К электродинамике движущихся заряженных тел «Релятивистский» закон Кулона Ускорители заряженных частиц

Геннадий Ивченков, к.т.н.
(kashey@kwic.com)

Предложена электродинамическая модель движения заряженных частиц. Из классических уравнений электродинамики выведены “релятивистские формулы” для силы взаимодействия двух движущихся зарядов, такие как преобразования Лоренца, “релятивистский закон Кулона”, а также формулы для силы взаимодействия одиночного заряда с электрическим и магнитным полем. Показано, что не существует никакого “релятивистского увеличения массы” и “релятивистского замедления времени”, а существует ослабление взаимодействия заряженной частицы с этими полями, являющееся следствием формального уменьшения величины заряда при движении заряженной частицы. Проанализировано изменение частоты колебаний электромагнитной волны, излученной движущейся системой зарядов. Показано, что это изменение вызвано уменьшением силы связи между движущимися зарядами и никак не связано с СТО. Все приведенные в данной статье формулы выведены из классических формул электромагнетизма и не имеют никакого отношения к СТО.

Proposed is the theoretical model of features of moving charged particles based on classical electrodynamics. “Relativity formulas”, such as Lorentz Transformation formulas, “Relativistic Coulomb’s Law” and formulas of interaction between moving charged particles and electric and magnetic fields have been obtained from classical equations of electrodynamics. It was shown that do not exist so-called “Relativistic mass” and “Time Dilation”; but only exists the formal declination of charge of moving particles affecting interaction between said charged particle and electric and magnetic fields. Deviation of frequency of electromagnetic wave emitted by moving charges was analyzed. It was shown that such effect is the result of weakening of interaction forces bonding moving charges and it is not an event of Special Relativity. All formulas and conclusions represented in the present article are based on classical formulas of electromagnetism and do not have any relation to Einstein’s S.R.

Ключевые слова: заряд, скорость, сила, энергия, поле.
Key words: charge, speed, force, energy, field.

Введение

В 1905-м году была опубликована статья А. Эйнштейна “ К электродинамике движущихся тел” [1], в которой была представлена “Специальная теория относительности” (СТО), начавшая в результате “продвинутого пиара” свое триумфальное шествие по физике, проникнув во многие ее разделы. Споры вокруг СТО продолжаются уже больше 100 лет, хотя официальная наука считает СТО полностью доказанной и подтвержденной экспериментами. В то же время ряд принципиальных предположений СТО (постулированных “из ничего”), такие, например, как скорость света С (стр. 4 [1]), которая есть максимально возможная, эквивалентность движения магнита и проводника (стр. 1 [1]) и многие другие давно экспериментально опровергнуты.

И принципиально важным является то, что исходным пунктом Эйнштейна при выводе СТО явилась совершенно неоправданная замена длины материального тела нематериальным “путем луча света” (эл.маг. волны), в результате чего галилеев закон сложения скоростей материальных тел был подменен законом сложения скоростей волны (стр. 5, [1])**, в котором, в отличии от галилеева, скорость волны не складывается со скоростью передатчика, но складывается со скоростью приемника.** Далее, путем несложных манипуляций и была получена СТО.

Кроме того, здесь нужно отметить, что в оригинальной работе [1] отсутствует вывод “самой великой формулы всех времен и народов” $E = mC^2$ и, соответственно, нет так называемой “энергии покоя”. А из формул, приведенных на стр. 6 [1], получается, что $\Delta t = \dfrac{\Delta t_0}{1-\dfrac{V^2}{C^2}}$, а не $\Delta t = \dfrac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\dfrac{V^2}{C^2}}}$ согласно СТО.

Далее**, скорость света С появляется только в уравнениях электродинамики** ($C = \dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$) и не может иметь никакого отношения к механике, а **масса заряженной частицы в уравнения электродинамики не входит**.

Да и не может быть “электродинамики движущихся (незаряженных) тел”

Данная статья посвещена реальной электродинамике движущихся зарядов (заряженных частиц), основанной на классических уравнениях электродинамики

1. Силовое взаимодействие зарядов

Рассмотрим силовое взаимодействие движущихся зарядов. Силовое взаимодействие зарядов отличается от взаимодействия проводников с током тем, что проводники электрически нейтральны, а свободные заряды – нет.

Кроме того, экспериментально доказано [2], что магнитное поле не движется с носителем. Движение носителя однородного поля нельзя обнаружить никакими приборами, а движение носителя неоднородного поля проявляется только в измененииии рельефа магнитного поля.

Таким образом, сила взаимодействия системы движущихся зарядов складывается из кулоновых сил и лоренцевых сил, возникающих вследствии движения зарядов, когда один движущийся заряд вызывает появление **неподвижного** магнитного

поля, взаимодействующего со вторым движущимся зарядом. Кстати, это признается (“по умолчанию”) и авторами “Теории поля” [4] (см. «задачу о двух зарядах» в разделе 5).

Теперь предположим, что взаимодействуют два одинаковых по величине одноименных заряда (например, два электрона), движущихся относительно лабораторной системы координат (относительно эфира) в одном направлении с одной скоростью V на расстоянии r параллельно друг другу. Очевидно, что в данном случае кулоновы силы будут расталкивать заряды, а лоренцевы – притягивать. При этом каждый заряд будет лететь в магнитном поле, созданном вторым зарядом (магнитное поле на «свой» заряд не действует).
Суммарная сила (иногда ее называют силой Лоренца, так как он первый ее вывел) описывается формулой $\vec{F}_\Sigma = \vec{F}_q + \vec{L}_l = q\vec{E} + q\left[\vec{V}\times\vec{B}\right]$, [3]

Следовательно, лоренцева сила притяжения движущихся зарядов (второе слагаемое), которые при движении стали токами, будет равна (в скалярной форме):

$$F_l = qVB = qV\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{qV}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q^2V^2}{r^2} \qquad [3] \qquad (1.1)$$

Кулонова сила (первое слагаемое), отталкивающая электрические заряды будет равна:

$$F_q = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{r^2} \qquad [3] \qquad (1.2)$$

А скорость зарядов, при которой сила притяжения равна силе отталкивания, будет равна:

$$V = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = C \ .$$

Следовательно, при скоростях V < C кулоновы силы преобладают и летящие одноименные заряды отталкиваются, но при этом сила отталкивания становится меньше начальной кулоновой и уменьшается при увеличении скорости V согласно зависимости: $F_\Sigma = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q^2}{r^2}\left(C^2 - V^2\right)$ (1.3)

Эту формулу можно представить иначе:

$$F_\Sigma = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q^2C^2}{r^2}\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right).$$

Преобразуем выражение дальше:

$$F_\Sigma = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q^2C^2}{\frac{r^2}{\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right)}} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q^2C^2}{\left(\frac{r}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}\right)^2} \qquad (1.4)$$

Теперь вспомним, что расстояние r – это расстояние между ДВИЖУЩИМИСЯ зарядами. Так что же мы имеем в знаменателе? Правильно, это же релятивистское выражение для расстояния r для «неподвижного наблюдателя». Правда, в отличии

от СТО, здесь это “релятивистское расстояние” перпендикулярно вектору скорости движения зарядов.
Следовательно, выражение будет иметь вид:

$$F_{\Sigma} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q^2C^2}{r'^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{r'^2}, \text{ где } r' = \frac{r}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}} \qquad (1.5)$$

Точно такое же выражение получается для случая взаимодствия двух однонаправленных разноименных зарядов (например, движущихся электрона и позитрона). Только в этом случае заряды притягиваются кулоновыми силами и отталкиваются лоренцевыми.
Очевидно, что выражение (1.5) является как бы законом Кулона, в котором фигурирует «релятивистская длина» r'.
Однако, к СТО это выражение не имеет отношения, так как оно было выведено из классических уравнений электродинамики. Получается, что преобразование Лоренца органически входят в уравнения Максвелла и не удивительно, что эти уравнения инвариантны относительно преобразований Лоренца.

При этом можно предположить, основываясь на формуле (1.5), что при скоростях, близких к С, система зарядов как бы растягивается в поперечном направлении, то есть как бы растягиваются электронные оболочки атомов в направлении, перпендикулярном вектору скорости. Но это никак не должно влиять на размер материального тела, так как расстояния между атомами намного больше размеров электронных оболочек. В то же время, при сверхвысоких давлениях, когда атомы сближаются, движение материального тела с “релятивистскими скоростями” возможно может вызывать реальное изменение его размеров.

Выражение (1.5) объясняет взаимодействие двух движущихся зарядов и системы зарядов. В то же время эксперименты показывают, что и одиночный движущийся заряд в магнитном и электрическом поле меняет свою траекторию, как бы увеличиваясь в массе. Это, вроде бы, было предложено Эйнштейном (в оригинальной статье [1] отсутствует) и сейчас является общепризнаным. Но это также можно объяснить ослаблением силы, действующей на заряд в этих полях. Но почему это происходит?
Преобразуем выражение (1.4) для двух одинаковых зарядов q дальше:

$$F_{\Sigma} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q^2\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)^2 C^2}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\left[q\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)\right]^2 C^2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_V^2}{r^2},$$

где $q_V = q\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)$ (1.6).

Таким образом получается, что при движении частица как бы теряет свой заряд, который полностью исчезает при V = C.

Далее, для двух зарядов разной величины, движущихся с одной скоростью V

получаем: $F_\Sigma = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)^2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_{V1}q_{V2}}{r^2}$ (1.7).

А, также, для двух зарядов, движущихся с разной скоростью V_1 и V_2:

$$F_\Sigma = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1\left(\sqrt{1-\frac{V_1^2}{C^2}}\right)q_2\left(\sqrt{1-\frac{V_2^2}{C^2}}\right)}{r^2}, \quad (1.8)$$

где $q_{V1} = q_1\left(\sqrt{1-\frac{V_1^2}{C^2}}\right)$ и $q_{V2} = q_2\left(\sqrt{1-\frac{V_2^2}{C^2}}\right)$.

Если один заряд неподвижен ($V_2 = 0$), то формула принимает вид:

$$F_\Sigma = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2\left(\sqrt{1-\frac{V_1^2}{C^2}}\right)}{r^2} = F_{\Sigma 0}\left(\sqrt{1-\frac{V_1^2}{C^2}}\right) \quad (1.9),$$

где $F_{\Sigma 0}$ - кулонова сила для двух неподвижных зарядов (формула (1.2)).

Здесь нужно отметить, что в общем случае расстояние между зарядами r_t является переменным, так как заряды движутся относительно друг друга. Кроме того, в случае, когда вектора скорости зарядов не параллельны, в формулы (1.7) и (1.8) входит $\cos\Theta$ ($F = F_{\square}\cos\Theta$), где Θ - угол между векторами V_1 и V_2.

При движении заряда в однородном электрическом поле с напряженностью E, которое создает заряженная поверхность с распределенным по поверхности зарядом (электрод), сила взаимодействия движущегося заряда с полем, опять же, уменьшается на “релятивистский коэффициент”:

$$F_V = F_0\left(\sqrt{1-\frac{V_1^2}{C^2}}\right) = \mathrm{E}q\left(\sqrt{1-\frac{V_1^2}{C^2}}\right).$$

Формулы (1.5, 1.7, 1.8 и 1.9) полностью объясняют ослабление взаимодействия и двух движущихся зарядов между собой и одиночного движущегося заряда с электрическим и магнитным полями.

Физическим смыслом упомянутого ослабления силы притяжения или отталкивания движущихся зарядов является взаимодействие электрического и магнитного полей зарядов, уменьшающее эффективную (действующую) величину движущегося заряда. Кроме того, получается, что при движении зарядов ослабление силы связи происходит во всех направлениях, а не только в направлении, перпендикулярном вектору скорости и, таким образом, можно предположить, что возможно система зарядов равномерно растягивается во всех направлениях (вопрос, впрочем, открытый).

Соответственно, работа, потраченная на разделение двух одинаковых движущихся зарядов $q_1 = q_2 = q$ при удалении их в бесконечность (считая заряд

равномерно распределенным по объему заряженной частицы, например, электрона) определяется как:

$$A_\Sigma = A_{R-\infty} + A_{0-R} = \int_R^\infty F_{r,V}dr = \frac{q_V^2}{4\pi\varepsilon_0}\int_R^\infty \frac{dr}{r^2} + \frac{q_V^2}{4\pi\varepsilon_0 R^6}\int_0^R r^4 dr = \left(1+\frac{1}{5}\right)\frac{q_V^2}{4\pi\varepsilon_0 R} = \left(1+\frac{1}{5}\right)\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right) \quad (1.10)$$

или $A_\Sigma \approx \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 R}\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right)$ без учета второго слагаемого,

где, опять же, $q_V = q\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)$, а R – радиус заряженной частицы. В данном случае, опять же, считается, что заряды имеют одинаковую величину ($q_1 = q_2 = q$) и движутся с одинаковой скоростью V параллельно друг другу.

Если же предположить, что заряд электрона распределен равномерно по его поверхности, а не по объему, то в формуле (1.10) исчезает второе слагаемое и формула для работы разделения (или слияния) зарядов имеет вид:

$$A_\Sigma = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 R}\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right) \quad (1.11).$$

Соответственно, энергия выхода движущегося заряда q из поля движущегося единичного заряда с q = 1 Кл (она фактически является потенциальной энергией электрического поля движущегося заряда q_V) будет равна

$$E_{R-\infty 1} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right) \quad (1.12)$$

Кроме того, из формулы (1.10) следует вывод, что при скорости зарядов равной С (или предельно близкой), энергия разделения (слияния) зарядов становится равной нулю и электронно-позитронные пары распадаются, что, по-видимому и наблюдается на границе черных дыр, где все материальные тела (и пары в том числе) разогнаны до С.

Далее не трудно видеть, что если подставить выражение для движущегося заряда (1.6) в формулу силы Кулона (1.2) или в формулу силы Лоренца $F_l = qVB$, то в результате получатся выражения для силы взаимодействия движущегося заряда в этих полях, полностью совпадающие с “релятивистскими”. Естественно, к СТО это не имеет никакого отношения.

Соответственно, вся так называемая “релятивистская механика”, основанная на “релятивистском возрастании массы” и “релятивистском изменении хода времени в движущей системе координат”, не имеет ничего общего с действительностью.

Теперь проследим за выводом “величайшей формулы всех времен и народов” $E = mC^2$ по материалу “Теории поля” Л&Л ([4], стр. 43 - 45). Кстати, этот вывод “по умолчанию” (у Л&Л много чего “по умолчанию”) относится к незаряженной частице не находящейся в потенциальном поле.

Здесь нужно отметить, что вывод $E = mC^2$ (“энергии покоя”) отсутствует в оригинальной работе Эйнштейна [1], также, как там отсутствует “релятивистское

возрастание массы", "релятивистский лагранжиан" и, соответственно, «переход массы в энергию». Правда, там фигурируют странные формулы для "продольной" и "поперечной" масс ($m_{V=} = \frac{m}{\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)^3}$ и $m_{V\perp} = \frac{m}{1-\frac{V^2}{C^2}}$, см. стр. 27, 28 [1]), которые совершенно не похожи на официальную формулу СТО: $m_V = \frac{m}{\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}$.

Получается, что в [1] фигурирует только "релятивистское время" и "релятивистская длина (стержня)". Таким образом, вывод "великой формулы" появился позднее, вроде бы, в последующей статье Эйнштейна (Einstein A. Annalen der Physik, b.18, 639 (1905)), которую автору данной статьи найти не удалось.

Так или иначе, проверим этот "вывод", опять же, по материалу Л&Л "Теории поля" [4].

Начнем с "релятивистского" лагранжиана.

Интервал времени в движущейся системе координат согласно СТО равен

$t_2 - t_1 = \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}$ или $dt' = dt\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}$,

Действие для свободной частицы равно $S = a\int_a^b ds = \int_{t_1}^{t_2} L dt$, где a - некий коэффициент.

Из этих выражений получается "релятивистский лагранжиан" $L = -aC\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}$.

Далее путем несложных преобразований (сравнением с классическим лагранжианом $L = \frac{mV^2}{2}$ при $C \to \infty$) определяется постоянная a, которая оказывается равна $a = mC$.

Таким образом лагранжиан "превращается" в $L = -mC^2\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}$.

Добавляя туда "релятивистский момент" $\vec{p} = m_{rel}\vec{V} = \frac{m_0\vec{V}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}$ с "возрастающей массой" $\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}$ получаем "релятивистское выражение" для энергии свободной

частицы $E = \vec{p}\vec{V} - L = \frac{mC^2}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}$, из которой следует "самая великая формула всех времен и народов" $E = mC^2$ - "энергия покоя" при $V = 0$.
Очевидно, что если $dt' = dt$ и $m = m_0 = const$, то весь этот "вывод" рассыпается и эта "энергия покоя" равна нулю: $E = \vec{p}\vec{V} - L = mV^2 - \frac{mV^2}{2} = \frac{mV^2}{2}$ и, соответственно, $E_{V=0} = 0$.

Таким образом, эта "величайшая формула всех времен и народов", $E = mC^2$, которую пишут на заборах и которую знает каждый дворник и ребенок в детском саду, является принципиально неправильной и энергия покоящегося (незаряженного и не находящейся в потенциальном поле) тела равна нулю.
И, опять же, в формуле энергии незаряженного тела (частицы) не должна фигурировать скорость света С, так как она появляется только в уравнениях электродинамики: $C = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$.

Следовательно, **нет никакого перехода массы в энергию и обратно**. Дополнительным свидетельством отсутствия "энергии покоя" (то, что эта "энергия" равна нулю) является равенство энергии гамма-кванта, излученного при аннигиляции электрон-позитронной пары (511 КэВ) [5], с энергией электростатического (кулонова) слияния данной пары при V = 0 (см. формулу (1.11)). Это говорит о том, что вся энергия аннигиляции получается только за счет энергии слияния (или разделения при фоторождении) этой пары, связанной силой Кулона, а "энергия покоя" в этом не участвует.

2. Об ускорителях заряженных частиц

В качестве примера взаимодействия движущегося заряда с полем, подставим выражение (1.6) в формулу для периода обращения заряженной частицы в однородном магнитом поле:

$$T = \frac{2\pi}{B}\left[\frac{m}{q_V}\right] = \frac{2\pi}{B}\left[\frac{m}{q\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}\right] = \frac{2\pi}{B}\frac{\frac{m}{\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}}{q} = \frac{2\pi}{B}\frac{m_V}{q} \qquad (2.1),$$

Здесь, при желании, можно увидеть так называемую "релятивистскую массу" $m_V = \frac{m}{\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}$ - (см. [3] стр. 487). Но очевидно, что масса заряженной частицы при движении не возрастает, так как, опять же, **масса заряженного тела никак не**

входит в исходные выражения (1.1) и (1.2), как и во все выражения электродинамики, и полученная "релятивистская масса", которая играет очень важную роль в так называемой "релятивистской механике", реального физического смысла не имеет и является фикцией.

В то же время выражение (2.1) можно представить в виде

$$T = \frac{2\pi}{B}\left[\frac{m}{q_V}\right] = \frac{2\pi}{B}\left[\frac{m}{q\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}\right] = \frac{2\pi}{B}\frac{m}{q_V} \qquad (2.1a),$$

где $q_V = q\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)$ - "ослабленный" за счет движения заряд (см. формулу (1.6)).

При этом масса частицы остается неизменной. Следовательно, из за уменьшения действующей величины заряда, для продолжения разгона заряженной частицы до "релятивистских скоростей" приходится усиливать напряженность полей. Как можно видеть, вследствии того, что в выражении (2.1) масса m и заряд q обратно пропорциональны друг другу ($m \propto \frac{1}{q}$), обе формулы одинаково описывают движение заряженной частицы. Но разница здесь получается принципиальная, что напрямую сказывается на энергетических расчетах ускорителей.

Таким образом, что же получается? Выходит что энергетические расчеты ускорителей принципиально не верны?

А теперь вопрос, интересно, во что же вкладывается энергия в ускорителях? Там, опять же, предполагалось, что при "релятивистских" скоростях возрастает масса заряженной частицы и, соответственно, ее кинетическая энергия. Например, при $\frac{V}{C} = 0.999$ $\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}} \approx 0.045$ и масса "увеличивается" в 22,4 раза. Так как масса не возрастает, то истинная кинетическая энергия частицы будет в 22,4 раза меньше ожидаемой. То есть максимальная величина кинетической энергии частицы будет равна $W = \frac{mC^2}{2}$, как бы ее не разгоняли. Например, максимальная кинетическая энергия электрона будет равна $W = \frac{m_e C^2}{2} = \frac{9.1\times10^{-31}\times9\times10^{16}}{2} = 4.1\times10^{-14}$ Дж или $\frac{4.1\times10^{-14}}{1.6\times10^{-19}} = 2.6\times10^{5}$ эв или 0.26 Мэв. Считается, что при разгоне электрона до 0,5 Мэв масса возрастает примерно в 2 раза ($\frac{m_V}{m_0}$), а при разгоне до 10 Мэв – примерно в 28 раз [6, 7]. Если же масса не возрастает, то энергия разогнанного электрона так и остается порядка 0.26 Мэв. Становится понятным, почему электрон, разогнанный до "очень больших энергий", в атомных реакциях не участвует.

Соответственно, максимальная энергия протона будет порядка 500 Мэв или 0.5 Гэв и ни о каких ускорителях на 200 и 1000 Гэв на частицу говорить не приходится.

Энергия же “вгоняется” в электрические и магнитные поля с которыми частица при очень больших скоростях практически не реагирует.

Но здесь необходимо отметить, что при разгоне заряженных частиц до “релятивистских скоростей” получается интересный и очень важный эффект. Дело в том, что при таких скоростях заряженная частица (например, протон) как бы теряет заряд, становится квазинейтральной и может свободно проникать в вещество (как нейтрон), преодолевая кулонов энергетический барьер и принося с собой свою кинетическую энергию. Таким образом разогнанная частица может инициировать ядерные реакции, такие, например, как синтез тяжелых элементов. И, чем больше разогнана частица, тем меньше ее действующий заряд и тем больше ее проникающая способность. То же, еще в большей степени, относится к ускорителям на встречных пучках, тем более, что обе сталкивающиеся частицы становятся квазинейтральными и потенциальный барьер практически отсутствует (см формулы (1.4, 1.5)).

Теперь определим, на что же, все таки, расходуется энергия ускорителя. Как было упомянуто выше, согласно СТО масса частицы при разгоне в ускорителе растет, ее кинетическая энергия возрастает и, при столкновении с мишенью, часть ее расходуется на преодоление потенциального барьера. Вот на это (опять же, согласно СТО) и уходит энергия ускорителя: $W_{\Sigma kin-CTO} - q_1\varphi = W_{kin-CTO}$ или

$$\frac{\frac{m_0}{\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}V_{\Sigma kin}^2}{2} - \frac{q_0 q_1}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{\frac{m_0}{\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}V_{kin}^2}{2} \qquad (2.2),$$

где q_0 - заряд частицы, потенциальный барьер которой нужно пеодолеть (приблизиться к ней на расстояние r), $q_1 = const$ - заряд разогнаннной частицы, $m_V = \frac{m_0}{\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}$ - “релятивистская масса” частицы, $W_{\Sigma kin-CTO} = \frac{\frac{m_0}{\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}V_{\Sigma kin}^2}{2}$ - полная кинетическая энергия ускоренной частицы с учетом возрастания массы, $W_{kin-CTO} = \frac{\frac{m_0}{\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}V^2}{2} = \frac{m_0\frac{V^2}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}}{2}$ кинетическая энергия, оставшаяся после преодоления потенциального барьера.

В то же время, согласно электродинамической модели, описанной в данной статье, кинетическая энергия частицы при разгоне до скоростей близких к С практически не возрастает, так как не возрастает ее масса, но при этом уменьшается величина заряда, что помогает преодолеть потенциальный барьер.

Вот на это и уходит энергия ускорителя: $\frac{mV_{\Sigma}^2}{2}-\frac{q_0q_1\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}{4\pi\varepsilon_0 r}=\frac{mV^2}{2}$ (2.3),

где $m=const$, $q_1\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}$ - “ослабленный” заряд разогнанной частицы, $W_{kin}=\frac{mV_{kin}^2}{2}$ - кинетическая энергия, оставшаяся у разогнанной частицы после преодоления потенциального барьера.

Теперь умножим правую и левую части выражения (2.2) на $\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)$. В результате получим $\frac{m_0V_{\Sigma kin}^2}{2}-\frac{q_0q_1\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}{4\pi\varepsilon_0 r}=\frac{m_0V_{kin}^2}{2}$, что полностью совпадает с формулой (2.3), выведенной из формул электродинамической модели.

То есть, **энергия частицы, прошедшей кулонов барьер получается в такой же, как и в случае “возрастания массы”, но вот масса-то не возрастает, а энергия ускорителя уходит на нейтрализацию заряда движущейся частицы.** При V = C второй член (энергия потенциального барьера) становится равным нулю и, как было отмечено выше, $W=\frac{mC^2}{2}$. **И это является максимально возможной энергией разогнанной частицы, прошедшей потенциальный барьер**. Нужно отметить, что здесь возникает вопрос, а при торможении частицы в кулоновом поле не возвращается ли энергия, затраченная на нейтрализацию заряда? Но, так или иначе, частица теряет энергию на продаление потенциального барьера согласно формуле (2.3) и кинетическая энергия заторможенной частицы с “восстановленным” зарядом не восстанавливается и, опять же, равна $\frac{m_0V_{kin}^2}{2}$ и, в пределе, $\frac{m_0C^2}{2}$.

Таким образом, разгон частиц до “релятивистских скоростей” имеет физический (и практический) смысл, но совершенно другой, чем тот, который ему приписывает СТО.

И, опять же, к СТО с ее “релятивистской массой” и “релятивистским временем” этот вывод не имеет никакого отношения. И это не альтернатива СТО, а реальность, так как формулы электродинамики имеет приоретет перед СТО потому, что они были получены задолго до Эйнштейна, и, соответственно, СТО является “лишней (ложной) сущностью”, или, выражаясь языком РАН, – лженаукой.

3. К вопросу о кинетической энергии протонов свехвысоких энергий

Как было показано выше, максимальная кинетическая энергия заряженной частицы равна $W_{kin} = \frac{mC^2}{2}$. При этом масса частицы не возрастает, а только уменьшается действующая величина заряда и, соответственно, энергия ее электрического и магнитного полей. Соответственно, уменьшается кулонова сила взаимодействия движущейся заряженной частицы с другими зарядами. Таким образом, частица становится квазинейтральной и может проникать через энергетический барьер, вызывая ядерные реакции.

Дополнительным подтверждением этому являются результаты наблюдений космических лучей, при которых были зарегистрированы протоны с энергией в 3×10^{20} эВ, то есть каждая такая частица будто бы имеет кинетическую энергию в 50 Дж, которая при поглощении неким материалом должна выделить эту энергию в виде тепла в очень малом объеме. При торможении такой частицы в атмосфере образуется ливень из миллионов вторичных частиц, но в твердом теле энергия этих частиц, так или иначе, будет преобразована в тепло. Таким образом, протон с энергией в 3×10^{20} эВ (есть также предположение, что это не протоны, а разогнанные ядра атомов железа) должен был бы механически повредить приемник или, хотя бы, оставить на нем заметные следы:

"*Cosmic ray particles with even higher energies have since been observed. Among them was the Oh-My-God particle observed on the evening of 15 October 1991 over Dugway Proving Ground, Utah. Its observation was a shock to astrophysicists, who estimated its energy to be approximately 3×10^{20} eV (50 J) — in other words, an atomic nucleus with kinetic energy equal to that of a baseball (5 ounces or 142 grams) traveling at about 100 kilometers per hour (60 mph)".* [10]

"*Были недавно обнаружены космические лучи даже больших энергий. Среди них была частица "О мой Бог!", обнаруженная 15 октября 1991 года в Дагвей Провинг Граунд, Юта. Ее открытие явилось шоком для астрофизиков, которые оценили ее энергию в 3×10^{20} эВ (50 Дж) – другими словами это атомное ядро с кинетической энергией равной энергии бейсбольного мяча (5 унций или 142 грамма), летящего со скоростью порядка 100 км/час (60 миль/час).*" (первод Г. И.)

Но никаких следов механического воздействия не зарегистрировано, так как эти 3×10^{20} эВ – это фиктивная энергия, измеренная по магнитной методике (отклонению заряженной частицы в магнитном поле). И эти 3×10^{20} эВ - есть энергия, потраченная на компенсацию заряда, а реальная кинетическая энергия такого разогнанного протона равна 500 МэВ и не больше. Соответственно, он не может нанести видимых повреждений датчику (оставить механические следы на мишени). Также отмечено, что такие частицы приходят не из нашей галактики, а откуда-то издалека. Тогда, согласно существующим моделям взаимодействия элементарных частиц, такие высокоэнергетические протоны должны были бы давно поглотиться межзвездной средой (рассеятся на фотонах фонового излучения) и они, согласно пределу ГЗК (5×10^{19} эВ) [10], теоретически не должны были быть зарегистрированы. Но этот парадокс можно объяснить тем, что заряд этих протонов (или ядер элементов) фактически обнулен и их проникающая способность практически такая же, как у нейтрино. Кроме того, квазинейтральные частицы "по определению" не могут взаимодействовать с электромагнитной

волной (фотонами) и для них предел ГЗК не работает. Далее, известно, что такие частицы регистрируются крайне редко, что, по-видимому, говорит о крайне низкой вероятности их взаимодействия с веществом (скорее всего, такой же, как у нейтрино). Можно также предположить, что на самом деле плотность потока таких частиц велика, но регистрируется только ничтожная их часть.

Кстати, такие протоны при взаимодействии с межзвездной средой могут вызывать ядерные реакции синтеза более тяжелых элементов и наличие тяжелых элементов во Вселенной является следствием этого механизма, а не только ядерных реакций при взрыве сверхновых, тем более, что взрыв сверхновой (и реакции синтеза при этом) протекает в течении дней, а время синтеза сверхэнергетическими протонами не ограничено и составляет миллиарды лет.

4. Частота колебаний системы зарядов при «релятивистских скоростях»

Рассмотренный в разделе 1 частный случай взаимодействия двух зарядов (формула (1.5)) имеет большое практическое значение. Дело в том, что в двужущейся системе зарядов частота колебаний системы уменьшается и, соответственно, увеличивается длина волны излучения, испускаемого данной системой. Так как в атомных часах эталоном является часота излучения атомов (ионов) цезия, водорода и т.д., то часы, установленные, например, на спутнике, отстают от неподвижных часов, находящихся на Земле. Официальная наука приписывает этот эффект некому “замедлению времени” в движущихся системах – одному их главных следствий СТО.

Вернемся к эффекту уменьшения частоты колебаний движущейся системы зарядов. Он элементарно описывается с помощью формулы (1.5) не прибегая к гипотезе “замедления времени”.

Фактически получается, что система разноименных зарядов, например, атом, как бы растягивается в направлении, перпендикулярном вектру скорости **V** из за того, что в этом направлении ослабевает кулонова сила, связывающая заряды. Таким образом, в этом направлении частота колебаний системы УМЕНЬШАЕТСЯ (увеличивается длина волны излучения). В то же время, с энергетической точки зрения направление (плоскость), перпендикулярное, вектору скорости становится предпочтительней для колебаний и, соответственно, вероятность колебаний в данной плоскости возрастает тем больше, чем выше скорость.
Можно проанализировать изменение частоты излучения (колебаний) движущейся системы используя модель гармонического осциллятора.

Ниже приводися фрагмент заметки из интернет-журнала об «очередном самом точном подтверждением СТО»:
Несколько лет назад группа канадских физиков очередной раз «подтвердила» СТО:

«Физики осуществили самую точную проверку релятивистского замедления времени

14.11.2007 14:49 | lenta.ru [9]
Физики проверили точность, с которой специальная теория относительности (СТО) Эйнштейна предсказывает релятивистское замедление времени. Эксперимент - самый точный из проводившихся когда-либо в этой области - показал, что погрешность составляет менее одной десятимиллионной секунды, сообщает журнал Science….
Количественное описание замедления неоднократно проверялось экспериментально (впервые в 1938 году), канадские физики предприняли еще одну попытку. Они использовали известную методику анализа спектра возбужденных ионов, движущихся с околосветовой скоростью. Если для движущегося иона время, с нашей точки зрения, идет заметно медленнее, это отражается на частоте, с которой он излучает электромагнитные волны (свет). Измерив изменение частоты (приводящее и к изменению цвета), можно измерить замедление времени…
Используя ускоритель частиц в институте Макса Планка в Гейдельберге (Германия), ученые разогнали ионы лития до скорости, составляющей шесть процентов от скорости света, привели их при помощи лазера в возбужденное состояние и измерили частоту излучения. Погрешность результатов по сравнению с тем, что предсказывает СТО, составляет менее одной десятимиллионной секунды. По утверждениям исследователей, их эксперимент в десять раз точнее лучших из проводившихся ранее и в сто тысяч раз точнее эксперимента 1938 года.»

Как видно из приведенной заметки, «подтверждение» заключалось в измерении частоты излучения ионов лития, движущихся с «релятивистским скоростями» : Проанализируем эту методику.
Согласно СТО время в движущейся системе течет медленнее, чем в неподвижной:

$$t_V = t_0 \frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}.$$

Тогда частота колебаний (безразлично каких) в движущейся системе (измеренная “неподвижным наблюдателем”) будет меньше, чем в неподвижной:

$\frac{\omega_V}{\omega_0} = \frac{t_0}{t_V} = \sqrt{\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right)}$ или $\omega_V = \omega_0\sqrt{\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right)}$, где ω_V - частота колебаний в движущейся системе, а ω_0 - в неподвижной. Таким образом, измеряя частоту излучения, пришедшего к неподвижному наблюдателю из движущейся системы, по отношению частот $\frac{\omega_V}{\omega_0}$ можно вычислить скорость системы.

Теперь вспомним приведенную в первом разделе статьи формулу (1.5) для «релятивистского» закона Кулона: $F_\Sigma = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q^2C^2}{r'^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{r'^2}$, где $r' = \frac{r}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}}$ - «релятивистская длина».

Или $F_{\Sigma} = \frac{\mu_0}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right)}{r^2}$. То есть, сила связи зарядов уменьшается при увеличении скорости.

Согласно модели гармонического осциллятора, сила, удерживающая электрон в положении равновесия является квазиупругой. Тогда атом можно рассматривать как совокупность гармонических осцилляторов с возвращающей силой $F = -br$, где b – константа упругой связи, а частота излучения в этом случае определяется по формуле $\omega = \sqrt{\frac{b}{m}}$. Предположим, что линейный размер r (расстояние между зарядами) не зависит от скорости, а меняется константа упругой связи (то есть, сила связи зарялов). Тогда возвращающая сила в гармоническом осцилляторе пропорциональна коэффициенту b, то есть $\frac{F_V}{F_{V=0}} = \frac{b_V}{b_0}$. Соответственно, отношение частот гармонического осциллятора будет равно: $\frac{\omega_V}{\omega_0} = \sqrt{\frac{b_V}{b_0}}$.

Как видно из формулы для «релятивистского» закона Кулона, сила связи или, в данном случае, возвращающая сила уменьшается с увеличением скорости и, следовательно, отношение возвращающей силы (и коэффициента b) в случае движущихся и неподвижных зарядов будет выглядеть как $\frac{F_V}{F_0} = \frac{b_V}{b_0} = \left(1-\frac{V^2}{C^2}\right)$.

Тогда отношение частоты излучения движущихся и неподвижных ионов будет равно: $\frac{\omega_V}{\omega_0} = \sqrt{\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right)}$ и, соответственно, $\omega_V = \omega_0\sqrt{\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right)}$ (4.1)

Кстати, такая же формула получается, если предположить, что коэффициент b не меняется, а увеличивается линейный размер r.

Таким образом, формула (4.1) получается точно такая же, как и в СТО. При этом надо не забывать, что вывод этой формулы не имеет к СТО никакого отношения и никак не связан с «замедлением времени».

5. Выводы

По всей видимости, опыты Кауфмана были изначально неправильно интерпретированы Лоренцом, Пуанкаре и Эйнштейном (и его последователями), хотя такой выдающийся физик, как Лоренц мог бы и догадаться до столь простого объяснения открытого им эффекта, просто анализируя выведенную им же формулу для суммарной силы (см. раздел 1). Далее, паразитируя на преобразованиях Лоренца, подгоняя их под результаты экспериментов, Эйнштейн и его последователи создали некую “философию релятивизма” с ее принципиально неправильными выводами и следствиями, такими, как “релятивистское замедление времени”, “релятивистское увеличение массы”, “релятивистский принцип

причинности” и т.д. Адепты ТО, такие как Ландау, пошли еще дальше, сведя всю электродинамику к СТО [4].

Преобразования же Лоренца не имеют никакого отношения к “замедлению времени” и “увеличению массы движущегося тела”. Как показано в разделе 1 данной статьи, изменяется только сила связи движущихся зарядов и сила их взаимодействия с электрическим и магнитным полями.

Надо сказать, что в «Теории поля» [4] в конце 38-й главы приведена задача как раз на силу взаимодействия движущихся зарядов. В частном случае, рассмотренном в данной статье, $\sin\Theta = 1$, т.к. $\vec{r} \perp \vec{V}$. Тогда по Ландау

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{r^2}\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}} \qquad (4.1),$$

а в данной статье выражение получается $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{r^2}\left(1-\frac{V^2}{C^2}\right)$. Выводы похожи, но Ландау с самого начала априори подставил в выражение для электрического потенциала “релятивистский коэффициент”:

$$\varphi = \frac{\varphi'}{\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}} \text{ или } \varphi_V = \varphi_0\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}} \qquad (4.2).$$

Кстати, рассмотрим выражение (4.2). Потенциал электрического поля единичного заряда равен $\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ [3].

Подставляя выражение (1.6) для движущегося заряда в формулу для потенциала электрического поля, получим:

$\varphi_V = \frac{q\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)}{4\pi\varepsilon_0 r} = \varphi_0\left(\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}\right)$, что совпадает с “релятивистской” формулой (4.2).

Получается, что потенциал электрического поля движущегося заряда формально падает, так как сама величина заряда как бы уменьшается. **Но этот “релятивистский потенциал” является следствием компенсации, выводится из формул (1.5, 1.6, 1.7 и 1.8) и автоматически входит в формулу (1.6) для F_Σ. Соответственно, он не должен априори присутствовать в формуле (4.1), как у Ландау.**

Получается же, что в приведенной в [4] задаче Л&Л фактически использовали $\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}$ дважды. Таким образом в выражении (4.1) был потерян член $\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}$ и оно стало бессмысленным.

И, еще раз повторяясь, в данной статье все “релятивистские” выражения (и преобразования Лоренца) выведены из классических формул электродинамики безо всякой СТО.

Здесь нужно отметить, что автор не имеет претензий лично к Эйнштейну. Эйнштейн мог выдумать и написать все, что угодно, его право. Таких

“эйнштейнов”, открывающих вселенские законы, полно на интернетных сайтах, например, на http://new-idea.kulichki.net/?mode=physics - там каждый “эйнштейн”. Но вот некие околонаучные силы сделали из крайне сомнительной СТО и ОТО величайшую теорию “всех времен и народов”, а из Эйнштейна – величайшего ученого тоже “всех времен и народов”. “Внедрение” ТО в науку нанесло ей колоссальный вред. Оно административно закрыло, например, исследование структуры “физического вакуума” (он же эфир), который, как оказалось – не пустое пространство, а фундаментальная основа мироздания.

Анализируя вышеприведенные формулы можно сделать следующие выводы:

- При движении заряженной частицы ее масса не возрастает и остается постоянной. Также не “замедляется время” в движущейся системе координат.
- При движении заряженной частицы в результате компенсации уменьшается сила связи между зарядами и формально уменьшается действующая величина заряда, что вызывает уменьшение силы, воздействующей на заряд в электрическом и магнитном полях.
- “Великая формула” так называемой “энергии покоя” $E = mC^2$ получена в результате неправильного вывода и является фикцией. Таким образом, эта “энергия “ равна нулю.
- Максимальная кинетическая энергия заряженной частицы равна $W_{kin} = \frac{mC^2}{2}$, как бы ее не разгоняли. При этом масса частицы не возрастает, а только уменьшается действующая величина заряда и, соответственно, энергия ее электрического и магнитного полей. Соответственно, уменьшается кулонова сила взаимодействия движущейся заряженной частицы с другими зарядами. Таким образом, частица становится квазинейтральной и может проникать через энергетический барьер, вызывая ядерные реакции.
- С достаточным основанием можно предположить, что заряды движутся ОТНОСИТЕЛЬНО некой среды (ее можно назвать “тонкой составляющей эфира” или “темной энергией”), ответственной за все электромагнитные взаимодействия [8]; тогда направление их движения и наличие или отсутствие ускорения никак не скажется на эффекте уменьшения силы связи между зарядами. Это значит, что не имеет значение удаляются ли, например, атомные часы или приближаются к некой системе, неподвижной относительно “тонкой составляющей эфира”. Отставание часов (не путать с “замедлением времени”) будет определяться только относительной скоростью системы зарядов и “тонкой составляющей эфира” независимо от направления движения. Таким образом “парадокс близницов” элементарно решается, но, опять же, к “замедлению времени” и СТО это не имеет никакого отношения, а этими “близнецами” являются атомные часы. То есть часы “близнецы”, отправленные с околосветовой скоростью и возвращенные обратно будут отставать согласно формуле (3.1).
- Опять же, упомянутый эффект отставания часов никак не связан с “замедлением времени” СТО, время здесь ни при чем и данный эффект к

механическим колебаниям нейтральных тел не относится. По всей видимости, замедление колебаний системы зарядов никак не скажется на жизненном цикле организма (вопрос, впрочем, спорный) так, что близнецы будут так же стареть как на земле, а вот часы на гипотетическом корабле должны быть основаны на другом принципе, не связанном с колебаниями системы зарядов.

- Кулонова сила больше лоренцевой при скоростях $V < C$. Силы сравниваются при V = C и дальше лоренцева сила преобладает. Тогда получается, что при скорости движения, равной или больше скорости света, системы зарядов распадаются. Таким образом, выходит, что полностью ионизируются атомы и положительные заряды отталкиваются от отрицательных. Естественно, осциллятор при этом не работает и излучения не будет, вместо этого будут наблюдаться потоки положительно и отрицательно заряженных частиц, отталкивающих друг друга. Так как ядра атомов связывает не столько кулоновы силы, сколько внутриатомные взаимодействия, то протоны и нейтроны сохранятся и атомные ядра - тоже, но электроны, связанные с ядром кулоновыми силами, покинут атомы. Излучение в видимом (и УФ) диапазоне от сверхсветовой струи материи наблюдаться не будет, так как электронные оболочки будут разрушены. Единственно, что может свидетельствовать о наличии такой струи, это может быть гамма (рентгеновское) излучение, вызванное внутриатомными переходами в атомах струи и тормозным механизмом (в том числе возможным черенковским излучением). Могут возразить: “Предложенный вариант - пессимистический, выходит, что сверхсветовые скорсти человечеству недоступны?”. Ответ, скорее всего оно возможно, но необходимо на поверхности объекта, движущегося со сверхсветовой скоростью, приложить магнитное поле в противоположном направлении и компенсировать лоренцеву силу.
- Приведенная в данной статье электродинамическая модель движения заряженных частиц полностью описывает результаты экспериментов и результаты практических применений ускоренных частиц. Это является не альтернативой СТО, а физической реальностью, так как формулы классической электродинамики имеет приоретет потому, что они были получены задолго до Эйнштейна, и, соответственно, **СТО является “лишней (ложной) сущностью”,** к тому же, дающий ошибки.

6. Список литературы

1. A. Einstein, “К электродинамике движущихся тел”, перевод, “Собрание научных трудов” под ред. И.Е. Тамма, М, Наука, 1966, т.1 стр. 7.

2. Г. Ивченков, «Магнитное поле – статическое образование, не принадлежащее носителю поля, или парадокс униполярных машин», http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11565.html
3. Б. Яворский, А. Детлаф, Справочник по физике, Москва, 1964
4. Л. Ландау, Е. Лифшиц, «Теория поля», Том II, издание седьмое, Москва, 1988
5. А.А. Гришаев, “Новый взгляд на аннигиляцию и рождение пар”, Государственный эталон времени-частоты, ФГУП “ВНИИФТРИ”, http://newfiz.narod.ru/annigil.html
6. “Ускорители заряженных частиц”, http://portal.tpu.ru/SHARED/k/KRAVCHENKONS/rabota/avtf/Tab1/lek12.pdf
7. “Эквивалентность массы и энергии”, Википедия, https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D0%B2%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D1%8B_%D0%B8_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B8
8. Г. Ивченков, «Токи смещения в металлах, диэлектриках и в вакууме», http://new-idea.kulichki.net/pubfiles/110117205435.doc
9. 14.11.2007 14:49 | lenta.ru
10. “Ultra-high-energy cosmic ray”, https://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-high-energy_cosmic_ray