<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8983.html>

**ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ КАК СЛЕДСТВИЕ ИНЕРЦИОННЫХ**

**СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

***© М. Г. Колонутов***

**кандидат технических наук, доцент**

**Контакт с автором:**[**kolonutov@mail.ru**](mailto:kolonutov@mail.ru)

**Аннотация**

*С позиций механики сплошной среды рассмотрены касательные напряжения, возникающие в электрическом поле длинного заряженного стержня при его равноускоренном движении. Основными результатами исследования явились, во-первых, оценка вклада электрического поля в инерционные свойства стержня, во-вторых, вывод уравнения электромагнитной индукции, которое, как известно, до сих пор, не имея теоретического обоснования, основывалось на обобщении экспериментальных данных.*

 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Введение**

 Существуют две точки зрения на возможность применения методов механики сплошных сред к изучению свойств электрического поля. Одна из них, в принципе отвергая такую возможность, отражена в словах: “ В настоящее время можно считать установленным, что подобное механическое истолкование электрических явлений не выдерживает критики фактов” [1, с. 85]. Отрицая методы механики, последователи этого взгляда базировали теорию электричества на достаточно спорном методическом приеме, суть которого изложена в учебном пособии [1]: ”Изучение электрических явлений чрезвычайно облегчается, если исходить из представления, что как в точке *Р*, так и во всех точках пространства, окружающего заряд *е*, всегда существует электрическая сила, обусловленная присутствием этого заряда, вне зависимости от того, проявляется ли существование этой силы в воздействии ее на другой (пробный) заряд (в случае наличия такового) или же ни в чем не проявляется (в случае отсутствия других зарядов)”.

В этом положении, во-первых, совершенно не ясно, что означает существование “электрической силы”, которая ни в чем не проявляется и неизвестно к чему приложена.

Во-вторых, прием, применимый для “чрезвычайного облегчения в изучении электрических явлений”, в дальнейшем изложении влечет представление о том, что все точки пространства, окружающего заряженное тело, можно охарактеризовать не только наличием “электрической силы”, но и плотностью энергии. Это уже не “облегчение в изучении”, а создание артефакта, который существенным образом искажает физическую картину явления.

Отличительной чертой этой точкой зрения является мнение, что к описанию состояния поля невозможно привлечь понятие движения. Считается возможным говорить только о движении носителей заряда, но ни в коем случае не о движении поля как некоторой материальной субстанции.

Другой, более современный, взгляд на эту проблему состоит в том, что “теория электромагнитных волн – механическая теория с бесконечным числом степеней свободы” [2, с. 16] и далее там же: “На самом деле, вполне правильно определять классическую теорию поля как механику систем с бесконечным числом степеней свободы”.

Эта точка зрения, будучи гораздо логичнее и понятней, соответствует концепции электрического поля как некоторой сплошной среды (системы с бесконечным числом степеней свободы), способной передавать механическое воздействие одного заряженного тела на другое за счет возникновения в ней упругих напряжений. Движение в этом случае является непременным атрибутом электрического поля, как и всякой другой материальной среды.

Предлагаемая вниманию читателя статья основывается на второй точке зрения. В ней с позиций механики сплошной среды рассмотрены касательные напряжения, возникающие в электрическом поле длинного заряженного стержня при его равноускоренном движении. Основными результатами исследования явились, во-первых, оценка вклада электрического поля в инерционные свойства стержня, во-вторых, вывод уравнения электромагнитной индукции, которое, как известно, до сих пор, не имея теоретического обоснования, основывалось на обобщении экспериментальных данных.

**1. Касательные напряжения**

Пусть имеется заряженный стержень радиуса *r0*, движущийся с постоянным ускорением *а* вдоль своей продольной оси*.* Длина стержня *L*, *L>>r0*, столь велика, что позволяет не учитывать краевые эффекты. Заряд по длине стержня распределен равномерно с плотностью l .

Плотность энергии поля при такой конфигурации заряженного тела, как известно, выражается зависимостью (1),

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6705.gif  (1)**

Воспользуемся соотношением Эйнштейна между массой и энергией *W= mc2* для определения плотности поля r ,

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6706.gif. (2)**

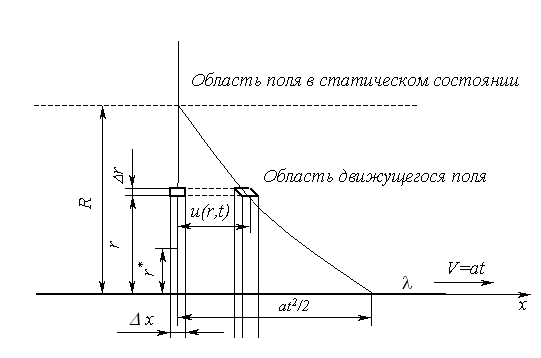
В связи с конечностью скорости *с* распространения возмущений в электрическом поле, окружающем стержень, за промежуток времени от 0 (начало движения) до *t* в движение придет только та область поля, которая находится в пределах пространства охваченного цилиндрической поверхностью радиуса *R=ct* (рисунок1).

Выделим элементарный фрагмент поля в виде кольца радиусом *r* и размерами поперечного сечения D *r,* D *х.* Перемещение кольца за рассматриваемый промежуток времени составит величину *u(r,t)*,

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6707.gif. (3)**

Производная от перемещения *u(r,t)* по радиусу *r* является деформацией сдвига g ,

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6708.gif. (4)**



**Рис. 1**

  Возмущение, созданное движением стержня, распространяется в электрическом поле в виде сдвиговых волн, скорость распространения которых, как известно, связана с модулем упругости сдвига *G* среды, в которой распространяются волны, зависимостью http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6709.gif, где r *-* плотность среды, т.е. плотность электрического поля. Пользуясь этой зависимостью и величиной плотности r (2), определим модуль упругости,

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6710.gif. (5)**

Зная деформацию g (4) и модуль упругости сдвига *G*(5), найдем касательное напряжение t ,http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image1384.gif

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6711.gif. (6)**

Совокупность элементарных фрагментов поля с одинаковым радиусом *r* образует цилиндрический слой толщиной D *r.* Найдем касательные усилия, действующие на внешней и внутренней сторонах участка слоя длиной *l*,

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6712.gif, (7)**

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6713.gif, (8)**

и равнодействующую D *f* этих усилий. Считая в линейном приближении

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6714.gif  (9)**

и отбрасывая величины высшего порядка малости, получим

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6715.gif. (10)**

За время наблюдения *t* в движение придет та часть поля, которая находится внутри цилиндрической поверхности радиусом *R = ct*(рисунок 1). Касательное усилие, возникающее при этом на расстоянии *r\**можно найти, проинтегрировав выражение (10) по радиусу *r* от *r\** до *R(t)*,

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6716.gif. (11)**

Полученное выражение замечательно тем, что является произведением ускорения *a*на массу поля, пришедшего в движение. В самом деле, вычислив массу *m(r\*,t)* интегрированием плотности (2) по объему, найдем, что

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6717.gif. (12)**

Сравнивая выражения (11) и (12), находим подтверждение сделанному выводу.

Положим теперь, что начальное значение радиуса *r\** равно радиусу стержня, *r\*=r0*, тогда выражение (11) определит силу *F(r0,t)*, которая действует на поле со стороны поверхности стержня. Равная, но противоположно направленная сила *Fи= - F(r0,t)*, действующая на стержень со стороны поля, является при этом той частью силы инерции стержня, которая определяется его избыточным зарядом,

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6718.gif. (13)**

Теоретические положения, изложенные выше, можно подтвердить применением полученных зависимостей к электромагнитным явлениям. В следующем разделе на примере закона электромагнитной индукции показано, что при этом получаются вполне адекватные результаты.

**2. Закон электромагнитной индукции**

  Напряженностью электрического поля, как известно, называют силу, приходящуюся на единицу заряда. Определим эту величину, продифференцировав выражение (11) по длине *l* и плотности заряда *λ*,

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6719.gif. (14)**

Ограничиваясь первым членом разложения логарифмической функции в степенной ряд, преобразуем выражение (14) к виду (15) с учетом того, что напряженность http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6720.gif, электрического поля заряженного стержня в статическом состоянии на расстоянии *r\** от его оси определяется зависимостью http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6721.gif,

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6722.gif. (15)**

Если предположить, что расстояние *r\**, пренебрежимо меньше расстояния *R(t)=сt*, на которое распространится возмущение электрического поля, то последняя формула упростится

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6723.gif. (16)**

Таким образом, при сделанных допущениях продольная напряженность электрического поля*E=(r\*,t)*, вызванная ускоренным движением носителя заряда, определяется произведением напряженности электрического поля в статическом состоянии и мгновенной скорости движения этого носителя.

Для подтверждения адекватности изложенной точки зрения найдем, пользуясь зависимостью (14), электродвижущую силу, возникающую в некотором замкнутом контуре, расположенном в той же плоскости, что и движущийся заряженный стержень (рисунок 2).

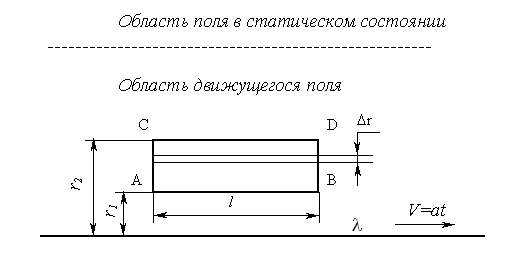
Электродвижущая сила на сторонах AC и BD, перпендикулярных стержню, будет равна нулю, на сторонах АВ и CD, параллельных направлению движения, эта величина соответственно составит

**ЕАВ = http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6724.gif, (17)**

**ЕСD = http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6725.gif. (18)**

Суммируя алгебраически ЭДС сторон в соответствии с направлением обхода контура по часовой стрелке, получим,

Е = ЕCD-ЕAB = http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6726.gif. (19)



**Рис. 2**

  Найдем для сравнения ту же величину, основываясь на законе электромагнитной индукции.

Индукция магнитного поля, возникающего вокруг стержня, выражается формулой (20)

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6727.gif  (20)**

Магнитный поток сквозь элементарную площадку длиной *l* и шириной D *r*составит D *Ф = BD r l*. Проинтегрировав это выражение по *r* от *r1*до *r2*, найдем магнитный поток *Ф* через весь контур ACDB,

**http://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6728.gif. (21)**

Взяв теперь производную от потока *Ф* по времени, получим искомое выражение для электродвижущей силы,

**Еhttp://www.sciteclibrary.ru/ris-stat/2236/image6729.gif  (22)**

Полученная зависимость полностью совпадает с выражением (19). Разница между ними в том, что вывод формулы (19) построен на базовых понятиях механики сплошной среды, в то время как выражение (22) является только обобщением экспериментальных данных, выполненным М.Фарадеем.

**Выводы**

  1. На примере электрического поля заряженного стержня продемонстрирована возможность применения законов механики сплошной среды к изучению электромагнитных явлений.

2 Показано происхождение явления электромагнитной индукции и дан вывод уравнения для вычисления электродвижущей силы индукции без привлечения для этого феномена под названием “магнитное поле”.

3 Выполнена оценка вклада электрического поля в инерционные свойства заряженного тела

**Литература.**

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: - Наука, 1966,- 624 с
2. Цвелик А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния: Пер. с англ.-ФИЗМАТЛИТ, 2004,-320 с.

**Дата публикации:** 18 марта 2008