

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ГЕОЭКОЛОГИИ РАН
им. Е.М. Сергеева
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Б.Г. Сапожников

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ СИЛЫ ЛОРЕНЦА
(деп. в ВИНТИ РАН 15. 04. 2013 г. №113 – В 2013)

Санкт-Петербург
2013 г.

УДК 537.1:530.12

Электромагнитные поля силы Лоренца / Сапожников Б.Г.;
СПб отд-е Инст-та геоэкологии РАН - СПб, 2013. – 29 с. – 4 ил.
– Библиогр.: 8 назв. - Рус. – Деп. в ВИНТИ РАН 15. 04. 2013 г. №113 – В2013

В рамках специальной теории относительности и её первого постулата анализируется формула силы Лоренца. Показана необходимость включения в формулу: 1) корректирующего коэффициента, учитывающего состояние движения электрических зарядов – объектов действия силы Лоренца, и 2) нового элемента формулы – «магнитного поля электрического типа», которое дополняет в формуле «обычное» магнитное поле. В отличие от последнего новый вид магнитного поля, так же как и электрическое, может совершать физическую работу. По характеру возбуждения и действия новое «энергоматнитное» поле является близким аналогом «обычного», так как создаётся исключительно движущимися электрическими зарядами и действуют также лишь на движущиеся заряды.

UDC 537.1:530.12

The electromagnetic fields of the Lorentz force / Sapozhnikov B.G;
Saint-Petersburg Division of Sergeev Institute of Environmental Geoscience
of the Russian Academy of Sciences (IEG RAS). – SPb, 2013. – 29 p. – 4 ill.
– Bibliography: 8 names. - Rus. – Deposited in VINITI RAS 15. 04. 2013, №113 – В2013

The Lorentz force formula is analyzed within the special theory of relativity and its first postulate. The analysis showed the necessity to include in the formula: 1) the correction factor that takes into account the state of motion of electrical charges – objects of the Lorentz force action, and 2) the new element of the formula – «magnetic field of the electric type», which complements «ordinary» magnetic field in the formula. Contrary to it, the new type of the magnetic field as well as the electric one, is able to perform physical work. By its origin and its action the new «energymagnetic» field is a close analogue of the «ordinary» one, because it is also created by and affects the moving charges only.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯДОВ НА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ «Oz»	5
2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯДОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСИ «Ox»	11
3. СИЛА ЛОРЕНЦА	16
4. ПРОВОД С ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ	19
5. РЕЛЬСОТРОН	22
ВЫВОДЫ	27
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	28
ПРИЛОЖЕНИЕ	28

ВВЕДЕНИЕ

Суммарная сила Лоренца (электрическая плюс магнитная), с которой заряды действуют друг на друга, – во всех **инерциальных** системах отсчёта одна и та же, иначе по различию суммарных сил можно было бы судить о скорости перемещения систем отсчёта, что **противоречит** первому постулату специальной теории относительности (СТО). Если можно было бы соединить взаимодействующие заряды «динамометром», то его стрелка **постоянно** оставалась бы на одном и том же делении во всех системах отсчёта.

Это, вполне очевидное в рамках СТО положение, к сожалению, часто игнорируют, допуская тем самым ошибки в формуле силы Лоренца: «...сила, с которой действует электрическое поле на заряд, – не зависит от скорости заряда и направлена по напряжённости поля \mathbf{E} » [1, с.75]. Сказанное означает, что электрическое поле « \mathbf{E} » в формуле **одинаково** действует, как на **неподвижные** « q_1 », так и на равномерно и прямолинейно **движущиеся** « q_2 » пробные электрические заряды. Также и автор, разделял эту **официальную** позицию в отношении силы Лоренца в работе [2, с.12]:

«...выражения для силы Лоренца (« F_Q ») **неподвижного** точечного заряда (« Q ») записываются в системе « S » для **неподвижного** (« q_1 ») и **движущегося** (« q_2 ») пробного заряда в виде закона Кулона».

В результате после выполнения преобразований Лоренца для электромагнитного поля в новой системе отсчёта « S' », движущейся относительно первой, автор пришёл к несколько не удивившему его **«рядовому»** выводу [2, с.13]:

«...В отличие от системы « S » силы Лоренца, действующие в системе « S' » на заряды « q_1 » и « q_2 », оказываются **различными**».

Как говорится, «ехали, ехали и ...приехали!»! Ведь вот же, загорелся **«красный свет»**, но он остался **незамеченным** и «... поехали далее». Однако, **«нет худа без добра»** – вот, и появилась для **инерциальных** систем отсчёта **задача**: как нужно уточнить формулу силы Лоренца, чтобы она отвечала **«реальности»** и исключала бы возможность **автоматического** нарушения первого постулата СТО?

Несомненный интерес представляет и другая задача, связанная с первой, – раскрыть **причины** появления в формуле силы Лоренца **динамических** э/м полей, которые **возбуждаются** только **движущимися** зарядами и **действуют** также лишь на **движущиеся** заряды – «обычного» **магнитного поля** (1892 г.) и его близкого аналога **E -магнитного** поля, введённого в формулу силы Лоренца под названием **«электрическое поле магнитного типа»** «несколько позднее» (2010 г.) [2, с.32].

1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯДОВ НА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ «Oz»

Рассмотрим в *неподвижной* системе отсчёта «K» (x, y, z, t) взаимодействие *точечных* электрических зарядов – *неподвижного силового* заряда «Q», расположенного в начале «O» прямоугольной правой системы координат, и двух *пробных* зарядов, находящихся в момент времени « $t=0$ » (поочередно) на *вертикальной* оси «Oz» (рис.1) в точке с координатой «z» (« $z \geq 0$ »). Магнитное поле силового заряда отсутствует, т.к. заряд «Q» неподвижен (скорость заряда « $V=0$ »). Отметим, что названия зарядов «*силовой*» и «*пробный*» введены здесь исключительно для удобства изложения и не означают, что «пробные» заряды настолько малы, что не оказывают действия на «силовые».

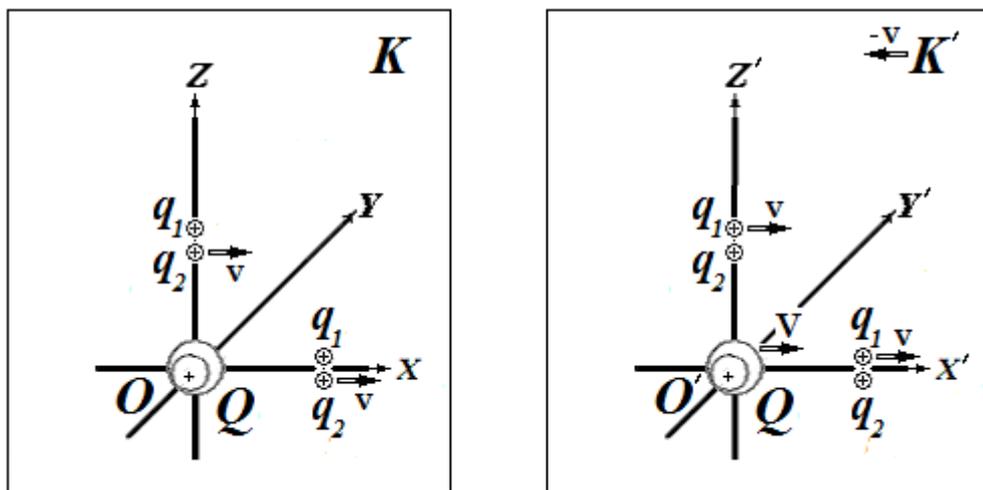


Рис. 1. Неподвижная «K» и движущаяся «K'» системы отсчёта.

Заряд « q_1 » – *неподвижен* (скорость заряда « $v_1=0$ »), заряд « q_2 » – *перемещается* с постоянной скоростью « $v_2=v$ » параллельно оси «Ox». На *неподвижный* заряд « q_1 » действует *известная* вертикальная кулоновская электрическая сила « F_{Ez1} »:

$$F_{Ez1} = q_1 E_z = (q_1 Q) / (4\pi\epsilon_0 z^2), \quad z \geq 0, \dots (1)$$

а на заряд « q_2 », также находящийся в электрическом поле « E_z », – пока *неизвестная* вертикальная сила « F_{Ez2} ». Используемая здесь и далее система единиц – СИ. Среда, окружающая силовые и пробные заряды, – вакуум. Требуется определить – выполняется ли «*официальное*» равенство « $F_{Ez1}=F_{Ez2}$ »?

Перейдём в *движущуюся* со скоростью « $U=-v$ » вдоль оси «Ox» систему отсчёта «K'» (x', y', z', t'). В этой системе в момент времени « $t=t'=0$ » все одноименные координатные оси «Ox» и «O'x'», «Oy» и «O'y'», «Oz» и «O'z'» совпадают друг с другом, а заряд « q_2 » на оси «O'z'» в точке « $z'=z$ » становится *неподвижным* (рис.1).

Напротив, заряды « Q » и « q_1 », в момент времени « $t = t' = 0$ » также находящиеся на оси « $O'z'$ », равномерно *перемещаются* с одинаковой скоростью « v »: первый – по оси « $O'x'$ », второй – параллельно этой оси, сохраняя свою координату « $z' = z$ ». В соответствии с формулами преобразований полей Лоренца (ППЛ) [1, с.93] взаимодействие зарядов « Q » и « q_1 » в системе « K' » определяется *увеличенным* вертикальным электрическим полем « E'_z » и *вновь появившимся* горизонтальным *магнитным* полем « B'_y ».

Подчеркнём, что обращение к *движущейся* системе « K' » имеет *практическое* значение, так как для *момента времени* « $t = t' = 0$ » она полностью *эквивалентна* «обычной» для нас *неподвижной галилеевой* системе отсчёта, где все заряды в момент времени « $t = t' = 0$ » находятся на оси « Oz », причём заряд « q_2 » – *неподвижен*, а *движущиеся* заряды « Q » и « q_1 » перемещаются со скоростью « v » вдоль и параллельно горизонтальной оси « Ox » в её положительном направлении. Дополнительное название этой системы «*галилеева*» отражает её *отличительную* особенность в сравнении с *движущимися* инерциальными системами – *единое* время во всём пространстве, *независимое* от координат.

Суммарная сила Лоренца « $F'_{\Sigma z1}$ » (электрическая + магнитная), действующая в системе « K' » на *движущийся* пробный заряд « q_1 » со стороны *движущегося* силового заряда « Q » в соответствии с первым постулатом СТО должна остаться равной по величине *кулоновской* силе « $F'_{Ez1} = q_1 E_z$ », то есть, «как и учили», по показаниям «динамометра» нельзя сказать, движется ли «вагон», где проводится опыт, или «вагон» неподвижен. Иначе говоря, будем надеется, что *увеличение электрической* силы будет полностью компенсировано действием *магнитной* силы. А вот на *неподвижный* заряд « q_2 » в системе « K' » согласно формулам ППЛ действует только *увеличенное электрическое поле* силового заряда « Q » и надежда на компенсацию сил здесь заведомо *нереальна*:

$$E'_{z2} = \gamma_Q E_z, \quad F'_{Ez2} = q_2 E'_{z2} = q_2 \gamma_Q E_z = q_2 (\gamma_Q Q) / (4\pi \epsilon_0 z^2), \quad z \geq 0, \dots (2)$$

$$\mathbf{V} = \mathbf{v}, \quad \gamma_Q = 1 / (1 - V^2 / c^2)^{1/2} = 1 / (1 - v^2 / c^2)^{1/2},$$

c – электродинамическая постоянная.

Расчёт силы « $F'_{\Sigma z1}$ » действия *движущегося* силового заряда « Q » на *движущийся* пробный заряд « q_1 » [2, с.13] показал, что надежда на компенсацию сил и в этом случае *не оправдалась*: сила « $F'_{\Sigma z1}$ » оказалась *меньше кулоновской* силы « F_{Ez1} » взаимодействия этих же *неподвижных* зарядов в *неподвижной* системе « K ». Вследствие отсутствия компенсации сил *неизбежен* вывод о *необходимости корректировки* формулы силы Лоренца с помощью коэффициента-множителя « k », *учитывающего состояние движе-*

ния зарядов « q » – объектов действия силы. Тем более, что для такой корректировки давно известны некоторые весомые *физические аргументы*.

Всё дело – в известном *различии* электрических полей *неподвижных* и *движущихся*, как *силовых*, так и *пробных* точечных электрических зарядов в *неподвижной* системе « K ». Действительно, поле *неподвижного* заряда – чисто кулоновское, *потенциальное*, со сферической симметрией. Электрическое поле *движущегося* заряда (силового или пробного) – *деформируется* так, что оно становится *непотенциальным* и его изоповерхности принимают вид *сплюснутых эллипсоидов* вращения Хэвисайда.

Меньшая полуось эллипсоида (электрическое поле, *уменьшенное* в « γ^2 » раз в сравнении с модулем сферического кулоновского поля) – ориентируется *в направлении движения* заряда, а *большая* полуось – радиус центрального кругового сечения эллипсоида (электрическое поле в « γ » раз *превышающая* по модулю сферическое поле *неподвижного* заряда) – располагается *перпендикулярно движению*. Сплюснутость эллипсоида и радиус его центрального круга *увеличиваются* по мере возрастания скорости *движущегося* заряда. Однако, *симметрия* модели остается *неизменной*, что отвечает известному *парадоксальному “мгновенному” распространению* электрического поля равномерно и прямолинейно движущегося заряда [2, с.7; 3, с.2-3; 4, с.158, с.373; 5, с. 192].

Характеристика поля – “*мгновенное*”, взята здесь в кавычки, так как анализ, выполненный в работе [2, с.11-24; 3, с.8-9], показал, что в рассматриваемом случае *нет нарушения* принципа «близкодействия» СТО : *запаздывающее вихревое* электрическое поле « E_t » *движущегося* заряда, естественно, распространяется с *конечной* скоростью « c », однако, в точке наблюдения *действие* э/м поля « E_t » на *движущийся* заряд *суммируется* с силовым действием *силовых свойств* этого поля – « $rot E_t$ » (определяет *действие магнитного* поля) и « $rot rot E_t$ » (совместно с запаздывающим полем « E_t » определяет *эллипсоидальную форму* изоповерхностей электрического поля *движущегося* заряда).

В результате э/м поле инерциально *движущегося* силового электрического заряда «перемещается» вместе с ним как «*единое целое*». Соответствующее этому «перемещению» «*мгновенное*» распространение э/м поля равномерно и прямолинейно движущихся электрических зарядов природе просто *необходимо*, так как в противном случае первый постулат СТО оказывается *невыполнимым*. Возможно, и другие «*мгновенно*» действующие физические поля (например, гравитационное) имеют тот же «*скрытый*» механизм распространения поля с конечной скоростью « c ».

В *движущейся* системе отсчёта « K' », рассмотренной выше, *вертикальная* составляющая « E'_z » электрического поля *движущегося* заряда « Q » *увеличена* на коэффициент

« γ_Q »□ в сравнении с прежней составляющей « E_z » заряда « Q » в *неподвижной* системе « K ». Тот же эффект – *увеличение* в « $\gamma_q = 1/(1 - v_1^2/c^2)^{1/2}$ »□ раз *собственного* электрического поля в направлении, перпендикулярном оси движения, имеет место в системе « K' » и в отношении *движущегося со скоростью* « $v_1 = v$ » заряда « q_1 ».

Можно полагать, что это – подсказка природы: коэффициент « γ » (« $\gamma = \gamma_q = \gamma_Q$ » при « $V = v$ »), *с одной стороны*, отражает увеличение в « γ_Q »□ раз действия поля « E_z » *силового* заряда « Q », движущегося по оси « Ox », на *неподвижные* или *движущиеся* пробные заряды « q » на оси « Oz », *с другой* – указывает на такое же увеличение в « γ_q » раз действия поля « E_z » *пробного* заряда « q », движущегося параллельно оси « Ox », на *неподвижный* или *движущийся* силовой заряд « Q ».

В результате может быть сформулирована *частная форма* (ЧФ-3) *третьего закона* Ньютона, по-видимому, справедливая для сил *бесконтактного силового* взаимодействия *точечных зарядов* различной природы:

«Сила *суммарного действия* заряда « q_a » на заряд « q_b » *пропорциональна* удельной силе *частного противодействия* заряда (« q_b »), взятой с обратным знаком».

Например, для сил *электромагнитного* взаимодействия 2-х *электрических* зарядов: заряд « q_a », находящийся в точке « a », создаёт в точке « b » в отсутствии заряда « q_b » некоторую *удельную* силу « f_b » *частного* прямого действия э/м поля («удельная» – сила, рассчитанная на единицу заряда). Заряд « q_b », помещённый в точку « b », в свою очередь создаёт в точке « a » *удельную* силу « f_b » *частного противодействия* первому заряду « q_a ». В результате заряд « q_a » действует на заряд « q_b » с *суммарной* силой, *пропорциональной* силе *частного противодействия*, взятой с обратным знаком.

Так, для случая электростатического поля 2-х положительных зарядов « q » на горизонтальной оси « Ox » (координаты зарядов: « $x_a = 0$ », « $x_b = x$ ») удельная сила *частного прямого* действия заряда « q_a » равна « $E_{xa} = q_a / 4\pi\epsilon_0 x^2$ », удельная сила *частного противодействия* – « $E_{xb} = -q_b / 4\pi\epsilon_0 x^2$ », а *суммарная сила* « F_{xa} » прямого *действия* заряда « q_a » на заряд « q_b » равна « $F_{xa} = q_a q_b / 4\pi\epsilon_0 x^2$ », что *пропорционально* силе *частного противодействия* « $-E_{xb}$ », взятой с обратным знаком. Аналогичная методика позволяет определить силу *суммарного противодействия* « F_{xb} » заряда « q_b » по отношению к за-

ряду « q_a »: « $F_{xb} = -q_a q_b / 4\pi \varepsilon_0 x^2$ ». Отсюда следует, что **частная форма** ЧФ-3 третьего закона Ньютона, естественно, не отменяет общий закон:

«Сила **суммарного** действия **равна** силе **суммарного** противодействия».

Возвращаясь к рассматриваемым на оси « Oz » **неподвижным** или **движущимся** зарядам « Q » и « q », можно согласно **частной форме** ЧФ-3 закона Ньютона заключить о **необходимости** дополнительного **увеличения** в « γ_q » □ раз **суммарной** силы прямого действия **силового** заряда « Q » (всё равно, **неподвижного** или **движущегося**) на **пробный** заряд « q », **движущийся** параллельно горизонтальной оси « Ox » и действующий на заряд « Q » с увеличенной силой **частного противодействия**.

Для доказательства «правильности» догадки достаточно вновь выполнить пересчёт **действия** на пробные заряды « q_1 » и « q_2 » кулоновского поля **неподвижного** силового заряда « Q » **неподвижной** системы « K » в **движущуюся** систему « K' ». В том случае, если согласно СТО в системе « K' » силы « $F'_{\Sigma z1}$ » и « F'_{Ez2} » действия **движущегося** силового заряда « Q » на **движущийся** заряд « q_1 » и **неподвижный** « q_2 » окажутся **равными** прежним силам (соответственно « F_{Ez1} » и « F_{Ez2} »), действующим на эти же заряды в системе « K », доказательство можно будет считать состоявшимся.

1. В системе « K » заряды « q_1 » и « Q » – **неподвижны** и, следовательно, **действие** кулоновского поля заряда « Q » на заряд « q_1 » не нуждается в корректировке (здесь « $k = 1$ »). Напротив, **пробный** заряд « q_2 » в этой системе **движется** (« $v_2 = v$ »), и большая ось эллипсоида его электрического поля обращена к **неподвижному силовому** заряду « Q ». Вследствие этого **суммарное действие** силового заряда « Q » на заряд « q_2 » согласно ЧФ-3 **увеличивается**. При этом величина **исходного** модуля сферического электрического поля заряда « Q » (частное прямое действие) остаётся всё время **неизменной** (исходное поле « E_z » «не знает», какой заряд будет объектом его действия!). Дополнительное увеличение действия заряда « Q » на заряд « q_2 » учитывается, как отмечено выше, умножением величины заряда « q_2 » на коэффициент « $k = \gamma_q$ »:

$$F_{Ez2} = \gamma_q q_2 E_z \dots \dots \dots (3)$$

Таким образом, в **неподвижной** системе « K » сила действия составляющей « E_z » электрического поля **неподвижного силового** заряда « Q » на **пробные** заряды « q_1 » и « q_2 », **отличающиеся состоянием своего движения**, – согласно (1), (3) оказывается **различной** (ответ на **вопрос**, поставленный в начале раздела 1):

$$F_{Ez1} \neq F_{Ez2} \dots \dots \dots (4)$$

Последнее для случая *вертикальной* оси «Oz» не соответствует «официальной» форме записи формулы силы Лоренца, не учитывающей в рассматриваемом случае, как различное состояние движения пробных зарядов, так и необходимость выполнения ЧФ-3.

2. В системе «K'» пробный заряд «q₂» – *неподвижен*, однако, *движется* силовой заряд «Q» («V = v») и формула ППЛ (2) *автоматически* учитывает изменение электрического поля заряда «Q» в системе «K'» в сравнении с его прежним полем в системе «K». В результате – *силы действия* на заряд «q₂» *разных по модулю* исходных электрических полей «E'_z» и «E_z» соответственно в *движущейся* и *неподвижной* системах отсчёта оказываются *одинаковыми*. Отсюда следует и *равенство* сил «F_{Ez2} = F'_{Ez2}», определяющих согласно СТО (показаниям «динамометра») одно и то же *силовое действие* заряда «Q» на пробный заряд «q₂» в *разных* системах отсчёта:

$$F_{Ez2} = [(\gamma_q q_2) Q] / (4\pi \epsilon_0 z^2), \quad F'_{Ez2} = [q_2 (\gamma_Q Q)] / (4\pi \epsilon_0 z'^2), \quad z = z' \geq 0, \dots\dots\dots(5)$$

$$V = v, \quad \gamma = \gamma_q = \gamma_Q, \quad \epsilon_0 - \text{электрическая постоянная.}$$

3. В системе «K» сила действия «F_{Ez1}» *неподвижного* заряда «Q» на *неподвижный* пробный заряд «q₁» определяется исключительно электрической силой закона Кулона (1).

В системе «K'» оба заряда «Q» и «q₁» движутся («V = v₁ = v») и их взаимодействие «F'_{Σz1}» определяется не только *электрическими*, но и *магнитными* силами. С учётом ЧФ-3 и *взаимной ориентировки* эллипсоидов электрических полей *движущихся* зарядов (большие оси эллипсоидов обращены друг к другу) силы *электрического* «F'_{Ez1}» и *магнитного* «F'_{Bz1}» действия силового заряда «Q» на пробный заряд «q₁» записываются в системе «K'» формулами:

$$F'_{Ez1} = [(\gamma_{q1}) (\gamma_Q)] / (4\pi \epsilon_0 z'^2), \quad z' = z \geq 0, \dots\dots\dots(3)$$

$$F'_{Bz1} = -[(\gamma_{q1}) (\gamma_Q) (v^2 / c^2)] / (4\pi \epsilon_0 z'^2) \dots\dots\dots(4)$$

Согласно СТО (показаниям «динамометра») сила Лоренца «F'_{Σz1}» *суммарного действия* заряда «Q» на заряд «q₁» в системе «K'» («F'_{Σz1} = F'_{Ez1} + F'_{Bz1}») оказывается *равной* прежней чисто *кулоновской* вертикальной силе «F_{Ez1}» (1) *суммарного действия неподвижного* силового заряда «Q» на *неподвижный* пробный заряд «q₁» в системе «K»:

$$F'_{\Sigma z1} = [(\gamma_{q1}) (\gamma_Q)] / (4\pi \epsilon_0 z^2) - [(\gamma_{q1}) (\gamma_Q) (v^2 / c^2)] / (4\pi \epsilon_0 z^2) = F_{Ez1}, \quad z \geq 0 \dots\dots(5)$$

Как отмечено выше, этот вывод (сохранение *неизменной* суммарной силы взаимодействия *движущейся* и *неподвижной* пары зарядов «Q» и «q₁») может быть распро-

странён и на «обычную» для нас *неподвижную* галилееву систему отсчёта « K ». Следует обратить внимание, что для *движущейся* пары зарядов в системе « K » этот вывод также указывает на парадоксальный «*мгновенный*» характер их силового взаимодействия, т. е. на «*мгновенное*» распространение электромагнитного поля равномерно и прямолинейно *движущегося* заряда « Q » в *неподвижной* системе « K ».

2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯДОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСИ « Ox »

В *неподвижной* системе отсчёта « K » (x, y, z, t) *неподвижный* силовой заряд « Q », расположенный в начале « O » прямоугольной системы координат, взаимодействует с двумя пробными зарядами, находящимися в момент времени « $t = 0$ » (поочередно) на горизонтальной оси « Ox » с координатой « $x \geq 0$ ». Заряд « q_1 » – *неподвижен*, а заряд « q_2 » – *перемещается* со скоростью « $v_2 = v$ » в положительном направлении оси « Ox » (рис.1). На *неподвижный* заряд « q_1 » в системе « K » действует *известная* горизонтальная *кулоновская* сила « $F_{Ex1} = q_1 E_x$ », а на *движущийся* заряд « q_2 », также находящийся в электрическом поле « E_x », – пока *неизвестная* горизонтальная сила « F_{Ex2} ». Требуется, как и в предыдущем случае, определить – выполняется ли «*официальное*» равенство « $F_{Ex1} = F_{Ex2}$ »?

Перейдём в равномерно *движущуюся* со скоростью « $U = -v$ » вдоль оси « Ox » систему отсчёта « K' » (x', y', z', t'). В этой системе в момент времени « $t = t' = 0$ » все одноименные координатные оси « Ox » и « $O'x'$ », « Oy » и « $O'y'$ », « Oz » и « $O'z'$ » совпадают друг с другом, а заряд « q_2 » на оси « $O'x'$ » в точке с координатой « $x' = x/\gamma$ » становится *неподвижным* (рис.1). Напротив, в момент времени « $t = t' = 0$ » заряд « Q », находящийся в центре « O' » системы координат (« $x' = x = 0$ »), и заряд « q_1 », расположенный на оси « $O'x'$ » в точке с координатой « $x' = x/\gamma$ », равномерно *перемещаются* с одинаковой скоростью « $V = v_1 = v$ » в положительном направлении оси « $O'x'$ ». Если бы в системе отсчёта « K' » заряды « Q » и « q_1 » были бы неподвижны, то сила « F''_{Ex1} » их взаимодействия описывалась бы законом Кулона для *сферического* электрического поля:

$$F''_{Ex1} = (q_1 Q) / (4\pi \epsilon_0 x'^2), \quad x \geq 0. \dots\dots\dots (6)$$

В действительности, заряды « Q » и « q_1 » в системе « K' » движутся, что приводит к деформации их электрических полей и соответственно к *встречной* ориентировке *малых* осей их электрических эллипсоидов. Для момента времени « $t = t' = 0$ » согласно ЧФ-3 си-

лу « F'_{Ex1} » взаимодействия движущихся зарядов, обусловленную *только деформацией* их электрических полей, можно представить в системе « K' » формулой:

$$F'_{Ex1} = [(q_1 / \gamma^2)(Q / \gamma^2)] / (4\pi \varepsilon_0 x'^2), \quad x' = x / \gamma \geq 0. \dots\dots\dots (7)$$

В системах « K » и « K' » взаимодействие зарядов « Q » и « q_1 » друг с другом на *горизонтальных* осях « Ox » и « $O'x'$ » должно было бы иметь *чисто электрическую* природу ввиду *отсутствия магнитного* поля « \mathbf{B} » (в системе « K » заряды « Q » и « q_1 » *неподвижны*, а в системе « K' » движущиеся заряды « Q » и « q_1 » находятся на *горизонтальной* оси « $O'x'$ », где нет «*обычного*» магнитного поля « \mathbf{B} »).

Согласно СТО (показаниям «динамометра») *электрическая* сила *суммарного* действия « $F'_{\Sigma x1}$ » заряда « Q » на заряд « q_1 » в системе « K' » для момента времени « $t = t' = 0$ » должна быть *равна* электрической силе *суммарного* действия « F_{Ex1} » заряда « Q » на заряд « q_1 » в системе « K »:

$$F'_{\Sigma x1} = F_{Ex1} = (q_1 Q) / (4\pi \varepsilon_0 x^2) = (q_1 Q) / (4\pi \varepsilon_0 \gamma^2 x'^2), \quad x' = x / \gamma \geq 0 \dots\dots\dots (8)$$

Однако, из сопоставления (7) и (8) можно заключить, что взаимодействие зарядов « Q » и « q_1 » на горизонтальной оси « $O'x'$ » системы « K' » противоречит требованиям СТО.

Вместо *равенства* электрических сил взаимодействия зарядов « Q » и « q_1 » в *разных* системах отсчёта сила « F'_{Ex1} » в системе « K' » оказывается в « γ^2 » раз *меньше* силы « F_{Ex1} » взаимодействия этих же зарядов в системе « K ».

Выход из создавшегося положения подсказан опытом *включения* в формулу силы Лоренца *магнитного* поля « \mathbf{B} ». Действительно, при расположении *движущихся* зарядов « Q » и « q_1 » на *вертикальной* оси « $O'z'$ » в *движущейся* системе « K' » (раздел 1) *встречная* ориентировка *больших* осей эллипсоидов электрических полей зарядов также привела к изменению (*увеличению* в « γ^2 » раз) силы их электрического взаимодействия.

Введение *магнитного* поля позволило осуществить *необходимую* компенсацию этого изменения. В рассматриваемом случае зарядов « Q » и « q_1 », *движущихся* в системе « K' » по горизонтальной оси « $O'x'$ » (« $\mathbf{V} = \mathbf{v}_1 = \mathbf{v}$ »), *необходимая* компенсация *уменьшения* в « γ^2 » раз силы их электрического взаимодействия также может быть выполнена путём *включения* в формулу силы Лоренца *дополнительной* силы, учитывающей действие *нового* вида э/м поля – *магнитного поля* « \mathbf{B}_E » *электрического типа*, которое дополняет в формуле силы Лоренца «*обычное*» магнитное поле « \mathbf{B} ».

По характеру возбуждения и действия *магнитные поля* « \mathbf{V}_E » и « \mathbf{V} » являются близкими аналогами, так как создаются *исключительно* движущимися электрическими зарядами и действуют также *исключительно* на движущиеся заряды.

Однако, в отличие от «обычного» магнитного поля « \mathbf{V} », которое *по определению* не в состоянии совершать работу, сила действия *E-магнитного поля* на пробный заряд совпадает с направлением вектора « \mathbf{V}_E ». По этой причине *новое* поле, так же как и *электрическое* « \mathbf{E} », может совершать *физическую работу* и в связи с этим может быть названо «*энергомагнитным*» (для отличия по *названию* от «обычного» магнитного поля « \mathbf{V} »). Для введения нового вида магнитного поля существует также ряд дополнительных *физических аргументов*, рассмотренных в работах [2, 3].

Выражения для силы « $F'_{AE_{x1}}$ » взаимодействия движущихся зарядов « Q » и « q_1 » в системе « K' » под действием *энергомагнитного поля* « \mathbf{V}'_E » получим, используя для момента времени « $t = t' = 0$ » формулы (7), (8):

$$F'_{AE_{x1}} = F'_{\Sigma_{x1}} - F'_{E_{x1}} = (q_1 Q) / (4\pi \varepsilon_0 \gamma^2 x'^2) - [(q_1 / \gamma^2)(Q / \gamma^2)] / (4\pi \varepsilon_0 x'^2),$$

$$F'_{AE_{x1}} = (v^2 / c^2) q_1 Q / (4\pi \varepsilon_0 \gamma^2 x'^2) = (v^2 / c^2) q_1 Q / (4\pi \varepsilon_0 x^2) = F_{AE_{x1}}, \quad x' = x / \gamma \geq 0, \dots (9)$$

$$V'_{E_{x1}} = (v / c^2)(Q / \gamma^2) / (4\pi \varepsilon_0 x'^2) = (v / c^2) Q / (4\pi \varepsilon_0 x^2) = V_{E_{x1}}. \dots \dots \dots (10)$$

Следует отметить, что уменьшение расстояния между *движущимися* зарядами « Q » и « q_1 » в *движущейся* системе « K' » в сравнении с *неподвижными* зарядами « Q » и « q_1 » в *неподвижной* системе « K » отвечает *релятивистскому* эффекту «*сокращения пространственных интервалов*» между зарядами, движущимися с *равными* скоростями, в *любых* инерциальных системах (в том числе и в *неподвижной* галилеевой системе « K »).

Этот эффект, обуславливающий бо'льшую «плотность» *эллипсоидальных* электрических полей *движущихся* зарядов (вдоль скорости их движения) в сравнении с меньшей «плотностью» *сферических* полей *неподвижных* зарядов, представлен в системе « K' » зависимостью « $x' = x / \gamma$ », где « x' » – абсцисса движущегося заряда « q_1 » и одновременно расстояние между движущимися зарядами « Q » и « q_1 » (заряд « Q » находится в начале « O' » оси « $O'x'$ »). Можно полагать также, что сокращение расстояния между *движущимися* зарядами одновременно означает уменьшение их расстояний до *любой* пройденной *неподвижной* точки на оси их движения в *любых* инерциальных системах отсчёта.

Наконец, пора перейти к ответу на вопрос, заданный в начале раздела 2, о возможном равенстве *электрических* сил « $F_{E_{x1}}$ » и « $F_{E_{x2}}$ » *суммарного* действия *неподвижного* сило-

вого заряда « Q » на *неподвижный* « q_1 » и *движущийся* « q_2 » заряды, расположенные на *горизонтальной* оси « Ox » в *неподвижной* системе « K ». С этой целью перейдём из системы « K » в *движущуюся* систему « K' ». В новой системе « K' » силовой заряд « Q », движущийся вдоль *горизонтальной* оси « $O'x'$ », создаёт в точке « x' » расположения *неподвижного* заряда « q_2 » «обычное» эллипсоидальное электрическое поле *частного* прямого действия, уменьшенное по *горизонтальной* оси « $O'x'$ » (вдоль малой оси эллипсоида) в « γ^2 » раз в сравнении со сферическим полем *неподвижного* заряда « Q »:

$$F'_{Ex2} = [q_2 (Q/\gamma^2)] / (4\pi \varepsilon_0 x'^2), \quad x' \geq 0. \dots\dots\dots(11)$$

Однако, учитывая в системе « K' » *релятивистский эффект* сокращения расстояний « $x' = x/\gamma$ » между *движущимися* и *неподвижными* зарядами на оси « $O'x'$ », а также равенство « $q_2 = q_1$ », сила « F'_{Ex2} » (11) для зарядов « Q » и « q_2 » может быть записана в виде:

$$F'_{Ex2} = q_2 Q / (4\pi \varepsilon_0 x'^2) = q_1 Q / (4\pi \varepsilon_0 x^2) = F_{Ex1} = F_{Ex2}, \quad x \geq 0. \dots\dots\dots(12)$$

Таким образом, силы « F'_{Ex2} » и « F_{Ex2} » *горизонтального* взаимодействия зарядов « Q » и « q_2 » (12) в *разных* системах отсчёта « K' » и « K » согласно СТО (показаниям «динамометра») оказываются *равными*. Более того, в отличие от *неравенства* сил (4) для *вертикальной* оси « Oz », результат (12), подтверждает для *горизонтальной* оси « Ox » *неподвижной* системы « K » общепринятую «официальную» форму записи силы Лоренца, указывающую на *равенство* сил *суммарного* действия, действующих со стороны *неподвижного* заряда « Q » на равноудалённые от него по *горизонтальной* оси « Ox » *неподвижный* « q_1 » и равномерно *движущийся* « q_2 » пробные заряды « $q_2 = q_1$ ».

Как ясно из вышеизложенного, эффект «*равенства горизонтальных сил*», действующих со стороны *неподвижного* заряда на *равноудалённые* от него одинаковые *неподвижный* и *движущийся* заряды» обусловлен исключительно *релятивистским* эффектом

«*сокращения расстояний*» между *неподвижным* « Q » и *движущимся* « q_2 » зарядами.

Подводя итоги обсуждения для *неподвижной* « K » и *движущейся* « K' » систем отсчёта сил взаимодействия друг с другом *неподвижных* и *движущихся* зарядов – силового заряда « Q » (в начале « O » системы координат) и пары пробных зарядов « q_1 » (*неподвижный*) и « q_2 » (равномерно *движущийся* параллельно или вдоль оси « Ox ») – на *вертикальной* « Oz » и *горизонтальной* « Ox » координатных осях, можно сформулировать следующие выводы для случая *неподвижной* системы отсчёта « K » (« x, y, z, t »):

1. *Электрическая сила суммарного действия неподвижного заряда «Q» на неподвижные заряды «q₁» определяется законом Кулона.*

2. *Электрическая сила суммарного действия неподвижного заряда «Q» на движущиеся заряды «q₂» в сравнении с кулоновской силой по п.1 – увеличивается в « γ_q » раз на вертикальной оси «Oz» (согласно ЧФ-3 и вертикальной эллипсоидальной деформации электрического поля заряда «q₂») и сохраняется неизменной кулоновской силой на горизонтальной оси «Ox» (согласно ЧФ-3 и компенсации горизонтальной эллипсоидальной деформации электрического поля заряда «q₂» релятивистским эффектом «сокращения расстояний»).*

3. *Электрическая сила суммарного действия равномерно движущегося вдоль оси «Ox» силового заряда «Q» на неподвижные заряды «q₁» в сравнении с кулоновской силой по п.1 – увеличивается в « γ_Q » раз на вертикальной оси «Oz» (согласно вертикальной эллипсоидальной деформации электрического поля заряда «Q») и сохраняется неизменной на горизонтальной оси «Ox» (вследствие компенсации горизонтальной эллипсоидальной деформации электрического поля заряда «Q» релятивистским эффектом «сокращения расстояний»).*

4. *Электрическая сила суммарного действия равномерно движущегося вдоль оси «Ox» силового заряда «Q» на движущиеся заряды «q₂» в сравнении с кулоновской силой по п.1 – увеличивается в « $\gamma_Q \gamma_q$ » раз на вертикальной оси «Oz» (согласно ЧФ-3 и вертикальной эллипсоидальной деформации электрических полей зарядов «Q» и «q₂») и уменьшается в « γ_Q^2 » раз на горизонтальной оси «Ox» (согласно ЧФ-3 и частичной компенсации горизонтальной эллипсоидальной деформации электрического поля заряда «q₂» релятивистским эффектом «сокращения расстояний»).*

5. *Полная компенсация изменений по п.4 электрической силы взаимодействия движущихся зарядов (приведение силы взаимодействия зарядов к кулоновской силе по п.1) осуществляется: в случае вертикальной оси «Oz» – силой действия «обычного» магнитного поля « B_y », в случае горизонтальной оси «Ox» – силой действия нового магнитного поля « B_E » электрического типа.*

6. В дальнейшем, полученные результаты подразумевают необходимость – *корректировки* имеющихся формул ППЛ для составляющих э/м полей «E», «B», « B_E » и *распространение* формул сил взаимодействия зарядов на *вертикальной* и *горизонтальной* координатных осях на случай *произвольного* размещения пробных зарядов «q₁» и «q₂».

Векторы *магнитного* поля «**V**» *движущегося* по оси «*Ox*» силового заряда «*Q*» перпендикулярны вертикальной плоскости «*zOx*». Последнее позволяет «обычному» магнитному полю «**V**» на всей плоскости «*zOx*» осуществлять *вертикальную* компенсацию эллипсоидальной *деформации электрического* поля «**E**» заряда «*Q*» (деформация выражается в *увеличении модуля вертикальной* составляющей поля «**E**»). На *горизонтальной* оси «*Ox*» магнитное поле «**V**» *отсутствует*, т.к. электрическое поле «**E**» здесь строго *горизонтально* и не нуждается в *вертикальной* компенсации.

Аналогично проявляет себя *энергوماгнитное* поле. Векторы поля «**V_E**» *движущегося* по оси «*Ox*» силового заряда «*Q*» в плоскости «*zOx*» всюду *горизонтальны* и осуществляют *горизонтальную* компенсацию эллипсоидальной *деформации* поля «**E**» заряда «*Q*» (деформация выражается в *уменьшении модуля горизонтальной* составляющей поля «**E**»). Векторы поля «**V_E**» на плоскости «*zOx*» закономерно *уменьшаются* по модулю от максимального значения на оси «*Ox*» до нуля на *вертикальной* оси «*Oz*», где электрическое поле «**E**» строго вертикально и необходимость в *горизонтальной* компенсации эллипсоидальной деформации поля «**E**» *отсутствует*.

Магнитное поле «**V_E**» *электрического типа* оказывает своё *максимальное* силовое действие на заряды «*q*», *движущиеся параллельно* или вдоль вектора «**V_E**», а не перпендикулярно вектору, как в случае «обычного» магнитного поля. По этой причине, в *отличие* от своего аналога «**V**», *энергوماгнитное* поле «**V_E**» вполне «*работоспособно*».

3. СИЛА ЛОРЕНЦА

«Стандартная» запись формулы силы Лоренца «**Fst**» в системе СИ имеет вид:

$$\mathbf{F}^{\text{st}} = q(\mathbf{E} + [\mathbf{v}\mathbf{B}]), \dots\dots\dots(13)$$

где «*q*» – электрический заряд (объект, на который действует сила Лоренца), «**E**», «**B**», «**v**» – векторы электрического поля, магнитного поля (магнитной индукции) и постоянной скорости электрического заряда «*q*».

Как показано в разделах 1 и 2, для более полного соответствия СТО формула силы Лоренца «**Fst**» нуждается в некоторых уточнениях и дополнениях, приведённых в табл.1, 2.

Таблицы составлены для *неподвижной* системы отсчёта «*K*» и отвечают *новой* записи (14) формулы силы Лоренца «**F**» и её элементов в момент времени «*t = 0*», когда *неподвижный* или *движущийся* (рис.2) со скоростью «**V**» вдоль оси «*Ox*» *силовой* заряд «*Q*» находится в центре «*O*» системы координат (*x, y, z*).

Табл.1. Сила Лоренца «**F**» силового заряда «**Q**», расположенного в начале «**O**» системы координат «**x, y, z**», на заряды «**q**» *вертикальной* оси «**Oz**» ($z \geq 0$), **V**, **v** – скорости зарядов «**Q**», «**q**», параллельные *горизонтальной* оси «**Ox**»

неподвижный заряд « Q »		движущийся заряд « Q »	
неподвижный заряд « q »	движущийся заряд « q »	неподвижный заряд « q »	движущийся заряд « q »
$E_z = E_{0z}, E_x = E_y = 0$		$E_z = \gamma_Q E_{0z}, E_x = E_y = 0$	
$B_{Ex} = B_{Ey} = B_{Ez} = 0$		$B_{Ex} = B_{Ey} = B_{Ez} = 0$	
$B_x = B_y = B_z = 0$		$B_x = B_z = 0, B_y = -(V/\tilde{n}^2) E_{0z}$	
$F_z^{st} = qE_{0z}$ $F_z = qE_{0z}$ $F_x = F_x^{st} = 0$ $F_y = F_y^{st} = 0$	$F_z^{st} = qE_{0z}$ $F_z = \gamma_q qE_{0z}$ $F_x = F_x^{st} = 0$ $F_y = F_y^{st} = 0$	$F_z^{st} = \gamma_Q qE_{0z}$ $F_z = \gamma_Q qE_{0z}$ $F_x = F_x^{st} = 0$ $F_y = F_y^{st} = 0$	$F_z^{st} = qE_{0z}$ $F_z = qE_{0z}$ $F_x = F_x^{st} = 0$ $F_y = F_y^{st} = 0$
$E_{0z} = Q/(4\pi\epsilon_0 z^2), \gamma_q^2 = 1/(1-v^2/c^2), \gamma_Q^2 = 1/(1-V^2/c^2)$			

Табл.2. Сила Лоренца «**F**» силового заряда «**Q**», расположенного в начале «**O**» системы координат «**x, y, z**», на заряды «**q**» *горизонтальной* оси «**Ox**» ($x \geq 0$), **V**, **v** – скорости зарядов «**Q**», «**q**», параллельные *горизонтальной* оси «**Ox**»

неподвижный заряд « Q »		движущийся заряд « Q »	
неподвижный заряд « q »	движущийся заряд « q »	неподвижный заряд « q »	движущийся заряд « q »
$E_x = E_{0x}, E_y = E_z = 0$		$E_x = E_{0x}/\gamma_Q^2, E_y = E_z = 0$	
$B_{Ex} = B_{Ey} = B_{Ez} = 0$		$B_{Ex} = (V/c^2) E_{0x}, B_{Ey} = B_{Ez} = 0$	
$B_x = B_y = B_z = 0$		$B_x = B_y = B_z = 0$	
$F_x^{st} = qE_{0x}$ $F_x = qE_{0x}$ $F_y = F_y^{st} = 0$ $F_z = F_z^{st} = 0$	$F_x^{st} = qE_{0x}$ $F_x = qE_{0x}$ $F_y = F_y^{st} = 0$ $F_z = F_z^{st} = 0$	$F_x^{st} = qE_{0x}/\gamma_Q^2$ $F_x = qE_{0x}$ $F_y = F_y^{st} = 0$ $F_z = F_z^{st} = 0$	$F_x^{st} = qE_{0x}$ $F_x = qE_{0x}$ $F_y = F_y^{st} = 0$ $F_z = F_z^{st} = 0$
$E_{0x} = Q/(4\pi\epsilon_0 x^2), \gamma_q^2 = 1/(1-v^2/c^2), \gamma_Q^2 = 1/(1-V^2/c^2)$			

Две пары одинаковых *пробных* зарядов « q » расположены на *вертикальной* оси « Oz » с ординатой « z » (« $z \geq 0$ ») и на *горизонтальной* оси « Ox » с абсциссой « x » (« $x \geq 0$ »). Один из зарядов пары – *неподвижный* « q_1 », другой – *движущийся* « q_2 » со скоростью « $v_2 = v$ » вдоль или параллельно *горизонтальной* оси « Ox ».

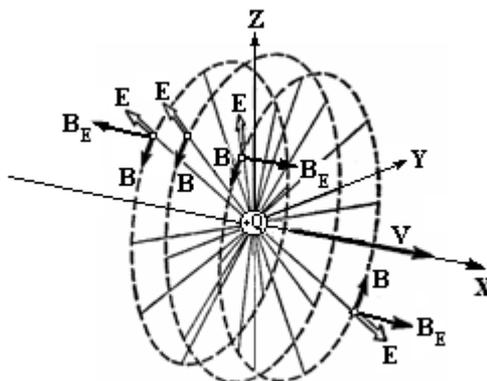


Рис. 2. Электромагнитные поля электрического заряда « Q_+ », движущегося равномерно и прямолинейно со скоростью « V »

Новая запись силы Лоренца « \mathbf{F} », соответствующая табл. 1, 2, имеет вид:

$$\mathbf{F} = k q (\mathbf{E} + (\mathbf{v} \cdot \mathbf{B}_E) \mathbf{B}_E / B_E + [\mathbf{v} \mathbf{B}]), \dots \dots \dots (14)$$

где на *вертикальной* оси « Oz »: « $k = 1$ » для заряда « q_1 »; « $k = \gamma_q$ » для заряда « q_2 »;

$$\langle \gamma_q = 1 / (1 - v^2 / c^2)^{1/2} \rangle; \quad \langle \gamma_Q = 1 / (1 - V^2 / c^2)^{1/2} \rangle;$$

– для *неподвижного* заряда « Q »: « $E_z = E_{0z} = Q / (4\pi \epsilon_0 z^2)$, $z \geq 0$ »; « $E_x = E_y = 0$ »;

$$\langle \mathbf{B} = \mathbf{B}_E = 0 \rangle;$$

– для *движущегося* заряда « Q »: « $E_z = \gamma_Q E_{0z}$ »; « $E_x = E_y = 0$ »; « $B_x = B_z = 0$ »;

$$\langle B_y = -(V / c^2) E_{0z} \rangle; \quad \langle \mathbf{B}_E = 0 \rangle;$$

на *горизонтальной* оси « Ox » « $k = 1$ » для зарядов « q_1 » и « q_2 »:

– для *неподвижного* заряда « Q »: « $E_x = E_{0x} = Q / (4\pi \epsilon_0 x^2)$, $x \geq 0$ »; « $E_y = E_z = 0$ »;

$$\langle \mathbf{B} = \mathbf{B}_E = 0 \rangle;$$

– для *движущегося* заряда « Q »: « $E_x = E_{0x}$ »; « $E_y = E_z = 0$ »; « $B_{E_y} = B_{E_z} = 0$ »;

$$\langle B_{E_x} = (V / c^2) E_{0x} \rangle; \quad \langle \mathbf{B} = 0 \rangle.$$

В случае *неподвижного* силового заряда « Q » отличия *новой* формы записи силы Лоренца « \mathbf{F} » связаны с учётом ЧФ-3 и *эллипсоидальной деформации* электрического поля *движущегося* пробного заряда « q » на оси « Oz ». Отсюда – введение в формулу силы « \mathbf{F} » для *движущегося* заряда « q_2 » на оси « Oz » коэффициента-множителя « γ_q ».

В случае *движущихся* силового « Q » и пробного « q_2 » зарядов, кроме эффектов, обусловленных ЧФ-3 и *эллипсоидальной* деформацией электрических полей зарядов, новая запись формулы силы Лоренца (14) *дополнительно* учитывает действие на *движущийся* заряд « q_2 » *динамических* э/м полей заряда « Q » – известного *магнитного* поля « \mathbf{B} » и нового *магнитного поля* « \mathbf{B}_E » *электрического типа*. Динамические э/м поля возбуждаются *только движущимися* силовыми зарядами « Q » (рис.2) и действуют также *только на движущиеся* пробные заряды « q_2 ».

При *инерциальном* движении зарядов их электрические и магнитные поля перемещаются вместе с ними «*как единое целое*», иначе говоря, э/м поля зарядов распространяются «*мгновенно*». Причина такого парадоксального явления – *необходимость* выполнения первого постулата СТО при условии *конечной* скорости « c » распространения *запаздывающих* электрических полей равномерно *движущихся* электрических зарядов.

4. ПРОВОД С ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

В предыдущих разделах исследовано взаимодействие друг с другом силового и пробных *точечных* зарядов. Из-за сложности постановки опытов это взаимодействие трудно наблюдать непосредственно. В связи с этим представляет интерес рассмотреть взаимодействие пробных зарядов с более доступным и также достаточно простым *интегральным* источником э/м поля – прямолинейным проводом с *постоянным* током.

Для простоты рассмотрения провод полагается *бесконечно длинным* и не учитывается электрическое поле провода, связанное с его *удельной электропроводностью* (рис.3).

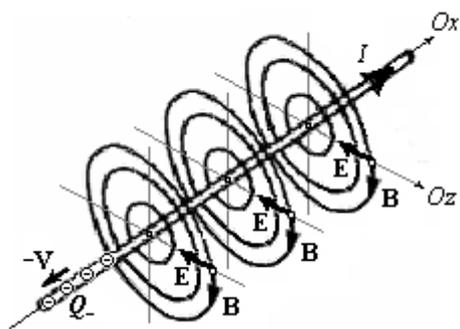


Рис. 3. Э/м поля бесконечно длинного провода с постоянным током « I »

При мысленных экспериментах такой подход позволяет заменить реальный провод его моделью, составленной из двух сближенных бесконечно длинных нитей соответственно с точечными положительными « Q_+ » и отрицательными « Q_- » зарядами с равной ли-

нейной плотностью « $\pm \tau$ ». Нити размещены по оси « Ox » прямоугольной правой системы координат (x, y, z) с вертикальной осью « Oz ». Равномерное **движение** нити « Q_- » со скоростью « $-V$ » (аналог тока электронов) образует постоянный ток « $I = \tau V$ » в положительном направлении оси « Ox ». **Неподвижная** нить « Q_+ » играет роль неподвижной основы провода.

В настоящее время э/м поле провода с постоянным током (без учёта электрического поля, связанного с удельной электропроводностью) считается **чисто магнитным** и по этой причине **электрическое поле** провода даже **не упоминается** в учебной литературе [6, с.203-350]. Однако, не трудно показать, что это положение является лишь **приближением** к реальности, хотя и вполне достаточным в большинстве практических приложений.

Приняв на веру для **неподвижной** системы отсчёта « K » положение о **чисто магнитном** э/м поле провода с постоянным током, пересчитаем магнитное поле « B » на оси « Oz » (« $B_x = B_z = 0, B_y \neq 0$ ») с помощью формул ППЛ в **движущуюся** со скоростью « $-V$ » (в отрицательном направлении оси « Ox ») систему отсчёта « K' ».

В новой системе « K' » ничего принципиально нового с током в проводе не произошло – поменялось лишь состояние движения нитей « Q_+ » и « Q_- », а сила и направление тока остались **неизменными**. Тем не менее, – «**вдруг!**» – появилась **вертикальная** составляющая **электрического** поля « E' »: « $E'_z \neq 0, E'_x = E'_y = 0$ »?! В силу **симметрии** задач этот парадокс явно указывает на существование **напряжённостей** электрических полей провода с током, как в **движущейся** « K' », так и в **неподвижной** « K » системах отсчёта.

Отсутствие **напряжённости** электрического поля « E » в решении задач о магнитном поле провода вполне допустимо, но лишь при **полной** симметрии движения нитей « Q_- » и « Q_+ » относительно друг друга со скоростями « $-v/2$ » и « $v/2$ », то есть в варианте **полной** взаимной компенсации всех составляющих **напряжённостей** « E » электрических полей движущихся зарядов « Q_- » и « Q_+ ». В этом случае на **вертикальной** оси « Oz » должно наблюдаться лишь **чисто магнитное** горизонтальное поле « $B_y = -\mu_0 I / (2\pi z)$ », ортогональное нитям зарядов « Q_- » и « Q_+ ».

Последнее означает, что **напряжённость** « E » является всего лишь одним из **свойств** электрического поля и равенство « $E=0$ » ни в коей мере **не может служить доказательством отсутствия электрического поля**, если не равны нулю два других его **свойства** – **магнитное** поле « B » и **магнитное** поле « B_E » **электрического типа**.

Расчёт э/м полей « E » и « B » **бесконечно длинного** провода с постоянным током « $I = \tau V$ » в точке « $z \geq 0$ » на **вертикальной** оси « Oz » **неподвижной** системы отсчёта « K »

наиболее просто выполнить с помощью формул ППЛ, взяв в качестве исходного э/м поля – электростатическое поле **неподвижной** нити отрицательных точечных зарядов, расположенных с линейной плотностью « $-\tau$ » вдоль горизонтальной оси « $O'x'$ » в **движущейся** со скоростью « $-V$ » системе отсчёта « K' »:

$$E'_{z-} = -\tau / (2\pi\epsilon_0 z'), \quad E'_x = E'_y = 0, \quad \gamma_Q = 1 / (1 - V^2 / c^2)^{1/2}, \dots\dots\dots(15)$$

$$E_z = E_{z-} + E_{z+} = -\gamma_Q \tau / (2\pi\epsilon_0 z) + \tau / (2\pi\epsilon_0 z) = (1 - \gamma_Q) \tau / (2\pi\epsilon_0 z), \dots\dots\dots(16)$$

$$E_x = E_y = 0, \quad B_y = -\mu_0 I / (2\pi z), \quad B_x = B_z = 0. \dots\dots\dots(17)$$

Оценим величину вертикальной составляющей « E_z » (16) электрического поля «**E**» провода с постоянным током на удалении от провода « $z = 10$ см», положив силу тока равной « $I = 10$ А» и среднюю скорость электронов в проводе равной « $V = -2$ мм/с»:

$$E_z = (1 - \gamma_Q) (I / |V|) / (2\pi\epsilon_0 z) \approx B_y |V| / 2 = (-20 \text{ мкТл}) |V| / 2 = -0.02 \text{ мкВ/м} \dots\dots(18)$$

Полученная оценка « $|E_z| < 0.02$ мкВ/м» вследствие её малости действительно позволяет в подавляющем большинстве практических приложений уверенно обходиться без учёта электрического поля провода.

Магнитное поле «**B_E**» **электрического типа** так же, как и «обычное» магнитное поле «**B**» возбуждается только **движущимися** зарядами, в рассматриваемом случае – **отрицательными** зарядами « Q_- » (электронами). Каждый элементарный заряд « Q_- », движущийся со скоростью « $-V$ » вдоль **горизонтальной** оси « Ox » (рис.3), создаёт в окружающем пространстве **горизонтальное осесимметричное энергомагнитное** поле «**B_E**», направление силового вектора которого **впереди по ходу движения** заряда « Q_- » совпадает с направлением его скорости « $-V$ » и имеет **обратное** направление за «спиной» заряда (рис.2). Иначе говоря, помимо «осевой» симметрии поле «**B_E**» заряда « Q_- » обладает «**зеркальной**» симметрией относительно плоскости, перпендикулярной направлению движения заряда.

В случае бесконечно длинного провода с током такой характер поля «**B_E**» элементарного заряда « Q_- » (аналогичный «поведению» горизонтальной составляющей « E_x » электрического поля «**E**» заряда « Q_- ») приводит к «нулевому результату» – отсутствию поля «**B_E**» (и составляющей « E_x ») во всём пространстве, окружающем провод.

5. РЕЛЬСОТРОН

Перейдём к рассмотрению «рельсотрона» – устройства, работоспособность которого практически *полностью* определяется действием *магнитного поля* « \mathbf{B}_E » *электрического типа*. Основными деталями наиболее простой конструкции рельсотрона являются две параллельные металлические шины («рельсы»), которые, с одной стороны, замкнуты на источник постоянного тока, с другой, – на короткую металлическую перемычку длиной « L » («снаряд» рельсотрона), способную свободно скользить по шинам. При включении тока перемычка, сохраняя электрический контакт с шинами, вначале движется с ускорением, а затем, взаимодействуя с силами трения, начинает перемещаться равномерно с постоянной скоростью « V_p » вплоть до конца шин, где она выбрасывается из устройства, действуя на поражение.

В настоящее время работу, совершаемую рельсотроном, связывают с работой силы Ампера « \mathbf{F}_B », «...действующей со стороны магнитного поля на незакреплённый проводник с током» [7, с.425, 426, 441]. Нетрудно показать, что определяемая в ссылке [7] элементарная сила Ампера « $d\mathbf{F}_B$ », действующая на малый элемент « dl » длины проводника с электрическим током « $I = V \tau$ », представляет собой не что иное, как магнитную часть силы Лоренца:

$$d\mathbf{F}_B = I [d\mathbf{l} \mathbf{B}] = V \tau [d\mathbf{l} \mathbf{B}] = \tau dl [\mathbf{V} \mathbf{B}] = dq [\mathbf{V} \mathbf{B}] \dots \dots \dots (19)$$

Согласно (19) сила Ампера (магнитная часть силы Лоренца) *принципиально не может совершать работу*, так как сила « \mathbf{F}_B » ортогональна скорости « \mathbf{V} » перемещения токовых зарядов « q » перемычки. С этих позиций содержание разделов справочника [7, с.441, 442] – «6. Работа перемещения проводника с током в магнитном поле» и последующего «1. Сила Лоренца» – противоречат друг другу. В результате вопрос о природе э/м силы, перемещающей «снаряд» рельсотрона, *до сих пор* (!) остаётся открытым.

Также, как и при анализе э/м полей бесконечно длинного провода, постоянные токи модели рельсотрона удобно представить движущимися лентами (нитьями) с закреплёнными на них положительными « q_+ » и отрицательными « q_- » электрическими зарядами.

На рис.4а приведена упрощённая схема модели рельсотрона, составленная из бесконечно длинных лент с зарядами « q_+ » и « q_- ». Для простоты рассмотрения вместо электронов в качестве *движущихся токообразующих* зарядов выбраны *положительные* заряды « q_+ ». Перемещение *вертикальных* лент с *положительными* зарядами определяет рабочий ток « I » рельсотрона. Неподвижные *вертикальные* ленты с *неподвижными отрицательными* зарядами отвечают *неподвижной* основе шин устройства.

Выбранная система координат (x, y, z) – правая, прямоугольная, с центром координат « O » в начале перемычки и горизонтальной осью « Ox », ориентированной вдоль перемычки (рис.4а).

Перемычка («снаряд») рельсотрона, *движущаяся вверх* по оси « Oz » со скоростью « V_p », *полностью* состоит из *движущихся* зарядов: *отрицательных* « q_- » (перемещаются *вверх* по оси « Oz » со скоростью « V_p » перемычки) и *положительных* « q_+ » (перемещаются в направлении *векторной* суммы « V_Σ » скоростей – скорости « V_p » перемычки и скорости « V » токовых зарядов « q_+ », т.е. в направлении, близком к диагональному, между осями « $+Oz$ » и « $+Ox$ » в плоскости « zOx »). Источники постоянного тока, питающие рельсотрон, включены в нижнюю часть рельсотрона, непоказанную на рис.4а.

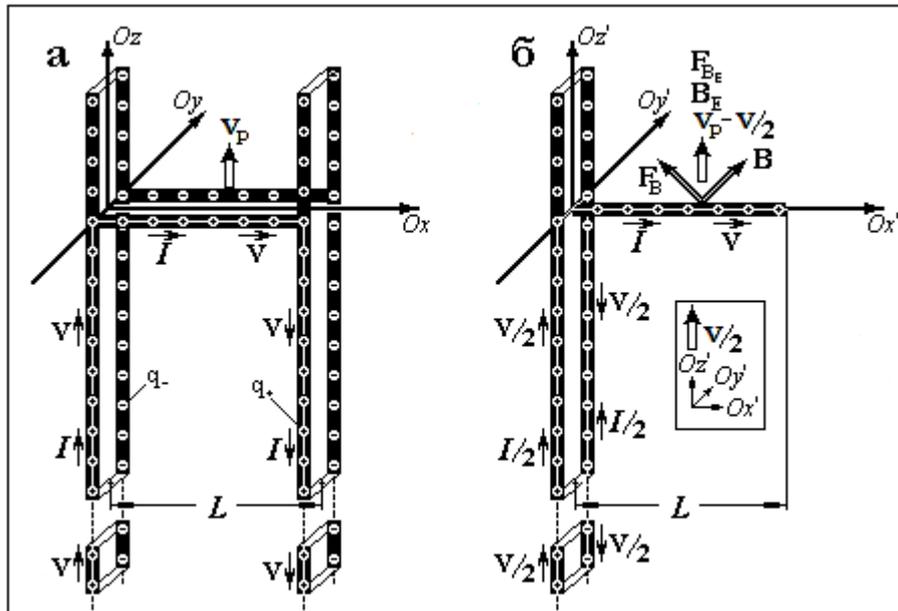


Рис. 4. Схема э/м полей, сил, скоростей и токов 2-х моделей рельсотрона: а – модель рельсотрона с током « I » зарядов « q_+ », б – часть условной модели рельсотрона с одинаковыми вертикальными токами « $I/2$ » зарядов « q_+ » и « q_- » в движущейся системе отсчёта « K' ».

Магнитное поле « B » (рис.4а), действующее на движущиеся заряды « q », перемычки, возбуждается рабочим током « I » *правой* и *левой вертикальных* лент положительных зарядов и ориентировано в *положительном* направлении оси « Oy » (ортогонально перемычке и вертикальной скорости « V_p » её перемещения).

На *положительные* заряды « q_+ » перемычки *силовое действие* « F_B » магнитного поля « B » направлено *перпендикулярно* вектору их *суммарной* скорости « V_Σ » и по этой при-

чине магнитное поле « \mathbf{B} » *не может совершать работу* по перемещению токовых зарядов « q_+ », а следовательно, и самой перемычки.

Движущиеся *отрицательные* « q_- » заряды *перемычки* не являются *токообразующими*, т.к. они перемещаются *вверх* одновременно с *положительными* « q_+ » зарядами и с *одинаковой* скоростью « V_p ». По этой причине *силовое действие* « \mathbf{F}_B » магнитного поля « \mathbf{B} » на движущиеся *отрицательные* « q_- » заряды перемычки можно не учитывать.

Так как магнитное поле « \mathbf{B} » оказалось «*неработоспособным*», эта «обязанность» (работа по перемещению перемычки) должна быть «возложена», либо на безотказное «трудоспособное» *электрическое поле* « \mathbf{E} », либо на новое, но также вполне «трудодобивое» *магнитное поле* « \mathbf{B}_E » *электрического типа*.

Вследствие *движения* зарядов « $\pm q$ » рельсотрона и связанного с этим движением эффектом «эллипсоидальности электрических полей зарядов» (см. раздел 1) взаимодействие зарядов « q_+ » вертикальных лент с зарядами « $\pm q$ » перемычки может создать дополнительную вертикальную «тягу», приводящую перемычку в движение. Однако, этот эффект, по-видимому, крайне незначителен, и не в состоянии обеспечить рельсотрон работой. Тем не менее, желательно вообще *исключить* из рассмотрения *электрическое поле* « \mathbf{E} » рельсотрона и связать анализ его движения лишь с новым видом магнитного поля « \mathbf{B}_E ». Последнее возможно с помощью использованного ранее приёма – введением новой, *движущейся* вертикально вверх со скоростью « $V/2$ », системы отсчёта « K' », обеспечивающей *равенство* по модулю и *противоположность* по направлению электрических полей « \mathbf{E} » движущихся зарядов вертикальных лент.

На рис.4б для системы « K' » показана левая часть условной модели рельсотрона с *одинаковыми вертикальными* токами « $I/2$ », как положительных, так и отрицательных зарядов лент. В этом случае суммирование *электрических* полей « \mathbf{E}' » зарядов разного знака (так же, как и суммирование полей « \mathbf{E}' » этих же зарядов в *отсутствии* токов) приводит к искомому «нулевому» результату – « $\mathbf{E}' = 0$ ».

Силовое действие на перемычку *энергомагнитных* полей « \mathbf{B}_E » правой и левой токовых шин *одинаково* (вследствие эффекта «зеркальной симметрии» полей « \mathbf{B}_E »). Это позволяет вначале ограничиться расчётом действия на перемычку *энергомагнитного* поля « \mathbf{B}_E » лишь левой токовой шины (рис.4б), а затем удвоить полученный результат. Из состава перемычки условной модели на рис.4б исключён также отрезок ленты с отрицательными зарядами, т.к. заряды « q_- », как отмечалось выше, *не образуют токи* при движе-

нии перемычки и, следовательно, не влияют на работу рельсотрона.

Таким образом, задача определения *движущей силы* « \mathbf{F} » рельсотрона сведена к задаче определения *магнитного поля* « \mathbf{B}_E^0 » *электрического типа*, действующего на заряды « q_+ » *горизонтальной* перемычки со стороны *движущихся* со скоростью « $\pm V/2$ » зарядов « $\pm q$ » 2-х левых *вертикальных* лент условной модели рельсотрона (рис.4б).

Расчёт *магнитного поля* « \mathbf{B}_E^0 » *вертикальных* лент в точках перемычки – горизонтальной оси « $O'x'$ », может быть осуществлён путём интегрирования элементарных полей « $d\mathbf{B}_E$ » (14) этих зарядов:

$$dB_{Ez} = E_{0r}V \cos\varphi / (2c^2) = \mu_0(I/2) dl \cos\varphi / (2\pi r^2), \dots\dots\dots(20)$$

$$dB_{Ex} = dB_{Ey} = 0, \quad E_{0r} = \tau dl / (2\pi \varepsilon_0 r^2),$$

где « r » – модуль радиус-вектора « \mathbf{r} », проведённого из токового элемента « dl » вертикальной ленты в точку расчёта э/м поля, « φ » – угол между векторами « \mathbf{r} » и « \mathbf{j} », « $\pm V/2$ » – скорость зарядов « $\pm q$ » вертикальных лент, образующих ток с линейной плотностью зарядов « $\pm \tau$ » и вектором плотности тока « \mathbf{j} ».

Заметим, что расчёт поля « \mathbf{B}_E^0 » можно упростить, выполнив его для *одной* ленты вместо 2-х. С этой целью пару лент с разными знаками зарядов, но с одним и тем же направлением вектора « \mathbf{j} » плотности тока, благодаря эффекту «*зеркальной симметрии*» можно объединить в одну вертикальную ленту с суммарным током « I ». Интегрирование элементарных полей « $d\mathbf{B}_E$ » (20) и учёт осевой симметрии позволяет получить следующее выражения для поля « \mathbf{B}_E^0 » левых токовых лент в точках перемычки:

$$B_{Ez}^0 = [-\mu_0 I / (2\pi)] \int_0^{-\infty} (x^2 + z^2)^{-3/2} z dz = \mu_0 I / (2\pi x) = B_y^0, \dots\dots(21)$$

$$B_{Ex}^0 = B_{Ey}^0 = B_x^0 = B_z^0 = 0,$$

где « B_y^0 » – горизонтальная составляющая «*обычного*» магнитного поля « \mathbf{B}^0 » левых вертикальных лент на оси « $O'x'$ » перемычки.

В случае *неподвижной* перемычки (рис.4а) её заряды « $+q$ » перемещаются строго *горизонтально* и *вертикальная* составляющая « B_{Ez} » магнитного поля « \mathbf{B}_E » согласно (14) не может на них воздействовать (отсутствует *вертикальная* составляющая вектора « \mathbf{j} » плотности *тока* зарядов « $+q$ », т.к. « $\cos\varphi = 0$ »). Напротив, согласно (14) сила действия « F_{Bz} » *горизонтальной* составляющей « B_y » «*обычного*» магнитного поля « \mathbf{B} » на заряды

«+ q» переключки максимальна («sin φ = 1»), направлена **вертикально вверх** и приложена непосредственно к **неподвижной** переключке.

Однако, при **движении** переключки **вверх** по оси «Oz» со скоростью «V_p» (рис.4а) «обычное» магнитное поле «**V = 2V⁰**» «отворачивается» от переключки – ориентируется **перпендикулярно диагональной** пространственной **траектории тока** зарядов «+ q».

Работу по перемещению переключки берёт на себя **исключительно магнитное поле** «**V_E = 2V_E⁰**» **электрического типа**, т.к. при движении переключки **вверх** появляется **вертикальная** составляющая вектора «**j**» плотности **тока** зарядов «+ q», по отношению к которой «cos φ = 1».

Сила «**dF_{BE}⁰**» магнитного поля «**V_E⁰**» **объединённой** левой ленты (рис.4б), действующая на **отдельный токовый** заряд «+ q» переключки, согласно (14) и (21) определяет его **движение вверх** со скоростью «**V_p' = V_p - V / 2**»:

$$dF_{BEz}^0 = \gamma_q q V_p' B_{Ez}^0 = \gamma_q \tau V_p' B_y^0 dx, \quad B_{Ex}^0 = B_{Ey}^0 = dF_{BEz}^0 = dF_{BEy}^0 = 0, \quad \gamma_q = 1/(1 - V^2/c^2)^{1/2} \dots (22)$$

Нельзя не отметить «коварство» природы «обычного» магнитного поля «**V**». Согласно (22) силовое действие **вектора** магнитного поля «**V_E⁰**», **выполняющего реальную работу** по перемещению переключки, оказалось **численно равным** силе «**неработоспособного**» «обычного» магнитного поля «**V**», приложенной к **неподвижной** переключке. Такая эффективная «маскировка» силового действия нового вида магнитного поля «**V_E**» – отличный сюжет для детективной истории.

Суммарную силу «**F = 2F_{BE}⁰**» рельсотрона, действующую на **движущуюся** переключку в целом, определим, выполнив интегрирование элементарных сил «**dF_{BEz}⁰**» (22), (21), приложенных к **токовым** положительным зарядам «+ q» переключки:

$$F_z = \gamma_q V_p' \tau 2 \int_{r_0}^L B_{Ez}^0(x) dx = [\gamma_q \mu_0 I^2 (V_p' / \pi V)] \int_{r_0}^L dx / x = \gamma_q \mu_0 I^2 (V_p' / \pi V) \ln(L / r_0), \dots (23)$$

$$\langle F_x = F_y = 0, \rangle$$

где «**r₀**» – эффективный радиус вертикальных шин рельсотрона.

Выбрав для параметров рельсотрона некоторый ряд численных значений: $V_p' = 10 \text{ м/с}$, $V = 2 \text{ мм/с}$, $\gamma_0 = 5 \text{ см}$, $L = 50 \text{ см}$, $\gamma_q \approx 1$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$, $I = 100 \text{ А}$ получим силу действия «**F_z**» рельсотрона, равную **46 Н**.

ВЫВОДЫ

1. На основе СТО выполнен анализ формулы силы Лоренца для *неподвижных* и равномерно *движущихся* точечных электрических зарядов, который показал, что в отличие от *общепринятых* положений э/м теории 1) электростатическое поле « E » *неподвижного* силового электрического заряда « Q » в общем случае *по-разному* действует на равноудалённые от него *неподвижные* и *движущиеся* пробные заряды « q », 2) наряду с «обычным» магнитным полем « B » равномерно *движущийся* силовой заряд « Q » возбуждает вдоль и параллельно своему движению *магнитное поле* « B_E » *электрического типа*, являющееся по характеру возбуждения и действия близким аналогом магнитного поля « B », в отличие от которого способно совершать физическую работу. В этом отношении новое *энергомагнитное* поле « B_E » в настоящее время является скромным, никому не ведомым тружеником, приводящим в движение различные устройства постоянного тока, в том числе и электромоторы.

2. Для *неподвижных* и равномерно *движущихся* (вдоль или параллельно горизонтальной оси « Ox » правой прямоугольной системы координат « x, y, z ») пробных зарядов « q », расположенных на вертикальной « Oz » и горизонтальной « Ox » осях, и взаимодействующего с ними *неподвижного* или равномерно *движущегося* вдоль горизонтальной оси « Ox » силового заряда « Q », расположенного в начале координат, 1) определены корректирующие *коэффициенты* « k » формулы силы Лоренца, учитывающие состояние движения зарядов « q », и показана необходимость выполнения *частной формы* ЧФ-3 третьего закона Ньютона, а также 2) получено выражение для нового *магнитного поля* « B_E » *электрического типа*, возбуждаемого движущимся силовым зарядом « Q ».

3. Рассмотрено взаимодействие пробных зарядов « q » с э/м полем бесконечно длинного горизонтального провода с *постоянным* током и получены выражения для ранее неизвестной *вертикальной* составляющей « E_z » электрического поля « E » провода.

4. Выполнен анализ э/м полей «рельсотрона» и доказана определяющая роль в силовом действии и работе «рельсотрона» нового *магнитного поля* « B_E » *электрического типа*.

5. Доказательство на основе СТО существования *нового* вида *магнитного* поля для *инерциально* движущихся зарядов, помимо *принципиального* значения, может послужить основой для разработки *новых технических устройств*.

Автор выражает благодарность чл.-корр. РАН проф. В.Г. Румынину, д.ф.-м.н. А.А. Петрову, Л.И. Дукаревичу, к.ф.-м.н. В.Т. Ипполитову за поддержку настоящей работы, а также участникам Дискуссионного клуба ФИАН и особенно модератору форума В.Б. Морозову за внимание к теме работы, её обсуждение и критику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. В 10 т. Т. II. Теория поля. – 8-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003, 536 с.
- [2]. Сапожников Б.Г. Запаздывающее электрическое поле постоянного тока. // Деп. в ВИНТИ РАН 22.06.2010 г., № 389-В2010, 37 с., (см.: www.hge.spbu.ru).
- [3]. Сапожников Б.Г. Запаздывающее электрическое поле постоянного тока. Материалы 5-ой Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли – ЭМЗ-2011. Книга 2.- СПб.: СПбГУ, 2011, 496 с. (с.103-106), (см.: www.hge.spbu.ru).
- [4]. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Сборник задач по электродинамике. М.: ГИФМЛ, 1962. 480 с.
- [5]. Угаров В. А. Специальная теория относительности. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Наука, 1977. 384 с.
- [6]. Тамм И.Е. Основы теории электричества. Изд-е 7. М. 1957. 620 с.
- [7]. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов . Изд-е 7. М.: ГИФМЛ, 1979. 943 с.
- [8]. Сапожников Б.Г. Сила Лоренца и электрическое поле магнитного типа. // Деп. в ВИНТИ РАН 21.01.2013 г., № 28-В2013, 19 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Исправление ошибок автора в работе [2].

1. В формулах (28) исправлена ошибка: произведена замена $\operatorname{rot}(\mathbf{E}_j^s) = U \operatorname{rot} \mathbf{E}_j^s$ на выражение $\operatorname{rot}(U \mathbf{E}_j^s) = U \operatorname{rot} \mathbf{E}_j^s + \operatorname{grad} U \times \mathbf{E}_j^s = \mathbf{V}^s$. Соответственно удалена формула (30) с переоцифровкой последующих выражений (прежняя оцифровка (31) → новая (30) и т.д.).

2. Перед выражением (4) на с.7 уточнено положение точек наблюдений электрического поля \mathbf{E} – “...вне источников поля...”.

3. Дополнительный анализ показал равенство нулю дивергенций, как полного \mathbf{E} , так и запаздывающего \mathbf{E}_t электрических полей $\operatorname{div} d\mathbf{E} = \operatorname{div} d\mathbf{E}_t = 0$. Соответственно в (18), (21) положено $\operatorname{div} d\mathbf{E}_t = 0$, а на с.21 удалён абзац (второй сверху) с записью $\operatorname{div} d\mathbf{E}_t \neq 0$.

4. Ряд ошибок работы [2], отмеченных во введении к настоящей работе, связан с использованием в работе [2] стандартной записи формулы силы Лоренца, не учитывающей состояние движения пробных электрических зарядов.

Исправление ошибок автора в работе [8].

В процессе депонирования статьи [8] автором обнаружен ряд ошибок, о чём было сообщено в отдел депонирования ВИНТИ РАН. К сожалению, процесс оформления статьи остановить не удалось, в связи с чем возникла необходимость депонирования исправленного варианта работы [8] – статьи «Электромагнитные поля силы Лоренца».

В новой работе, по плану изложения и содержанию в значительной мере повторяющую предыдущую, устранены замеченные ошибки в определениях и формулах.

Одна из основных ошибок работы [8] – неправильное определение типа новой составляющей э/м поля. Так, ранее предложенный термин «электрическое поле « \mathbf{E}_m » магнитного типа», заменён в настоящей работе новым – «магнитное поле « \mathbf{V}_E » электрического типа». Строгая определённости термина « \mathbf{E}_m » в работе [8] отсутствовала, т. к. казалось, что новое поле « \mathbf{E}_m » в равной мере имеет черты, как *стандартного электрического* поля « \mathbf{E} » (возможность совершения работы по перемещению электрических зарядов), так и *стандартного магнитного* поля « \mathbf{V} » (возбуждение поля « \mathbf{E}_m » исключительно движущимися электрическими зарядами и действие поля « \mathbf{E}_m » также только на движущиеся заряды).

Однако, один из выводов работы [8] указывает на то, что поля « \mathbf{E}_m » и « \mathbf{V} » не имеют самостоятельного значения и являются лишь производными основного электрического поля. Оба поля выполняет *одни и те же функции* – компенсируют *эффект эллипсоидальности* электрических полей « \mathbf{E} » движущихся зарядов. Отличие состоит лишь в том, что поле « \mathbf{V} » осуществляет компенсацию эффекта на *вертикальной* оси « Oz » (ортогонально движению зарядов), а поле « \mathbf{E}_m » – на *горизонтальной* оси « Ox » (в направлении движения зарядов).

Другая ошибка касается ряда формул работы [8], в которых отсутствует учёт релятивистского эффекта «*сокращения расстояний*» (в связи с движением электрических зарядов по горизонтальной оси « Ox »).

Новый вариант статьи дополнен анализом работы «рельсотрона», показавшим, что работа устройства обусловлена *исключительно* новым видом магнитного поля – *магнитным полем « \mathbf{V}_E » электрического типа*.