

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №4 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-4>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/142TVN415.pdf>

DOI: 10.15862/142TVN415 (<http://dx.doi.org/10.15862/142TVN415>)

УДК 537

Кочетков Андрей Викторович

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Россия, г. Пермь¹

Профессор

Доктор технических наук

E-mail: soni.81@mail.ru

Федотов Петр Викторович

ООО «Научно-технический центр технического регулирования»

Россия, г. Саратов

Инженер

E-mail: klk50@mail.ru

О силе Лоренца в различных разделах электродинамики

¹ 410022, г. Саратов, ул. Азина, д. 38 «В», кв. 4

Аннотация. Предлагается единая концепция сил Лоренца в различных разделах электродинамики: классической, релятивистской и квантовой.

Показано, что в релятивистской электродинамике сила Лоренца появляется из-за существования эффекта Доплера для поля, предложенного авторами в предыдущих статьях. В отличие от эффекта Доплера для волн, для которых эффект Доплера приводит к изменению частоты принимаемого сигнала, эффект Доплера для поля приводит к изменению силы взаимодействия между зарядами. Причина изменения силы в запаздывании взаимодействия, в результате которого заряды взаимодействуют исходя не из реального положения, а с запаздыванием, исходя из предыдущего положения. Величина запаздывания зависит от скорости движения зарядов.

Показано, что величина запаздывания соответствует поправке преобразований Лоренца. Другими словами, преобразования Лоренца – это ни что иное, как учет эффекта Доплера для поля. Т.о. меняется концепция релятивистской электродинамики. Вместо постулатов о разном течение времени в движущихся системах, как это принято в СТО, привносится запаздывание взаимодействия. Т.к., преобразования Лоренца остаются неизменными, то весь математический аппарат релятивистской электродинамики остается неизменным.

Показано, что современная форма силы Лоренца в классической электродинамике – это результат разложения релятивистской силы Лоренца в ряд Маклорена по степеням малости v^2/c^2 .

Ключевые слова: сила Лоренца; электродинамика; уравнения Максвелла; взаимодействие зарядов; проводник; замедление времени; запаздывание; интерпретация; поперечный эффект Доплера.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кочетков А.В., Федотов П.В. О силе Лоренца в различных разделах электродинамики // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №4 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/142TVN415.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/142TVN415

Введение

В настоящее время макроскопическая электродинамика делится на два раздела: классическая электродинамика (Максвелла) и релятивистская электродинамика [1-13]. Имеется еще и квантовая теория поля (КТП). При этом в литературе наблюдается явная диспропорция, а именно если уравнения Максвелла присутствуют в обоих разделах², то уравнение силы Лоренца присутствуют только в классической электродинамике и отсутствует в релятивистской.

Несмотря на отсутствие выражения силы Лоренца в релятивистской электродинамике подобное выражение вполне можно ввести.

Обсуждение задачи

Приведем несколько общих рассуждений о взаимодействии зарядов посредством поля с ограничением скорости взаимодействия.

Фундаментальным понятием электродинамики является понятие «электромагнитного поля», как особого материального посредника, через которого взаимодействуют электрические заряды [8, с. 9]. Другим фундаментальным понятием электродинамики является «скорость света c » - скорость взаимодействия между зарядами. Из этих двух фундаментальных понятий следует, что любое взаимодействие между зарядами происходит не мгновенно, а со скоростью c . Это не имеет значение при взаимодействии статических зарядов, но влияет на взаимодействие движущихся зарядов.

В классической теории поля все виды полей рассматриваются как непрерывный материальный континуум. Взаимодействие через подобные поля происходит по принципу передачи «механических» напряжений, передающихся через поле со скоростью, характерной для каждого вида поля. Для механических взаимодействий, например, в акустике или механике непрерывных сред - эта скорость равна скорости звука. Для электромагнитного поля - эта скорость равна скорости света. И т.д.

Причем взаимодействие зарядов, находящихся в определенной точке начинается не в тот момент, когда заряд оказался в определенной точке, а в момент, когда возмущение поля, вызванное появлением стороннего заряда в точке пространства, а в момент времени, когда напряжение поля дойдет до источника поля. Поэтому взаимодействие движущихся зарядов происходит не по месту действительного расположения зарядов, а с запаздыванием на промежуток времени, необходимый для прохождения «сигнала» расстояния между действующими зарядами.

Рассмотрение подобного силового воздействия с запаздыванием в современной науке не проведено. Хорошо известна теория запаздывающих потенциалов Лиенара-Вихерта [11]. Хотя решения Лиенара-Вихерта позволяет решать задачи определения потенциалов и полей движущихся зарядов, но эти решения не дают ответа на вопросы взаимодействия движущихся зарядов [4, с. 215].

Тем не менее, ответ на вопрос о силовом взаимодействии зарядов лежит на поверхности. Для этого рассмотрим взаимодействие двух зарядов одного неподвижного и

² Но, в разных формах. Так, в классической электродинамике уравнения Максвелла записываются в виде четырех классических уравнений Максвелла, то в релятивистской - они же, записываются в виде двух релятивистских уравнений.

одного подвижного (рис. 1). На рисунке изображены два заряда: неподвижный А, и заряд В – движущийся со скоростью v .

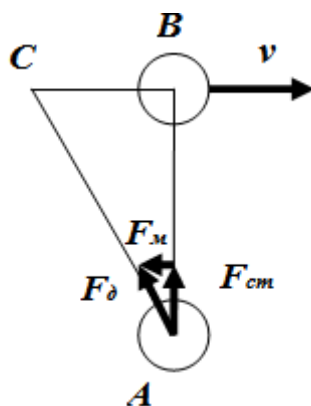


Рис. 1. Силы, действующие на заряд (А) со стороны движущегося заряда (В)
(разработано авторами)

Если бы заряд В был бы неподвижным, то сила взаимодействия между зарядами определялась бы законом Кулона и была бы направлена по вектору F_{cm} . Т.о. F_{cm} – это вектор кулоновской силы взаимодействия неподвижных зарядов. Но, если заряд движется, то сила действующая на заряд А, направлена не на точку реального положения заряда В, а точку предыдущего положения С. Положение точки С определяется запаздыванием, связанным с конечной скоростью распространения электромагнитного поля. Вектор F_d - вектор динамического взаимодействия движущихся зарядов. Вектор F_m - определяет то, что называется магнитным взаимодействием.

В монографии [3] показано, что т.н. магнитное поле, не что иное, как вектор, дополнительный к вектору электростатической силы, который появляется при взаимном движении зарядов. В общем виде это можно представить в виде:

$$[F_d] = [F_{cm}] + [F_m]. \quad (1)$$

Смысл последней формулы очень простой: вектор силы динамического взаимодействия зарядов равен алгебраической сумме векторов кулоновской силы и магнитной силы.

Решение задачи

Можно пойти другим путем. Из рисунка ясно, что величина F_m зависит от соотношения v^2/c^2 , а значит, переход от статической силы F_{cm} к динамической F_d можно осуществить неким гипергеометрическим поворотом вектора F_{cm} . Причем угол поворота будет определяться функцией, зависящей от v^2/c^2 .

Есть разработанный раздел математики *линейная алгебра*, специально предназначенная для таких операций. Методами линейной алгебры решаются вопросы перехода от системы координат xuz к системе координат $x'y'z'$. При этом перевод осуществляется с помощью матрицы перехода. Именно такие матрицы перехода и используются в релятивистской электродинамике, где фактически нет разделения на отдельное электрическое и отдельно магнитное поле, а есть общий электромагнитный тензор. Процесс сложения электрического и магнитного полей заменяется переходом к новому базису.

Перейдем к физическому обоснованию применяемых математических преобразований.

Причина отклонения взаимодействия движущихся электрических зарядов от кулоновского в конечной скорости распространения электромагнитного взаимодействия. Из-за того, что скорость света конечна, взаимодействие наступает с запаздыванием. Но, есть еще один эффект, который зависит от запаздывания, появляющийся ввиду конечной скорости распространения – это эффект Доплера [12].

Сравним два рисунка, взаимодействие движущихся зарядов и прием колебаний от движущегося источника (рис. 1 и рис. 2)

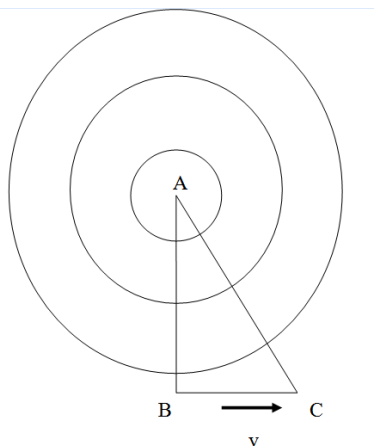


Рис. 2. Поперечный эффект Доплера при неподвижном источнике (A) и подвижном приемнике (B) (разработан авторами)

Легко увидеть внешнюю аналогию рисунков. Еще больше появляется аналогий, если сравнить математические формулы эффекта Доплера:

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad [1, 49] \quad (2)$$

и преобразований Лоренца для сил взаимодействия из раздела релятивистской физики:

$$F = \frac{F_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad [6, \text{с. 311}] \quad (3)$$

Легко увидеть идентичность рисунков, иллюстрирующих два эффекта, и математических формул.

Суть предложений авторов данной статьи в том, что преобразования Лоренца – это реализация эффекта Доплера для сил взаимодействия электрических зарядов, которые взаимодействуют через поля, скорость распространения которых конечная. Т.о., математически предлагаемая теория соответствует современной релятивистской электродинамике. Принципиальная разница только в одном вопросе, каким образом в релятивистской электродинамике появляются преобразования Лоренца?

В настоящее время принято объяснять это ссылаясь на СТО, в которой постулируется замедление времени в движущихся ИСО [12]. Из-за новых постулатов о сущности времени, в СТО появляются мнимые и реальные парадоксы, парадокс близнецов, парадокс Белла, парадокс Эренфеста и т.д.

Предлагаемая теория позволяет не только устранить все парадоксы СТО, но и не позволит появляться подобным парадоксам в будущем. Потому что если время в различных ИСО одинаково, то исчезает необходимость процесса синхронизации часов, процедура обязательная в СТО, которая и является причиной всех парадоксов СТО. Вместо постулата о различном течении времени, в различных ИСО, предлагается постулат, о запаздывании взаимодействия между движущимися электрическими зарядами (эффект Доплера для поля).

При этом можно достоверно утверждать, что сам принцип запаздывания никем не опровергается и ничему не противоречит, в отличие от постулатов СТО, которые явно противоречат аксиомам классической физики об абсолютности времени в любых ИСО.

Примечательно то, что в случае принятия постулата о запаздывании взаимодействия устраняются разделения на классическую электродинамику Максвелла и релятивистскую электродинамику, основанную на постулатах СТО.

К слову, в квантовой электродинамике, которая является третьим разделом современной электродинамики, нет необходимости доказывать постулат о существовании эффекта Доплера для поля. В квантовой электродинамике фотоны являются калибровочными бозонами электромагнитного поля.

«В КЭД взаимодействие электромагнитного поля и заряженной частицы предстает в виде испускания и поглощения частицей виртуальных фотонов. А взаимодействие между заряженными частицами толкуется как результат их обмена фотонами: каждая заряженная частица испускает фотоны, которые затем поглощаются другой заряженной частицей» [5, с. 365].

Т.о., в КЭД взаимодействие сводится к излучению и поглощению фотонов, а для фотонов доказано существование эффекта Доплера, значит, в рамках КЭД преобразования Лоренца являются прямым следствием эффекта Доплера, не требующем дополнительных доказательств.

Перейдем к различному виду уравнений силы Лоренца в различных разделах электродинамики.

Как сказано выше предлагаемая форма уравнения силы Лоренца записывается в виде (3). В классической электродинамике скорость движения зарядов мала по сравнению со скоростью свет, поэтому правую часть (3) можно разложить в ряд Маклорена по степеням малости v^2/c^2 .

Используя известное разложение квадратного корня в биномиальный ряд:

$$\frac{1}{\sqrt{1 \pm x}} = (1 \pm x)^{-\frac{1}{2}} = 1 - \frac{x}{2} + \frac{3 * x^2}{4 * 2!} - \frac{15 * x^3}{8 * 3!} + \dots \quad (4)$$

Ограничиваясь степенями не выше первой, получим:

$$F = \frac{F_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = F_0 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} F_0. \quad (5)$$

Здесь F_0 – сила взаимодействия неподвижных зарядов (сила Кулона).

Подставляя силу кулона в (5) в явном виде, получим в системе СГСЭ:

$$F = \frac{F_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = F_0 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} F_0 = \frac{q_1 q_2}{r^2} - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (6)$$

где q_1, q_2 – заряды частиц; r – расстояние между частицами; v – скорость частицы; c – скорость света.

Обсуждение результатов

Последнее уравнение – это закон взаимодействия движущихся частиц, при малых скоростях (нерелятивистский случай). Первый член – это сила электростатического взаимодействия, второй – магнитная сила. Принципиальное отличие от принятой в литературе формы силы Лоренца в том, что присутствует коэффициент $1/2$, и магнитная сила (второй член уравнения (6)) зависит от квадрата расстояния.

Но в макродинамике Максвелла при определении силы Лоренца используется случай взаимодействия движущейся заряженной частицы с бесконечным проводом с током. Провод с током представляет собой поток движущихся электронов, так что для вывода формулы взаимодействия необходимо проинтегрировать все силы элементарных взаимодействий.

При взаимодействии движущегося заряда с проводником нужно учитывать, что проводник электрически нейтрален, поэтому первый член уравнения (6) можно опустить, т.к. суммарный электростатический заряд провода равен нулю.

В результате интегрирования по длине провода вместо квадрата расстояния в знаменателе появляется первая степень расстояния. Другими словами, если взаимодействуют точечные заряды, то сила зависит от квадрата расстояния, а если точечный заряд взаимодействует с заряженным бесконечным проводом, то сила зависит от первой степени расстояния [2, с. 12].

Т.о. при взаимодействии движущегося заряда и провода с током уравнение (6) преобразуется к виду:

$$F_m = -\frac{1}{2} \int \frac{v^2}{c^2} \frac{q_1 \lambda}{r^2} dl, \quad (7)$$

где F_y – сила взаимодействия движущегося заряда и провода с током; q – заряд; λ – линейная плотность заряда в проводе; v – скорость заряда; v_0 – скорость зарядов в проводе; r – расстояние от заряда до провода; c – скорость света.

Взаимодействие подвижного заряда и провода с током рассмотрено в литературе. Интегрирование по длине бесконечного провода дает:

$$\frac{4q\lambda v v_0}{rc^2} [7, с. 184]. \quad (8)$$

где q – заряд; λ – линейная плотность заряда в проводе; v – скорость заряда; v_0 – скорость зарядов в проводе; r – расстояние от заряда до провода; c – скорость света.

Подставляя (8) в (7) получим:

$$F_m = -\frac{1}{2} \int \frac{v^2}{c^2} \frac{q_1 \lambda}{r^2} dl = -\frac{1}{2} \frac{4q\lambda v v_0}{rc^2} = -\frac{2q\lambda v v_0}{rc^2}. \quad (9)$$

Преобразуем уравнение (9) к более привычному виду. Для этого подставим в (7):

$$I = \lambda v_0, \quad (10)$$

где I – эл. ток; λ – линейная плотность заряда в проводе; v_0 – скорость переноса электрических зарядов (отрицательных) в проводе.

Тогда получим:

$$F_m = -\frac{2q\lambda v v_0}{rc^2} = -\frac{2qvI}{rc^2}. \quad (11)$$

Подставим значение вектора магнитной индукции \mathbf{B} по формуле:

$$B = \frac{2I}{rc^2}, \quad [11, \text{с. 263}]. \quad (12)$$

После подстановки получим:

$$F_m = -\frac{2qvI}{rc^2} = -qvB \quad \text{или окончательно} \quad F_m = qvB. \quad (13)$$

В случае если на движущийся заряд действует и статическое электрическое поле и «магнитная сила» со стороны провода с током, то уравнение силы Лоренца принимает вид:

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} - q_1 v B. \quad (14)$$

Полученное уравнение - это обычный вид силы Лоренца в макроскопической электродинамике Максвелла.

Выводы

1. Для электродинамики нет никакой необходимости вводить специальные постулаты СТО, о разном течении времени в движущихся системах. Достаточно признать существование поперечного эффекта Доплера для электрического поля. В этом случае, для взаимодействия движущихся зарядов обозначение t' означает не «местное время», как это принято в СТО, а запаздывание. Другими словами, движущиеся заряды взаимодействуют не на расстоянии действительного положения в момент времени t , а в предыдущий момент времени t' .
2. Преобразования Лоренца в релятивистской электродинамике появляются в результате существования поперечного эффекта Доплера для электрического поля. А не объясняются выводами из постулатов СТО.
3. Действие эффекта Доплера в квантовой электродинамике (КЭД) не требует доказательств, ввиду того, что сила взаимодействия для зарядов в КЭД объясняется излучением и поглощением фотонов, для которых поперечный эффект Доплера доказан.

4. Уравнение силы Лоренца в релятивистской электродинамике:

$$F_{\perp} = \gamma \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

$$\text{где } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

5. В классической электродинамике если $v \ll c$ выражение для силы Лоренца можно разложить в ряд Маклорена по степеням v^2/c^2 . В результате разложения получится выражение силы Лоренца для взаимодействия движущихся зарядов при малых скоростях движения:

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

6. Выражение для взаимодействия движущегося заряда и бесконечного провода с током представляется в виде выражения силы Лоренца:

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} - q_1 v B.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы. - М.: Лаборатория базовых знаний. 1999. 256 с.
2. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. - М.: Высш. шк. 1991. 290 с.
3. Кочетков А.В., Федотов П.В. Проблемы гармонизации радикальных противоречий в аксиоматике естественных наук. - М.: Машиностроение. 2015. 320 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. Т. II. Теория поля. - М.: Наука. 1988. 512 с.
5. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания. - М.: Гардарики. 2001. 622 с.
6. Пановский В., Филипс М. Классическая электродинамика. - М.: Физматгиз. 1993. 432 с.
7. Парселл Э. Берклеевский курс лекций. Электричество и магнетизм. - М.: Наука. 1972. 420 с.
8. Сивухин В.Д. Общий курс физики Электричество. т. III. - М.: Наука. 1977. 704 с.
9. Топтыгин И.Н. Современная электродинамика, часть 1. Микроскопическая теория. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2002. 736 с.
10. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып.5. Электричество и магнетизм. - М.: Мир. 1966. 292 с.
11. Фейнмановские лекции по физике Вып. 6. Электродинамика. - М.: Мир. 1966. 339 с.
12. Шарипов Р.А. Классическая электродинамика и теория относительности /Изд-е Башкирского ун-та. – Уфа. 1997. 164 с.
13. Новое в эффекте Доплера: принцип зеркальности и общие уравнения (в порядке дискуссии) / Кочетков А.В., Федотов П.В. / Интернет-журнал Науковедение. 2012. №4 (13). С. 78.

Рецензент: Кокодеева Наталия Евсегнеевна, доктор технических наук, профессор, ФГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

Kochetkov Andrej Viktorovich
Perm national research polytechnical university
Russia, Perm
E-mail: soni.81@mail.ru

Fedotov Petr Viktorovich
JSC Research Center of Technical Regulation
Russia, Perm
E-mail: klk50@mail.ru

About Lorentz force in various sections of electrodynamics

Abstract. The uniform concept of Lorentz forces in various sections of electrodynamics is offered: classical, relativistic and quantum.

It is shown that in relativistic electrodynamics Lorentz force appears because of existence of effect of Dopler for the field offered by authors in the previous articles. Unlike Dopler's effect for waves for which Dopler's effect leads to change of frequency of the accepted signal, Dopler's effect for a field leads to change of force of interaction between charges. The reason of change of force in delay of interaction as a result of which charges interact proceeding not from real situation, and with delay, proceeding from the previous situation. The size of delay depends on the speed of the movement of charges.

It is shown that size of delay corresponds to the amendment of transformations of Lorentz. In other words, Lorentz's transformations is that other, as the accounting of effect of Dopler for a field. T.o. the concept of relativistic electrodynamics changes. Instead of postulates on a miscellaneous the current of time in moving systems as it is accepted in HUNDRED, is introduced interaction delay. Since, Lorentz's transformations remain invariable, all mathematical apparatus of relativistic electrodynamics remains invariable. It is shown that the modern form of Lorentz force in classical electrodynamics is a result of decomposition of relativistic Lorentz force in a row Maklorena on v^2/c^2 trifle degrees.

Keywords: lorentz force; electrodynamics; Maxwell's equations; interaction of charges; conductor; delay of time; delay; interpretation; cross effect of Dopler.

REFERENCES

1. Irodov I.E. Volnovye protsessy. Osnovnye zakony. - M.: Laboratoriya bazovykh znaniy. 1999. 256 s.
2. Irodov I.E. Osnovnye zakony elektromagnetizma. - M.: Vyssh. shk. 1991. 290 s.
3. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Problemy garmonizatsii radikal'nykh protivorechiy v aksiomatike estestvennykh nauk. - M.: Mashinostroenie. 2015. 320 s.
4. Landau L.D., Lifshits E.M. Teoreticheskaya fizika. V 10 t. T. II. Teoriya polya. - M.: Nauka. 1988. 512 s.
5. Naydysh V.M. Kontseptsii sovremennogo estestvoznaniya. - M.: Gardariki. 2001. 622 s.
6. Panovskiy V., Filips M. Klassicheskaya elektrodinamika. - M.: Fizmatgiz. 1993. 432 s.
7. Parsell E. Berkleevskiy kurs lektsiy. Elektrichestvo i magnetizm. - M.: Nauka. 1972. 420 s.
8. Sivukhin V.D. Obshchiy kurs fiziki Elektrichestvo. t. III. - M.: Nauka. 1977. 704 s.
9. Toptygin I.N. Sovremennaya elektrodinamika, chast' 1. Mikroskopicheskaya teoriya. - Moskva-Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy. 2002. 736 s.
10. Feynman R., Leyton R., Sands M. Feynmanovskie lektsii po fizike. Vyp.5. Elektrichestvo i magnetizm. - M.: Mir. 1966. 292 s.
11. Feynmanovskie lektsii po fizike Vyp. 6. Elektrodinamika. - M.: Mir. 1966. 339 s.
12. Sharipov R.A. Klassicheskaya elektrodinamika i teoriya otnositel'nosti /Izd-e Bashkirskogo un-ta. – Ufa. 1997. 164 s.
13. Novoe v effekte Doplera: printsip zerkal'nosti i obshchie uravneniya (v poryadke diskussii) / Kochetkov A.V., Fedotov P.V. / Internet-zhurnal Naukovedenie. 2012. №4 (13). S. 78.