Теория движения электромагнитного поля. 10. Энергия движения электромагнитного поля

Л.Н. Войцехович

В работе на примере плоского электрического конденсатора рассмотрена зависимость энергии электромагнитного поля от скорости его движения. Основываясь на требовании соответствия свойств электромагнитного поля законам специальной теории относительности, получены общие выражения для энергии поля, плотности потока энергии при движении электрических и магнитных компонент поля и некоторых других свойств уравнений электромагнитного поля, связанных с его движением. Полученные результаты позволяют сделать вывод о равенстве масс электрона, полученных из уравнения его импульса и из уравнения для релятивистской энергии, решая тем самым известное противоречие. Кроме того, эти результаты позволяют сделать вывод, что все основные законы релятивистской механики, справедливые для вещества, справедливы и для электромагнитного поля.

10.1. Введение

В предыдущих работах настоящего цикла, в частности [1, 2], мы описали некоторые из свойств электрона. Однако имеется еще один не рассмотренный ранее парадокс, противоречие классической теории электромагнитного поля, связанное с движением электрона, поэтому необходимо вернуться к изучению свойств электромагнитного поля, а именно к энергии его движения.

По-видимому, в большинстве монографий, посвященных классической теории электромагнитного поля, в той или иной мере затрагивается вопрос об электромагнитной массе электрона. Выделим две из таких монографий. Этот вопрос и, в частности, гипотеза Кауфмана о том, что вся масса электрона электромагнитная, подробно рассматривается Лоренцем [3]. Тот же вопрос с более современных позиций затрагивается Фейнманом в [4]. Проблема, как отмечает Фейнман, заключается в том, что электромагнитная масса электрона, вычисленная из электромагнитного импульса электрона, не равна массе, полученной из уравнения для энергии электрона. Это внутреннее противоречие классической теории электромагнитного поля. Проблему не решает, как подчеркивает Фейнман, и квантовая теория. В [4] приводится описание попыток устранить противоречие существованием внутренних сил, природа которых отлична от электромагнитных, и отмечается слабость этих попыток.

В действительности противоречие еще более глубокое, чем об этом говорит Фейнман: общепринятый метод расчета электромагнитной массы электрона и, следовательно, энергии и массы электромагнитного поля приводит к нарушению законов сохранения энергии и импульса. Покажем это на примере расчета энергии заряженного плоского конденсатора. Поскольку нашей конечной целью является не только критика современных воззрений, но и получение новых результатов, свободных от существующих противоречий, то сделаем несколько общих замечаний предварительного характера.

10.2. Электрический конденсатор

В настоящей работе ограничимся рассмотрением случая единственного источника электромагнитного поля на примере электрического конденсатора, размещенного в инерциальной системе отсчета. В случае более чем одного источника поля в соответствии с принципом суперпозиции, изложенном в [5], необходимо рассмотреть каждый из источников отдельно и независимо от других.

Используем понятия собственного поля и собственной скорости.

В общем случае электромагнитное поле имеет две компоненты, электрическую и магнитную. В случае одного источника поля, а именно этот случай мы и рассматриваем, существует инерциальная система отсчета, в которой остается лишь одна из компонент, электрическая или магнитная. Будем называть эту компоненту собственным полем источника, или просто собственным полем. Это поле источника в собственной системе отсчета, в которой источник неподвижен. Скорость собственной системы отсчета относительно лабораторной системы отсчета будем называть собственной скоростью источника поля или, абстрагируясь от источника поля, но всегда подразумевая его существование, собственной скоростью электромагнитного поля. В случае неинерциальной собственной системы отсчета необходимо, как это общепринято, рассматривать электромагнитное поле в каждой точке в мгновенно сопутствующей инерциальной системе отсчета. Тогда полученные ниже выводы можно распространить и на случаи неинерциальной системы отсчета.

Вспомним некоторые известные свойства инвариантов I_1 и I_2 электромагнитного поля:

$$I_1 = c^2B^2 - E^2, \tag{10.1}$$

$$I_2 = \mathbf{BE} = 0, \tag{10.2}$$

где B – индукция магнитного поля, E – напряженность электрического поля, а c – электромагнитная константа (скорость света в вакууме). Отметим, что инвариант I_2 в выражении (10.2) в случае единственного источника поля всегда равен нулю, так как в этом случае векторы $\mathbf{B}$ и $\mathbf{E}$ ортогональны. Если инвариант I_1 в выражении (10.1) больше нуля, то собственное поле – магнитное, если I_1 меньше нуля, то собственное поле – электрическое. Будем обозначать собственные значения скорости, величины магнитного и электрического поля соответственно V_0, B_0 и E_0.

Перейдем к расчету электромагнитной массы заряженного конденсатора. Поскольку масса покоя m_0 и энергия W связаны между собой простым известным соотношением

$$W = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-V^2/c^2}}, \tag{10.3}$$

где V – скорость, то вычисление электромагнитной массы сводится к вычислению энергии электромагнитной энергии движущегося конденсатора.

Плоский конденсатор C (рис. 10.1) с однородным электрическим полем $\mathbf{E}$ движется в лабораторной системе отсчета xyz со скоростью $\mathbf{V}$. На рисунке 10.1*a* направление скорости и вектор напряженности электрического поля $\mathbf{E}$ параллельны друг другу, а на рисунке 10.1*b* – перпендикулярны. Энергия материала обкладок конденсатора заведомо подчиняется уравнению (10.3), поэтому исключим из рассмотрения эту энергию и проверим, подчиняется ли уравнению (10.3) энергия электромагнитного поля конденсатора.

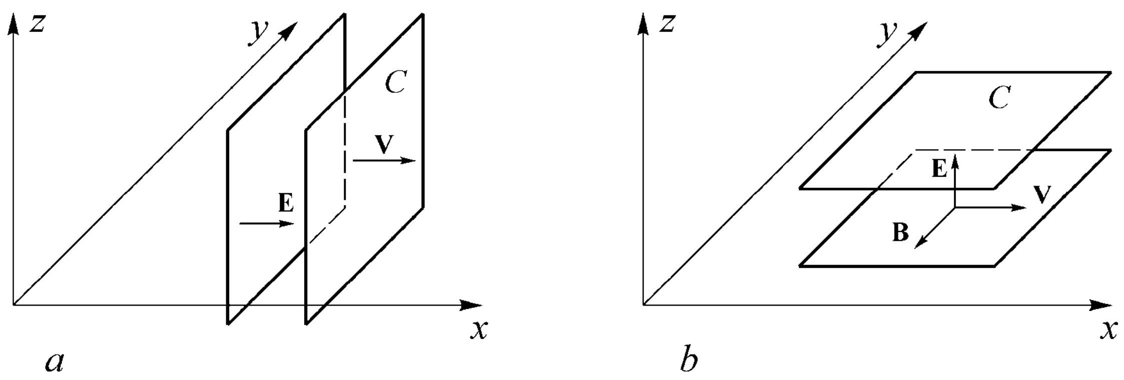

Рис. 10.1. Плоский конденсатор C движется вдоль оси x со скоростью $\mathbf{V}$.
a – направление скорости и вектор напряженности электрического поля $\mathbf{E}$ параллельны друг другу;
b – направление скорости и вектор напряженности электрического поля перпендикулярны.

Выражение в числителе (10.3) представляет собой энергию покоя. Энергия покоя W_0 электрического поля конденсатора, как известно, определяется выражением

$$W_0 = \frac{\varepsilon_0 E_0^2 L_0}{2}, \tag{10.4}$$

где E_0 – собственное электрическое поле конденсатора, ε_0 – электрическая постоянная и L_0 – объем, занимаемый электрическим полем конденсатора в собственной системе отсчета.

Энергия покоя в (10.3) равна числителю этого выражения m_0c^2. Подставляя в (10.3) вместо m_0c^2 выражение для энергии покоя W_0 (10.4), получим:

$$W = \frac{\varepsilon_0 E_0^2 L_0}{2\sqrt{1-V^2/c^2}}. \tag{10.5}$$

Такая замена правомерна. Поместим наш заряженный конденсатор в черный ящик. Выражение (10.3) справедливо с точки зрения специальной теории относительности (СТО) для черного ящика независимо от того, какую природу имеет энергия, заключенная в нем. Следовательно, справедливо для заряженного конденсатора и выражение (10.5), причем справедливо вне зависимости от ориентации черного ящика и, следовательно, от ориентации заключенного в нем электрического поля.

Мы получили выражение (10.5) для полной энергии заряженного конденсатора, имеющего в лабораторной системе отсчета скорость V. Это выражение мы получили, исходя из общих законов СТО. Теперь получим выражение для энергии поля конденсатора, исходя из известных законов теории электромагнитного поля.

В случае, когда векторы $\mathbf{V}$ и $\mathbf{E}_0$ параллельны (рис 10.1*a*), электрическое поле $\mathbf{E}$, как следует из преобразований Лоренца для электромагнитного поля, в лабораторной системе отсчета равно:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0, \tag{10.6}$$

а магнитное поле отсутствует.

В случае, когда векторы $\mathbf{V}$ и $\mathbf{E}_0$ перпендикулярны (рис. 10.1*b*), электрическое поле $\mathbf{E}$ равно:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{E}_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \tag{10.7}$$

а магнитное поле $\mathbf{B}$ равно:

$$\mathbf{B} = \frac{\frac{1}{c^2}[\mathbf{V}\mathbf{E}_0]}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}. \tag{10.8}$$

Объем L, который занимают поля E и B, во всех случаях равен:

$$L = L_0\sqrt{1 - V^2/c^2}, \tag{10.9}$$

поскольку поперечные размеры при его движении сохраняются, а продольный размер уменьшается, как приведено в (10.9).

Тогда энергия электрического поля конденсатора $W_{\parallel}'$ при его продольном движении равна произведению плотности энергии на объем L:

$$W_{\parallel}' = \frac{\varepsilon_0 E^2 L}{2} = \frac{\varepsilon_0 E_0^2 L_0 \sqrt{1 - V^2/c^2}}{2}. \qquad (10.10)$$

Здесь учтены выражения (10.6) и (10.9).

В случае перпендикулярного движения энергия электромагнитного поля конденсатора $W_{\perp}'$ равна сумме энергий электрического поля и магнитного поля:

$$W_{\perp}' = \frac{\varepsilon_0 E^2 L}{2} + \frac{B^2 L}{2\mu_0} = \frac{\varepsilon_0 L}{2}\left(E^2 + c^2 B^2\right), \qquad (10.11)$$

где μ_0 –магнитная постоянная, а также учтено, что $1/\mu_0 = \varepsilon_0 c^2$.

Подставляя в (10.11) значения E, B и L соответственно из (10.7), (10.8) и (10.9), после несложных преобразований получим:

$$W_{\perp}' = \frac{\varepsilon_0 E_0^2 L_0 \left(1 + V^2/c^2\right)}{2\sqrt{1 - V^2/c^2}}. \qquad (10.12)$$

Сопоставляя (10.10) и (10.12) с (10.5), оказывается, что $W_{\parallel}' < W < W_{\perp}'$. Это означает, что, по-разному ориентируя наш черный ящик с помещенным внутри заряженным конденсатором, мы получим разные значения энергии черного ящика и, следовательно, разные значения импульса, что означает нарушение фундаментальных физических законов – законов сохранения энергии и импульса.

Отсюда становятся понятной причина несоответствия электромагнитной массы классического электрона и его массы, определяемой теорией относительности.

Рассмотрим возможные причины того, что выражения (10.10) и (10.12) противоречат закону сохранения энергии. Вывод этих уравнений основан на безупречных законах теории относительности и электромагнетизма, отвергать которые – это значит вступать в противоречие с современной теории электромагнитного поля. Есть только одно «но»: выражения для энергии электрического и магнитного поля получены в классической теории *при условии неподвижности* этих полей. Это условие никогда не высказывается явно, но всегда неявно подразумевается. За исключением достаточно многочисленных и неудачных попыток определения электромагнитной массы электрона, никто, насколько мы знаем, не пытался рассчитать энергию электрического и магнитного полей в зависимости от их скорости. Наиболее детально парадокс, связанный с электромагнитной массой электрона, рассмотрен в [4].

10.3. Энергия движущегося электромагнитного поля

Сделаем одно предварительное замечание, после чего перейдем к расчету энергии движущегося электромагнитного поля.

Законы электромагнетизма для вакуума приобретают симметричный вид относительно электрического и магнитного полей, если величину электрического поля характеризовать напряженностью E, а величину магнитного поля – произведением cB. При этом из уравнений исчезает не имеющая физического смысла магнитная постоянная μ_0, а в выражении для плотности энергии магнитного поля появляется величина ε_0. В частности, так произошло в выражении (10.11). При таком подходе величину ε_0 следует считать не электрической, а электромагнитной постоянной, второй электромагнитной постоянной наряду с электромагнитной постоянной c.

Как мы показали выше, выражения (10.10) и (10.12) не совпадают с (10.5), что противоречит закону сохранения энергии. Для согласования этих выражений с выражением (10.5), которое является заведомо справедливым, введем неизвестные согласующие функции $f_1(V)$ и $f_2(V)$ такие, чтобы выполнялось двойное равенство

$$W'_{\parallel} f_1(V) = W = W'_{\perp} f_2(V) \qquad (10.13).$$

Найдем функции $f_1(V)$ и $f_2(V)$.

Для случая на рис. 10.1*a*, когда **E** и **V** параллельны, умножим выражение (10.10) на $f_1(V)$ и приравняем полученное выражение выражению (10.5):

$$\frac{\varepsilon_0 E_0^2 L_0 \sqrt{1-V^2/c^2}}{2} f_1(V) = \frac{\varepsilon_0 E_0^2 L_0}{2\sqrt{1-V^2/c^2}}, \tag{10.14}$$

откуда

$$f_1(V) = \frac{1}{1-V^2/c^2}. \tag{10.15}$$

Аналогично для случая перпендикулярности **E** и **V** (рис. 10.1*b*), умножим выражение (10.12) на $f_2(V)$ и приравняем полученное выражение выражению (10.5). В результате получим

$$\frac{\varepsilon_0 E_0^2 L_0 \left(1+V^2/c^2\right)}{2\sqrt{1-V^2/c^2}} f_2(V) = \frac{\varepsilon_0 E_0^2 L_0}{2\sqrt{1-V^2/c^2}}, \tag{10.16}$$

откуда

$$f_2(V) = \frac{1}{1+V^2/c^2}. \tag{10.17}$$

Таким образом, подставляя в (10.10) и (10.12) функции $f_1(V)$ и $f_2(V)$ из (10.15) и (10.17), мы придем во всех случаях к выражению для энергии электромагнитного поля (10.5). Это выражение справедливо и для произвольного направления электрического поля, так как его можно разложить на две составляющие, параллельную и перпендикулярную направлению движения, а для каждой составляющей в отдельности выражение (10.5) справедливо.

Все приведенные выше расчеты проводились на примере электрического конденсатора. Это было сделано лишь для большей наглядности. Обкладки конденсатора подчиняются всем законам релятивистской механики и поэтому они могут быть исключены из рассмотрения. Разумеется, вместо конденсатора может быть выбран бесконечно малый элемент поля, для которого все выводы справедливы, а затем произведено суммирование по всему объему поля произвольной конфигурации, в частности, для точечного заряда (электрона), все результаты будут также справедливы. Наконец, при замене E_0 на cB_0, как отмечалось выше, выражение (10.5) будет справедливо и для магнитного поля:

$$W = \frac{\varepsilon_0 c^2 B_0^2 L_0}{2\sqrt{1 - V^2/c^2}}. \qquad (10.18)$$

Из (10.5) и (10.18) с учетом (10.9) получим более привычную форму уравнений для плотности энергии для электрического поля w_e

$$w_e = \frac{\varepsilon_0 E_0^2}{2\left(1 - V^2/c^2\right)} \qquad (10.19)$$

и для магнитного поля w_m

$$w_m = \frac{\varepsilon_0 c^2 B_0^2}{2\left(1 - V^2/c^2\right)}. \qquad (10.20)$$

В случае, если собственное поле электрическое, следует выбирать формулу (10.19) (так как в этом случае cB_0 = 0), если магнитное – формулу (10.20) (в этом случае E_0 = 0). Подчеркнем, что уравнение (10.19) выражает *полную энергию* поля конденсатора вне зависимости от того, что в лабораторной системе в общем случае существует не только электрическое, но и магнитное поле. Аналогичное замечание можно сделать и по отношению к уравнению (10.20).

Выразим плотность энергии через компоненты электромагнитного поля E и B в лабораторной системе отсчета. С этой целью, рассматривая в качестве примера электромагнитное поле с собственным электрическим полем E_0, разделим плотность энергии w на две составляющие:

$$w_e = w_{e\parallel} + w_{e\perp}, \qquad (10.21)$$

]

где $w_{e\parallel}$ – плотность энергии параллельной составляющей электрического поля $E_\parallel$, а $w_{e\perp}$ – перпендикулярной составляющей электрического поля $E_\perp$. Используя для (10.21) выражение (10.19), запишем:

$$w_e = \frac{\varepsilon_0 E_{0\parallel}^2}{2\left(1-V^2/c^2\right)} + \frac{\varepsilon_0 E_{0\perp}^2}{2\left(1-V^2/c^2\right)}, \qquad (10.22)$$

где $E_{0\parallel}$ и $E_{0\perp}$ – соответственно параллельная и перпендикулярная составляющие собственного поля E_0.

Из уравнений (10.6) и (10.7) получим для $E_{0\parallel}$ и $E_{0\perp}$ следующие соотношения:

$$E_{0\parallel} = E_\parallel, \quad E_{0\perp} = E_\perp \sqrt{1-V^2/c^2}, \qquad (10.23)$$

где $E_\parallel$ и $E_\perp$ – соответственно параллельная и перпендикулярная составляющие электрического поля в лабораторной системе отсчета.

Подставляя (10.23) в (10.22), после упрощения получим для случая, когда собственным полем является электрическое поле:

$$w_e = \frac{\varepsilon_0 E_\parallel^2}{2\left(1-V^2/c^2\right)} + \frac{\varepsilon_0 E_\perp^2}{2}. \qquad (10.24)$$

Аналогично можно получить выражение для собственного магнитного поля, мы же воспользуемся уже использовавшимся ранее приемом с заменой E на cB:

$$w_m = \frac{\varepsilon_0 c^2 B_\parallel^2}{2\left(1-V^2/c^2\right)} + \frac{\varepsilon_0 c^2 B_\perp^2}{2}, \qquad (10.25)$$

где $B_{\parallel}$ и $B_{\perp}$ – соответственно параллельная и перпендикулярная составляющие магнитного поля в лабораторной системе отсчета.

Обращает на себя внимание то, что во второй член $w_{e\perp}$ в (10.24) не входит B, хотя в уравнение (10.11) мы его вводили в явном виде, а выражение (10.24) справедливо для полной плотности энергии движущегося конденсатора, так как получено из выражения (10.19) для полной плотности энергии. Это не говорит о том, что вся энергия заключена только в электрической компоненте электромагнитного поля, это свидетельствует лишь о том, что нельзя разделять единую энергию электромагнитного поля одного и того же источника в одном и том же объеме на электрическую и магнитную составляющую, такое разделение может быть только условным.

Найдем выражение для $w_{e\perp}$, в которое в явном виде входит B. С этой целью вернемся ко второму из равенств(10.13). Подставим в него $W'_{\perp}$ из уравнения (10.11) и $f_2(V)$ из (10.17), а затем разделим полученное выражение на объем L и в результате получим выражение для плотности энергии перпендикулярной составляющей электрического поля:

$$w_{e\perp} = \frac{\varepsilon_0\left(E_{\perp}^2 + c^2B^2\right)}{2\left(1+V^2/c^2\right)}. \qquad (10.26)$$

Сюда в явном виде входит и электрическое поле E, и магнитное поле B. У поля B мы опустили нижний индекс, так как магнитное поле в данном случае является вторичным и не может иметь продольной составляющей. Анализируя (10.26), следует проявлять осторожность, так как переменная B в этом выражении не независимая величина, а является функцией составляющей электрического поля $E_{\perp}$ и скорости этого поля V_e (см. (2.3) [6], а также выражение (10.32) ниже по тексту).

Напомним, что все приведенные выше выражения получены для случая, когда имеется только один источник поля, электрический или магнитный. Если скорость источника равна нулю, то все выражения для плотности энергии упрощаются до обычного классического вида.

10.4. Плотность потока энергии

Рассмотрим плотность потока энергии движущегося поля.

Найдем плотность потока энергии w_eV_e из (10.24) для важного случая, когда продольная составляющая электрического поля $E_{\|}$ равна нулю. Подставляя величину скорости $V_e = c^2 B/E$ в (10.24) и опуская нижний индекс у $E_{\perp}$, получим:

$$w_e V_e = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} V_e = \frac{\varepsilon_0 c^2 BE}{2}. \qquad (10.27)$$

Заметим, что правая часть (10.27) равна вектору Пойнтинга, умноженному на коэффициент k=1/2 (см. выражение 8.1 [2]). Коэффициент k=1/2 во всех случаях, когда существует явно выраженный источник поля, электрического или магнитного, и инерциальная система отсчета, относительно которой этот источник неподвижен. Коэффициент k=1 когда такого источника не существует или поле теряет с ним связь. Примером может служить электромагнитная волна, поток энергии от источника постоянного тока в нагрузку по двухпроводной линии или коаксиальному кабелю, электромагнитное поле в стенке керна электрона [2] и др.

К тому же результату придем, если вместо движения электрического поля мы исследуем движение магнитного поля перпендикулярно его направлению, величина вектора Пойнтинга будет определяться тем же выражением (10.27).

Заметим также, что при продольном движении поля (источника поля) использование вектора Пойнтинга как характеристики потока энергии совсем невозможно.

10.5. Свойства уравнений движения электрических и магнитных полей

Рассмотрим еще некоторые любопытные свойства полученных выражений, относящихся к движению электрических и магнитных полей совместно со своими источниками.

Найдем выражение для собственной скорости источника электрического поля (конденсатора).

Из (10.26) следует:

$$w_e V = \frac{\varepsilon_0 \left(c^2 B^2 + E^2 \right)}{2\left(1 + V^2 / c^2\right)} V . \tag{10.28}$$

В числителе (10.28) слагаемые переставлены местами. Приравняв (10.27) и (10.28), получим:

$$\left(c^2 B^2 + E^2 \right) V = c^2 BE \left(1 + V^2 / c^2 \right). \tag{10.29}$$

Рассматривая в уравнении (10.29) собственную скорость V в качестве неизвестной величины, найдем ее:

$$V = c \frac{c^2 B^2 + E^2 \pm \left(c^2 B^2 - E^2 \right)}{2cBE}. \tag{10.30}$$

Заметим, что в числителе (10.30) в круглых скобках записано выражение для инварианта I_1 (10.1). Как известно, это выражение больше нуля, если собственное поле магнитное, и меньше нуля, если собственное поле электрическое.

Из двух значений скорости V в (10.30) в случае источника поля, содержащего элементы из вещества, например, обкладки конденсатора, физический смысл имеет только значение $V \le c$. Это условие выполняется, если знак перед скобками в (10.30) выбирать по следующему правилу. Если инвариант электромагнитного поля в круглых скобках выражения (10.30) больше нуля (собственное поле магнитное), то выбираем знак «–», если меньше нуля (собственное поле электрическое) – то знак «+».

Уравнение (10.30) обобщает полученные нами ранее выражения (2.8) и (2.9) [6] для скорости соответственно электрического и магнитного поля.

Выражение (10.29) замечательно своей симметрией относительно E и cB. Оно получено для случая собственного электрического поля, но оно в равной степени применимо и в случае собственного магнитного поля. Решим его сначала относительно электрического поля, а затем – относительно магнитного. После не слишком громоздких преобразований получим:

$$E=\frac{c^2B}{2V}\left[1+\frac{V^2}{c^2}\pm\left(1-\frac{V^2}{c^2}\right)\right]. \quad (10.31)$$

Выражение (10.31) содержит два корня уравнения (10.29). Если выбрать знак «$+$» перед круглыми скобками, то получим решение для случая с электрическим собственным полем и его скоростью V_e:

$$E=\frac{c^2B}{V_e}. \quad (10.32)$$

Выражение (10.32) находится в полном согласии с полученным нами ранее выражением (2.3) [6].

Если выбрать знак «–», то получим решение для случая с магнитным собственным полем и его скоростью V_m:

$$E=BV_m, \quad (10.33)$$

откуда

$$cB=\frac{c}{V_m}E, \quad (10.34)$$

что полностью согласуется (без учета знака, утерянного при скалярных преобразованиях) с выражением (2.5) [6].

Решить уравнение (10.29) относительно магнитного поля можно тремя способами. Можно решить его так же, как мы решали его относительно электрического поля, можно поступить так же, как и ранее, и произвести замену в (10.31) E на cB и наоборот. Но можно и ничего не делать, так как уравнение (10.34) является уже готовым решениям относительно магнитного поля, невзирая на то, что оно получено исходя из выражения (10.31), полученного для электрического поля. Если заранее не известно, какое поле является собственным, то можно воспользоваться уравнением (10.1) для инварианта I_1, как это было описано выше.

10.6. Заключение

В настоящей работе показано, что в случае движущихся полей, движение которых вызвано движением их источника, классические выражения для плотности энергии справедливы только для нулевой скорости источника. Это, в частности, справедливо для движущегося электрона. Если скорость источника и его поля отлична от нуля, то следует пользоваться следующими формулами:

– (10.19) или (10.20) – когда известным является собственное поле источника;

– (10.24) или (10.25) для полной плотности энергии в случае, когда известны продольная и поперечная составляющие в лабораторной системе отсчета (выражение (10.24) в неявном виде учитывает и магнитное поле, а (10.25) соответственно в неявном виде учитывает электрическое поле).

Выражение (10.27) справедливо для плотности потока энергии при движении источника электрического или магнитного поля. Плотность потока энергии в этом случае равна половинному значению вектора Пойнтинга.

Обобщая полученные выше результаты для полной энергии, энергии покоя и кинетической, электромагнитного поля и результаты предыдущих работ настоящего цикла о движении электрических и магнитных полей, можно сделать следующий важный вывод: *все основные законы релятивистской механики, справедливые для вещества, справедливы и для электромагнитного поля.*

Выводы

1. На примере заряженного электрического конденсатора показано, что расчет по известным формулам полной энергии электрического и магнитного поля для случая, когда эти поля движутся, приводит к результатам, противоречащим законам сохранения энергии и импульса.

2. Получены выражения для плотности энергии электрического и магнитного поля для случая одного движущегося источника поля. Указанные выражения позволяют устранить противоречия между классической теорией электромагнитного поля и специальной теорией относительности при расчете энергии электрических и магнитных полей.

3. Показано, что в случае движения источника электрического или магнитного поля перпендикулярно направлению поля, то плотность потока энергии в лабораторной системе отсчета равна вектору Пойнтинга, умноженному на коэффициент 1/2.

4. Получены соотношения, связывающие величину электрического и магнитного поля и собственную скорость источника поля.

5. Показано, что все основные законы релятивистской механики, справедливые для вещества, справедливы и для электромагнитного поля.

Список литературы

1. Л.Н. Войцехович,Теория движения электромагнитного поля, 6. Электрон, 2, (2013), с. 3. *www.science.by/electromagnetism/rem6rus.pdf*.
2. Л.Н. Войцехович, Теория движения электромагнитного поля. 8. Керн электрона, 2, (2013), с. 36. *www.science.by/electromagnetism/rem8rus.pdf*.
3. Лоренц Г.А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. М., Гостехиздат, 1956.
4. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс, Фейнмановские лекции по физике, т. 6, Москва, Мир, (1977), с. 305 – 327.
5. Л.Н. Войцехович, Теория движения электромагнитного поля. 3. Релятивистский принцип суперпозиции полей, 1, (2013), с. 28. *www.science.by/electromagnetism/rem3rus.pdf*.
6. Л.Н. Войцехович, Теория движения электромагнитного поля. 2. Принцип движения компонент электромагнитного поля, 1, (2013), с. 12. *www.science.by/electromagnetism/rem2rus.pdf*.

ЖУРНАЛ РЭМ
К списку публикаций

*Статья опубликована на сайте журнала РЭМ
16 марта 2014 г.*