности потокового вектора , передачу материальной среде момента ЭМ импульса. Экспериментальным воплощением такого явления служит эффект Эйнштейна-де Гааза [1], проявляющий себя вращением магнетика, помещенного в однородное магнитное поле соленоида.

В качестве наглядного примера возможности концептуального развитии основ теории электромагнетизма следует указать на использование приведенных здесь результатов при изучении процесса стационарной электропроводности в металле - уникальном объекте, где указанный процесс порождает все обсуждаемые здесь явления электромагнетизма [3].

Обобщая полученные результаты, приходим к выводу, что реальная структура ЭМ поля - это векторное поле из четырех функционально связанных компонент , ,  и , своим посредством реализующих поле векторного потенциала с электрической  и магнитной  компонентами, ЭМ поле с электрической  и магнитной  напряженностями, электрическое поле с  и  компонентами, и, наконец, магнитное поле с  и  компонентами. Такое поле физически логично назвать реальным электромагнитным полем, поскольку его концепция применима ко всем известным в настоящее время электромагнитным явлениям и процессам, но наиболее ярко и физически перспективно она проявляет себя в электродинамических явлениях, обусловленных действием переменного во времени указанного поля, системы уравнений описания которого представлены в работах [4]. Кстати, как представляется, методически серьезных проблем не должно возникнуть, если обсуждаемое здесь поле сохранит за собой и традиционное в электромагнетизме нынешнее название – ЭМ поле с учетом проведенной модернизации физических воззрений и его нового содержания.

Таким образом, представленные здесь результаты являются серьезным прогрессом в развитии фундаментальных основ наших знаний о Природе электричества, и могут, в частности, служить концептуальной основой новых методических разработок по курсам общей физики и классической электродинамики в университетах и втузах.

**Список литературы**

1. Матвеев А.Н. Электродинамика. М.: Высшая школа, 1980.

2. Зоммерфельд А. Электродинамика. М.: ИЛ, 1958.

3. Сидоренков В.В. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2005. № 2. С. 35-46.

4. Сидоренков В.В. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2006. № 1. С. 28-37; // Материалы IX Международной конференции «Физика в системе современного образования». Санкт-Петербург: РГПУ, 2007. Секция “Профессиональное физическое образование”. С. 127-129; // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2007. Т. 3. № 11. С. 75-82.