

О переносе энергии электрическим током

А.К. Юхимец, E-mail: Anatoly.Yuhimec@Gmail.com

«Мы должны найти такой приём исследования, при котором мы могли бы сопровождать каждый свой шаг ясным физическим изображением явления».

Д.К. Максвелл

Для начала решим простую задачу.

Имеем источник электрического тока напряжением 220 В. Подключаем к нему нагрузку с сопротивлением 220 Ом. В цепи возникает ток в 1А. Далее выполняем простой расчёт [1]. Прежде всего, ток в $1A = 1 Кл / сек = 6,24146 \cdot 10^{18} e / сек$. 1 электрон (1e), преодолевая напряжение в 1В, приобретает энергию $1eB = 1,602 \cdot 10^{-12} эрг$. Пройдя напряжение 220 В каждый электрон получит энергию $3,5244 \cdot 10^{-10} эрг / e$. Следовательно, все электроны тока будут приобретать в источнике, а потом и переносить к потребителю энергию $2,2 \cdot 10^9 эрг / сек$, или $220 Дж / сек = 220 Вт$. Т.е. это и есть мощность нашей нагрузки.

Но возникает вопрос: как всё же конкретно электрическим током переносится к нагрузке энергия? Казалось бы, всё просто и понятно. Энергию переносят электроны. Об этом говорит расчёт. Он на этом построен. Но ведь электроны, как сегодня считается, перемещаются во всей цепи со скоростью в десятые доли см/сек. Тогда какую же энергию они переносят к потребителю? И в чём заключается сам механизм переноса энергии?

Ведь ясно же, что это не кинетическая энергия движения электронов. Во-первых, слишком мала их скорость (доли см в сек). Во-вторых, если бы они отдавали свою кинетическую энергию, то прекращали бы своё движение в потребителе. Кроме того, если энергию переносит заряд из электронов, то каким образом ток в цепи с передачей энергии возникает практически мгновенно после включения цепи, если электроны в цепи едва передвигаются?

Так в каком же виде электроны приобретают энергию в источнике (за счёт чего?) и как потом передают потребителю?

Я обратился с просьбой ответить на мои вопросы к нескольким довольно серьёзным специалистам по электродинамике. Все они дали мне разные ответы, так ничего и не прояснив по сути заданных вопросов. Правда, один из них (доцент МГТУ им Н.Э. Баумана) всё же сослался на то, что к передаче энергии как-то причастен вектор Пойнтинга. Но ничего конкретного к моему расчёту тоже не добавил.

И действительно, например, в «Лекциях» Р. Фейнмана показано [2], что энергия не переносится током, а поступает в нагрузку извне тем, что и получило название вектора Пойнтинга. Тогда какую конкретно энергию он переносит? И в чём физический механизм переноса этой энергии? Фейнман не смог ответить на эти вопросы и назвал это «довольно странной теорией». И всё это остаётся весьма загадочным и по сей день. И уж никак не связано с теорией электропроводности немецкого физика П. Друде, на которую сослался, тоже ничего более конкретного не добавив, один из д.т.н.

Давайте всё же попробуем конкретно привлечь к решению затронутых вопросов упомянутый выше вектор Пойнтинга, исходя из того, что в электродинамике считается установленным довольно надёжно. Будем считать, что ток у нас постоянный, а нагрузкой является однородный металлический провод длиной L . Тогда при напряжении U на его концах вдоль провода установится электрическое поле с постоянной напряжённостью $E = U/L$ В/м. А так как по проводу протекает ток $I=1$ А, то вокруг провода создаётся поле магнитной индукции, определяемой из эмпирически найденного закона Ампера, записанное у Фейнмана [3, с. 266] как $B = \frac{\mu_0 2I}{4\pi r}$, (1)

где: μ_0 - магнитная постоянная вакуума, а r – радиус, на котором измеряется B .

Формула (1) легко выводится из закона Ампера для постоянных условий протекания тока, который можно записать как $\nabla \times B = \mu_0 j$, где j – плотность тока в цепи. Тогда при радиусе r для B можем записать $\frac{2\pi r B}{\pi r^2} = \frac{\mu_0 I}{\pi r^2}$. Откуда и получим выражение (1). Напряжённость магнитного поля, а значит и магнитная индукция, спадает обратно пропорционально r , расстоянию от оси проводника.

Возвращаясь снова к нашей задаче, вектор Пойнтинга для потока энергии, поступающей в проводник с радиусом r , можем записать как

$$S_{II} = \frac{1}{\mu_0} E \times B = \frac{1}{\mu_0} \frac{U \mu_0 I}{L 2\pi r} = \frac{UI}{S_{пров}}. \text{ Что и даёт нам мощность, поступающую к}$$

нагрузке через поверхность проводника $S_{пр}$. И это есть энергия *электромагнитного поля*, окружающего и пронизывающего проводник. Электрическая напряжённость E распространяется вдоль проводника практически мгновенно после включения цепи. При этом сразу же начинают смещаться и электроны.

Это и есть сегодня полное решение задачи согласно ортодоксальной версии природы электрического тока. Кроме того, согласно этой версии, якобы по проводнику, как жидкость в трубопроводе, смещается *электронный газ*. И если сила тока 1А, то с одного конца проводника в него входит $6,241418 \cdot 10^{18} e/сек$, а с другого конца столько же $e/сек$ и выходит, что и подтвердил один из специалистов по электродинамике (д.т.н.). И такое якобы циклическое движение *электронного газа*, причём против направления E в цепи, и есть электрический ток. В то же время, плотность тока j как вектор, совпадает с направлением E .

Но, как мы видим, такое решение не даёт ответов на поставленные выше вопросы. Более того, оно прямо указывает на то, что вакуум является *физической динамической средой*. А это, в свою очередь, вступает в прямое противоречие с всё ещё общепринятой ортодоксальной трактовкой *специальной теории относительности* (СТО). Поэтому назовём указанную среду эфиром. И, используя уже разработанные мною ранее модели эфирного заряда [4] и эфирного электрона [5], покажу как можно построить другую физически наглядную версию электрического тока в проводнике.

В работе [5] уже наглядно было показано, что электрон может быть представлен как кольцевой ток, образуемый движением эфирного элементарного заряда e на радиусе r_e вокруг создаваемой его же движением магнитной индукции B_e . При этом то, что считается полем магнитной индукции (магнитным полем), якобы возникающим вокруг тока, фактически присуще самой природе заряда e . Оно создаётся самим торковым движением эфирной массы заряда. А так как и дальше нам понадобится подробно рассмотреть и другие движения в электроне, то покажем здесь это ещё раз, рис. 1.



Рис. 1. Магнитное поле тока электрона; заряд e движется по кольцу с радиусом r_e от нас.

Магнитная индукция вокруг тока в электроде $B_{TЭ}$ исходит от торового вращения самой массы заряда e . При этом на самом заряде его торовая индукция равна $B_{mз} = \frac{m_e c}{e r_0}$, где: m_e - масса электрона, c - скорость света, r_0 - классический радиус электрона. А вращение эфира, исходящее от торового вращения заряда, рис. 2, создаёт уже магнитную индукцию тока электрона $B_{TЭ}$, показанную на рис. 1.

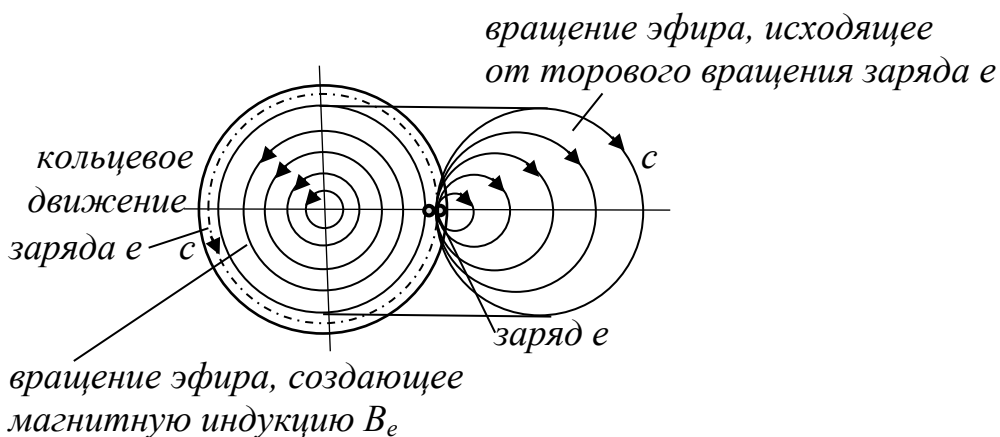


Рис. 2. Вид на электрон со стороны стрелки B_e на рис. 1.

Магнитная индукция от торового вращения заряда спадает, исходя от заряда в зависимости от r , как $B_{mз}(r) = B_{mз} \frac{r_0}{r} = \frac{m_e c}{e \cdot r}$. Но так как заряд движется по кольцу с радиусом r_e циклически, то за каждый цикл своего движения он будет создавать вокруг тока электрона в его каждом условном поперечном сечении магнитную индукцию пропорционально отношению $2r_0/2\pi r_e$. То есть это отношение ширины тороида заряда к длине токового кольца. Тогда магнитная индукция тока электрона в любом его условном поперечном сечении, будучи прямо пропорциональной времени пребывания заряда в нём в течение каждого цикла движения, будет $B_{TЭ}(r) = B_{mз}(r) \frac{2r_0}{2\pi r_e} = \frac{m_e c}{e \cdot r} \cdot \frac{2r_0}{2\pi r_e}$. (2)

Выражение (2) можно преобразовать следующим образом.

$$B_{TЭ}(r) = \frac{m_e c}{e \cdot r} \cdot \frac{2r_0}{2\pi r_e} \cdot \frac{4\pi e}{4\pi e} = \frac{4\pi m_e r_0}{4\pi r \cdot e^2} \cdot \frac{2ec}{2\pi r_e}. \text{ А так как } \frac{4\pi m_e r_0}{e^2} = \mu_0, \text{ а } \frac{ec}{2\pi r_e} = I, \text{ то в}$$

конечном виде $B_{TЭ}(r) = \frac{\mu_0 2I}{4\pi r}$. То есть мы и получили выражение (1).

Но заряд e имеет ещё и кольцевое вращение эфира, создающее магнитную индукцию $B_{кэ}$ электрона. Она тоже распространяется от кольцевого движения электрона, как и показано на рис. 3.

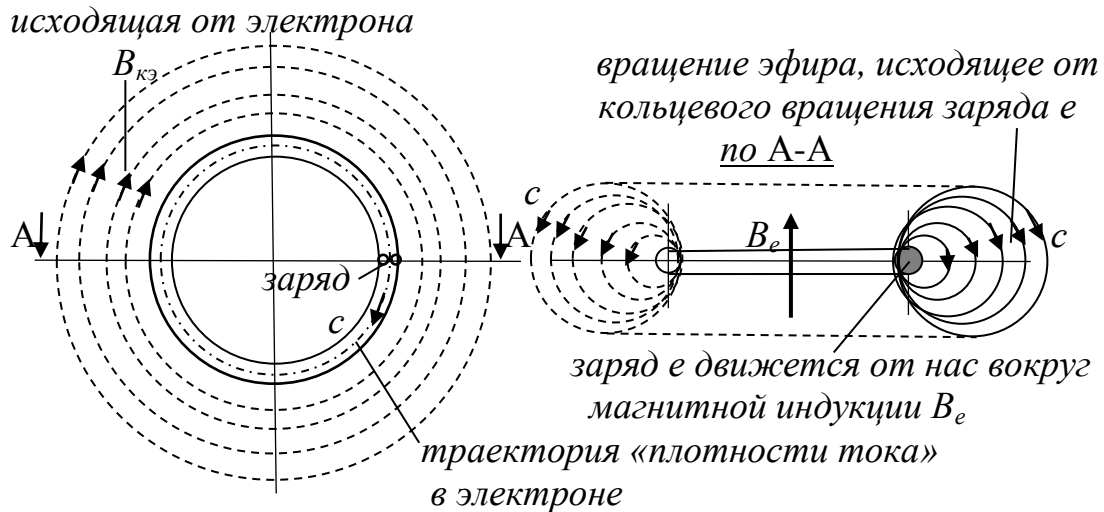


Рис. 3. Исходящая от электрона магнитная индукция $B_{кэ}$.

Здесь также показано и кольцевое вращение эфира вокруг заряда, исходящее от него и создающее уже магнитную индукцию $B_{кэ}$. Эта индукция на самом заряде равна $B_{кэ} = \frac{m_e c}{2er_0}$. Далее, распространяясь от

заряда, она спадает как $B_{кэ}(r) = \frac{m_e c}{2er_0} \cdot \frac{2r_0}{r} = \frac{m_e c}{er}$. А так как заряд движется

в электроне по кольцу $2\pi r_e$ циклически, то от электрона исходит ещё и

его кольцевое магнитное поле $B_{кэ}(r) = B_{кэ}(r) \frac{2r_0}{2\pi r_e} = \frac{m_e c}{er} \cdot \frac{2r_0}{2\pi r_e}$. Его тоже

$$\text{можно выразить в виде } B_{кэ}(r) = \frac{4\pi_0 m_e c}{4\pi r e^2} \cdot \frac{2ec}{2\pi r_e} = \frac{\mu_0 2I}{4\pi r}. \quad (3)$$

И мы со всей наглядностью видим, что поле магнитной индукции ток электрона будет иметь не потому, что заряд *движется*, а потому, что заряд электрона e имеет такое поле уже по своей природе.

Разобравшись, хотя всё ещё и не во всех деталях, с магнитными полями, существующими вокруг электрона, далее мы можем приступить и к рассмотрению того, как можно наглядно представить и ток в проводнике, и магнитное поле вокруг него, рис. 4.

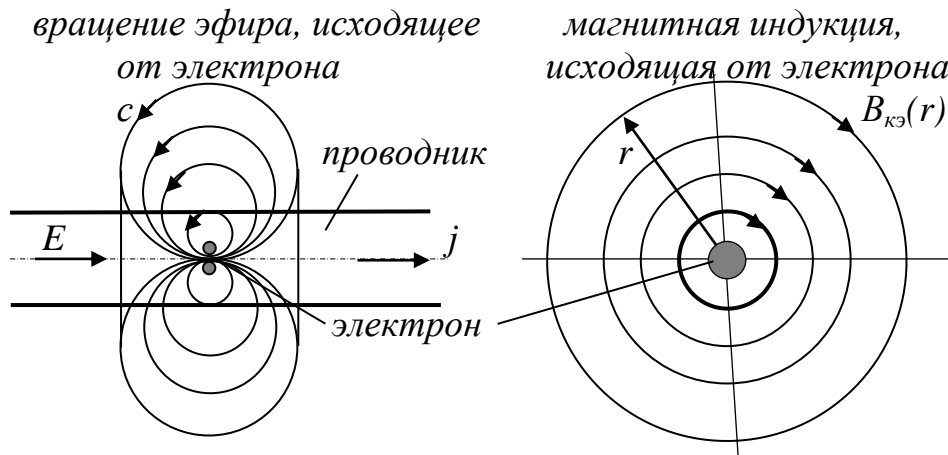


Рис. 4. Электрический ток в проводнике и магнитное поле $B_{кэ}(r)$, исходящее от него.

Формула (3) была получена для расчёта магнитного поля вокруг проводника с током. Но теперь мы видим, что в неё входит *ток в самом электро*не $\frac{ec}{2\pi r_e} = I_e$. А так как заряд электрона $e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$,

то этот ток будет $I_e = \frac{ec}{2\pi r_e} \approx \frac{1,6022 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,86 \cdot 10^{-11}} \approx 19,8286 \text{ А}$. Отсюда сразу

же следует, что если бы в проводнике в каждую секунду через его сечение проходил $1e$, то ток в проводнике был бы равен $I \approx 19,83 \text{ А}$. А из этого уже следует, что при токе в проводнике в 1 А в каждом его условном сечении достаточно всего лишь одного электрона, и то с задержкой его в этом сечении всего лишь на $1/19,83 \approx 0,05043 \text{ сек/сек}$. (4)

Кроме того, совсем не обязательно, чтобы электрон при этом *проходил* сечение проводника. Достаточно, чтобы слабо связанные в материале проводника его валентные электроны под воздействием приложенного к проводнику напряжения (а значит, и напряжённости в нём) в своём внутреннем движении в проводнике, непрерывно изменяя свою пространственную ориентацию, задерживались в сечении на направлении E в соответствии с выражением (4). А само непрерывное изменение пространственной ориентации валентных электронов связано с их тепловым движением внутри проводника. И чем выше его температура, тем интенсивнее это движение и большее сопротивление току оказывает проводник.

Если же в сечение будет попадать сразу несколько электронов, то их суммарное среднее время задержки должно соответствовать току в проводнике. Но так как каждый электрон имеет и вносит в сечение и своё собственное поле напряжённости, то при этом в проводнике

будет локально изменяться и линейная напряжённость сечения как $\partial E/\partial t$. Это будет изменять и указанную выше задержку электронов в сечении по времени, и даже смещать их вдоль линейной E проводника против её направления. Изменение тока при этом, в сравнении с условиями постоянного и неизменного по направлению поля $E = U/L$, и будет давать тот дополнительный ток, что Максвелл назвал *током смещения*.

Тут же можно рассмотреть и то, как принципиально возникают и силы взаимодействия между проводниками с токами. Наглядно это можно показать следующим образом, рис. 5.

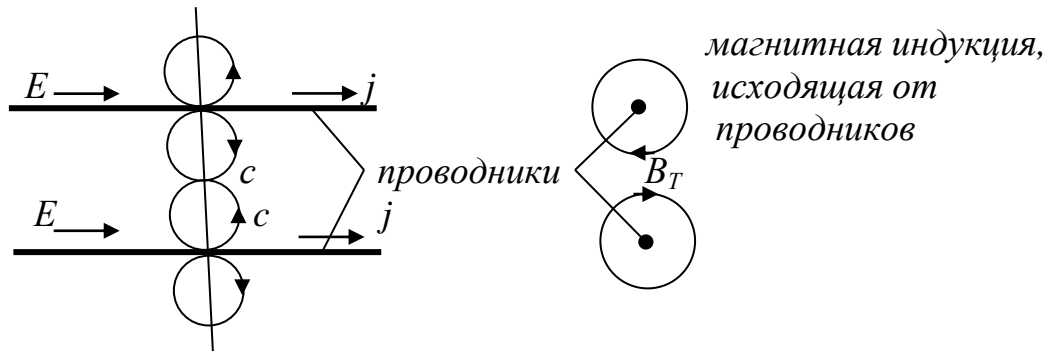


Рис. 5. Два проводника с параллельными токами.

На рисунке условно показано лишь одно поперечное сечение проводников и исходящее от них вихревое вращение эфира, создающее также исходящую от них магнитную индукцию токов B_T . При этом за счёт совпадения направлений движения эфира в местах соприкосновения вихрей между проводниками создаётся разрежение. И внешнее избыточное давление эфира создаёт силу *подталкивания* проводников друг к другу. И нет ни какой *мистической силы притяжения* однонаправленных токов в проводниках. А при противоположно направленных токах в проводниках между ними создаются уже эфирные силы их *расталкивающие*.

Итак, векторы E_{np} и B_T дают, направленный внутрь проводника, вектор Пойнтинга S_{II} , рис. 6. Он и показывает нам, что энергия переносится из окружающего проводник эфирного электромагнитного поля внутрь проводника.

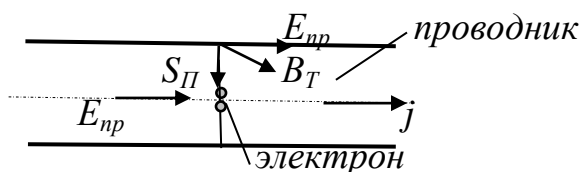


Рис. 6. Вектор Пойнтинга на поверхности проводника.

Однако мы ещё не получили ответы на все, поставленные в самом начале, вопросы. Но учитывая то, что всякая принципиально новая информация усваивается лучше в малых дозах, и чтобы не отягощать статью, на этом пока и остановимся. А версию механизма переноса энергии электрическим током непосредственно к потребителю уже в самом проводнике рассмотрим в отдельной работе.

Ссылки:

1. Размерности электромагнитных величин и новая запись закона Кулона. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12813.html>
2. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Ч. 6. Электродинамика. М.: «Мир», - 1977.
3. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Ч. 5. Электромагнетизм. М.: «Мир», - 1977.
4. Физическая модель электрического заряда.
<http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/151213202104.pdf>
5. Структура движения электрона.
<http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/160326203956.pdf>