**О ПСЕВДОВОЛНАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

##### В.В. Сидоренков

*МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Общепринятая логика обсуждения вопроса о переносе энергии электромагнитного поля посредством волн такова, что проблемы здесь как бы и нет: всем все понятно, однако в действительности проблема выяснения физического механизма переноса энергии синфазными компонентами электромагнитной волны реально существует, и для разрешения парадокса требуется эвристический, кардинальный подход.*

Концепция электромагнитного (ЭМ) поля является основополагающей в классической электродинамике [1], где считается, что все явления электромагнетизма физически полно представлены этим полем, свойства которого исчерпывающе описываются системой электродинамических уравнений Максвелла:

(a) , (b) , (1)

(c) , (d) ,

где  - постоянная времени релаксации заряда в среде за счет ее электропроводности. Важнейшим следствием уравнений (1) является тот факт, что компоненты ЭМ поля, электрическая  и магнитная  напряженности, перемещаются в свободном пространстве в виде поперечных волн.

С целью ответа на вопрос, как распространяются эти волны и что они переносят, обратимся к *закону сохранения энергии*, аналитическую формулировку которого можно получить при совместном решении уравнений Максвелла (1) в виде так называемой теоремы Пойнтинга:

. (2)

Поскольку далее рассматривается распространение ЭМ волн в среде идеального диэлектрика (), то соотношение (2) этом случае запишется как:

. (3)

Рассмотрим выполнение *закона сохранения энергии* для монохроматической ЭМ волны, полевые компоненты которой, согласно волновым решениям уравнений Максвелла [1], распространяются, например, вдоль оси *x* в пространстве без потерь *синфазно*: и , а их амплитуды связаны между собой как . Подставляя выражения для этих компонент в соотношение (3), окончательно получаем:

. (4)

В итоге , так как, по определению, это объемная плотность потока векторного поля в данной точке, а потому для бегущей волны в пространстве без потерь усредненный по времени поток ее энергии через замкнутую поверхность очевидно равен нулю. Итак, уравнения Максвелла описывают необычные, весьма странные волны, которые логично назвать псевдоволнами, поскольку, с одной стороны, *синфазные* волны не способны в принципе переносить ЭМ энергию, а с другой - перенос энергии реально наблюдается, более того это физическое явление широко и всесторонне используется практически, определяя многие аспекты жизни современного общества .

Итак, имеем парадокс, существующий уже более века. Поражает здесь то, что общепринятая логика анализа переноса энергии ЭМ волнами такова, что проблемы как бы и нет: всем все понятно. Например, из соотношения для амплитуд в волновых решениях уравнений (1)  формально следует, что для ЭМ энергии , хотя синфазные волны переносить энергию не могут. Правда, делались попытки действительно разобраться в этом вопросе, но эти объяснения (например, [2]), на наш взгляд, не выдерживают критики, поскольку обсуждались не сами уравнения Максвелла или их прямые следствия, а то, что эти уравнения не учитывают характеристики реальных ЭМ излучателей или специфику взаимодействия материальной среды с ЭМ полем при распространении его волн. Это, по мнению авторов, и создает сдвиг фазы между компонентами на .

Для большей убедительности нашей аргументации напомним основные представления о переносе энергии посредством волнового процесса, например, рассмотрим распространение волн от брошенного в воду камня. Частицы воды массой *m*, поднятые на гребне волны на высоту *h*, имеют запас потенциальной энергии , а через четверть периода колебаний, когда гребень волны спадает, в соответствии с *законом сохранения энергии* потенциальная энергия частиц воды переходит в кинетическую энергию их движения , где скорость частиц . Наличие взаимодействия молекул воды и приводит к возбуждению механической поверхностной поперечной волны. К сожалению, вышесказанное для *синфазных* волновых компонент ЭМ поля, описываемых уравнениями Максвелла (1), это невозможно в принципе.

Однако последовательный критический анализ именно уравнений электродинамики Максвелла [3] выявил систему дифференциальных уравнений в виде соотношений первичной функциональной взаимосвязи *ЭМ поля* с компонентами электрической  и магнитной  напряженности и поля *ЭМ векторного потенциала* с электрической и магнитной  компонентами:

(a) , (b) , (5)

(c) , (d) .

Объективность существования указанного *четырехкомпонентного вихревого поля,* которое физически логично назвать **реальным электромагнитным полем**, иллюстрируется целым рядом нетривиальных следствий из соотношений (5), поскольку математические операции над ними позволили получить три новые системы электродинамических уравнений [3], структурно аналогичных системе уравнений (1), но уже для *поля ЭМ векторного потенциала* с электрической  и магнитной  компонентами, *электрического поля* с компонентами  и , наконец, для *магнитного поля* с компонентами  и .

Подробный анализ условий распространения компонент реального ЭМ поля в виде волн представлен в работе [4], там это поле условно названо «единое электродинамическое поле». Установлено, что в среде без потерь компоненты *волны вектор-потенциала* совершают *синфазные* колебания,а у *электрической и магнитной волн* полевые компоненты сдвинуты между собой по фазе на . Конечно, последний результат математически тривиален, так как компоненты “обычного” ЭМ поля и поля ЭМ вектор-потенциала связаны между собой посредством производной по времени (см. соотношение (5)). Однако концептуально, с физической точки зрения данный факт весьма примечателен.

В этой связи рассмотрим энергетические аспекты волнового распространения составляющих реального ЭМ поля, а потому приведем следующие из анализа новых систем уравнений соотношения баланса [3]:

для *потока электрической энергии*

****,(6)

для *потока магнитной энергии*

**** (7)

и, судя по размерности, для *потока момента ЭМ импульса*

****.(8)

Используя представленные соотношения баланса, проведем сначала анализ энергетики перемещения в пространстве волн *электрического поля* на основе *закона сохранения электрической энергии*, соотношение баланса (6) которого запишется для среды идеального диэлектрика () как:

****.(9)

Согласно волновым решениям уравнений *электрического поля* [4], полевые компоненты монохроматической поперечной *электрической волны* имеют сдвиг фазы на :  и . Тогда, подставляя их в уравнение баланса (9), приходим к следующему соотношению:

****. (10)

Как видим, такой результат вполне удовлетворяет закону сохранения энергии, поскольку усреднение по времени соотношения (10) дает

, (11)

а потому *электрическая волна* действительно переносит в пространстве чисто *электрическую энергию*: .

Соответственно, для *магнитного поля*, распространяющегося в однородной среде без потерь, согласно(7), *закон сохранения магнитной энергии* запишется в виде соотношения:

****.(12)

Здесь полевые компоненты *магнитной волны* также имеют сдвиг фазы колебаний на :  и . Подставляя их в соотношение (12) и проводя аналогичные рассуждения как при выводе формулы (11), в итоге получаем:

. (13)

Итак, в случае *магнитного поля* снова приходим к физически здравому результату, удовлетворяющему закону сохранения энергии, когда *магнитной волной* в среде переносится чисто *магнитная энергия*: .

Справедливости ради уместно сказать, что впервые о реальности *магнитной поперечной волны* с двумя ее компонентами  и , сдвинутыми при распространении по фазе на , почти 30 лет назад официально в виде приоритета на открытие заявил Докторович [5], и этот факт он безуспешно пытается донести до других все эти долгие годы. Печально, но только Время – высший судья, и именно оно расставит всех по своим местам!

Таким образом, реализация собственно *волн ЭМ поля и ЭМ векторного потенциала*, удовлетворяющих обычному физическому механизму волнового процесса, принципиально невозможна, хотя сами эти поля, как показано выше, существуют и распространяются опосредованно в виде *псевдоволн*, поскольку их синфазные компоненты являются составной частью компонент *электрической и магнитной волн*, распространяющихся обычным образом. Тем самым все составляющие реального электромагнитного поляобъективно перемещаются в пространстве совместно посредством единого волнового процесса.

К сожалению, в настоящее время существующими методами регистрации электродинамических полей реально наблюдают только *псевдоволны* “обычного” ЭМ поля. И хотя конкретное наблюдение волн остальных обсуждаемых здесь полей – дело будущего, объективность их существования и неоспоримая практическая значимость достоверно подтверждается принципиальной невозможностью без их посредства реализации ряда физических характеристик и свойств ЭМ поля, в частности, его способности переноса ЭМ энергии.

Литература

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

2. *Пирогов А.А.* // Электросвязь. 1993. №5. С. 13-14.

3. *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.

4. *Сидоренков В.В.* // <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8935.html>/ .

#  5. *Докторович З.И.* // Заявленное открытие "Магнитные поперечные волны" №32ОТ-10247, дата поступления 5 мая 1980 г.; // http://www.sciteclibrary.ru/-  [rus/catalog/pages/4797.html](http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4797.html/).