

**Метрологический анализ деформаций размерностей и уравнений связи
электромагнитных величин в системе СГС**

А.С. Чуев, кандидат технических наук

chuev@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Аннотация: Показывается универсальность формы и двойственность определения силовой характеристики любого физического поля – со стороны пробного элемента и элемента, создающего поле. При правильном определении напряженностей электрического и магнитного полей их размерности оказываются связанными через скорость. В некоторых системах единиц, использовавшихся в прошлом, в том числе в СГС, указанное соотношение размерностей не соблюдается, что указывает на их метрологическую ущербность и деформированность. Однако, недостаток системы СГС, заключающийся в неразличимости по размерности напряженностей электрического и магнитного полей и совпадении размерностей ряда других электромагнитных величин, физики-релятивисты стали считать преимуществом данной системы, отказывая в истинности международной системе единиц СИ. В работе поясняется ошибочность таких взглядов.

Ключевые слова: электромагнитные величины, системы единиц величин, СГС, СИ

Скорее мы сознаемся в наших нравственных заблуждениях, ошибках и
прегрешениях, чем в научных.

Иоганн Вольфганг Гёте

Общеизвестна приверженность физиков-релятивистов (к сожалению, не только их, но и части метрологов) системе единиц СГС, которую они считают соответствующей современным физическим взглядам, а систему СИ – не соответствующей им [1-3]. Доказательство правоты своей точки зрения релятивисты строят на математическом объяснении магнитных явлений, как проявлении релятивистских эффектов электричества. С точки зрения физиков-релятивистов магнетизма, как такового, вообще не существует.

Не будем обсуждать еще более удивительное положение, что с их точки зрения и гравитации не существует, а ее мы ощущаем как кажущееся явление из-за пребывания нас в «искривленном» пространстве-времени. Рассмотрим лишь некоторые исходные размерностные соотношения электромагнетизма и обсудим, есть ли метрологические

основания считать систему СГС исключительно верной в отображении законов электромагнетизма.

Электрические и магнитные поля обнаруживаются, как физические сущности, по их силовому воздействию на *электрические заряды* и *токовые элементы* (движущиеся заряды). Математическое описание этих полей обычно начинается с определения силовой характеристики – *напряженности* поля. Правда, в магнетизме исторически сложилось так, что силовую характеристику стали называть не *напряженностью*, а *индукцией* магнитного поля, обозначая ее буквой B . Далее в общем плане мы будем называть ее *напряженностью*.

Силовая характеристика (*напряженность*) любого поля определяется двояко. Во-первых, со стороны пробного тела, представленного: *зарядом* (для электрического поля), *элементом тока* (для магнитного поля) или *массой* (для гравитационного поля). Отметим, что в электромагнетизме силовую характеристику поля можно определить и по силовому воздействию на диполи, но это не принципиально для размерностного определения данной характеристики.

Единичное значение той или иной из указанных характеристик пробного тела определяет числовое значение *силы*, которая воздействует на пробное тело с соответствующим единичным параметром (например, *зарядом*). При увеличении или уменьшении данного параметра пробного тела в n -ое количество раз в то же количество раз увеличивается или уменьшается и *сила*, воздействующая на тело. То есть отношение действующей *силы* к пробным *заряду* $q_{\text{пр}}$, *элементу тока* ($I = jV = qv$) $_{\text{пр}}$ или *массе* $m_{\text{пр}}$ в одной и той же точке поля остается неизменным. Тем самым указанное отношение характеризует само поле, точнее, силовую характеристику (*напряженность*) поля в месте расположения пробного тела, условно принимаемого точечным.

Для электрического и магнитного полей силовая характеристика со стороны точечного пробного тела с соответствующим параметром определяется как:

$$E = \frac{F}{q_{\text{пр}}}; \quad \text{и} \quad B = \frac{F}{(I)_{\text{пр}}}. \quad (1)$$

Из этих определяющих выражений вытекает размерностное соотношение силовых характеристик двух полей: электрического и магнитного

$$\frac{E}{B} = \frac{I}{q}. \quad (2)$$

Принимая во внимание общепринятое соотношение между *зарядом* и *силой тока* $q = I \cdot t$, мы приходим к истинному размерностному соотношению между силовыми параметрами электрического и магнитного полей. Отношение их размерностей равно

размерности *скорости*. Это соотношение единственно возможное, поэтому его можно считать абсолютно верным:

$$\frac{E}{B} = \frac{l}{t} = v. \quad (3)$$

Поскольку система единиц СГС данному соотношению не соответствует, дальнейшие разъяснения можно и не приводить. Однако целесообразно вскрыть истоки и причины отмеченного несоответствия. Для этого рассмотрим второе определение силовой характеристики поля – со стороны активного элемента (параметра) тела, создающего поле.

Силовая характеристика любого поля со стороны точечного тела с параметром, создающим поле, определяется по «закону обратных квадратов». Согласно этому природному закону, *сила* и соответствующая ей *напряженность* поля в трехмерном пространстве убывают одинаково - обратно пропорционально квадрату расстояния (r) от тела, создающего поле. При этом убывание зависит от свойств среды. Убывание может быть более сильным или более слабым по сравнению с убыванием в чистом пространстве - вакууме. Особенно заметно влияние пространственной среды в магнетизме, поскольку материальные (вещественные) среды способны как усиливать, так и ослаблять магнитное поле, существующее в вакууме.

Таким образом, первое определение силовой характеристики поля – со стороны пробного элемента не учитывает и не может учитывать наличие среды, а второе определение той же характеристики – со стороны элемента, создающего поле, наличие среды учитывает обязательно. В реальности влияние среды проявляется в существовании и вариации таких параметров, как скорость распространения полевых возмущений – электромагнитных волн, волнового *сопротивления* и *проводимости*.

Для электрического и магнитного полей силовая характеристика поля, определяемая со стороны активных элементов, создающих поле (обозначим эти элементы q_0 и $(Il)_0$ и примем пренебрежительно малыми в размерах), определяется в скалярном виде на расстоянии r , так:

$$E = k_1 \frac{q_0}{r^2}; \quad \text{и} \quad B = k_2 \frac{(Il)_0}{r^2}. \quad (4)$$

По этим определяющим выражениям размерностное соотношение для силовых характеристик E и B имеет вид:

$$\frac{E}{B} = \frac{k_1 t}{k_2 l}. \quad (5)$$

С учётом выражения (3) соотношение коэффициентов $\frac{k_1}{k_2}$ получает однозначную размерность в виде квадрата размерности *скорости*.

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{l^2}{t^2}. \quad (6)$$

Максвелл установил, что это соотношение численно равно квадрату скорости света и определяется оно природным соотношением электростатической силы и силы магнетизма во взаимодействии движущихся зарядов.

Таким образом, если не подвергать сомнению и строго выполнять соотношение (3), то имеется некоторая свобода (или неопределённость) в выборе размерности коэффициентов k_1 и k_2 . Например, если один из коэффициентов принять безразмерным и единичным, тогда другой коэффициент принимает размерность и значение квадрата скорости света. Возможно и обратное соотношение. В частном случае в качестве размерностного коэффициента k_1 можно взять *скорость*, тогда коэффициент k_2 получит размерность обратную *скорости*. В работе [4] приводится таблица значений k_1 и k_2 , использовавшихся в различных системах единиц.

Таблица 1. Размерностные коэффициенты уравнений связи электромагнетизма

Система	k_1	k_2	α	k_3
Электростатическая	1	$c^{-2} (t^2 l^{-2})$	1	1
Электромагнитная	$c^{-2} (l^2 t^{-2})$	1	1	1
Гауссова	1	$c^{-2} (t^2 l^{-2})$	$c (l t^{-1})$	$c^{-1} (t l^{-1})$
Хевисайда–Лоренца	$\frac{1}{4\pi}$	$\frac{1}{4\pi c^2} (t^2 l^{-2})$	$c (l t^{-1})$	$c^{-1} (t l^{-1})$
Рационализованная МКС	$\frac{1}{4\pi \epsilon_0} = 10^{-7} c^2$ $(m l^3 t^{-2} q^{-2})$	$\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$ $(m l q^{-2})$	1	1

Интересно, что вариант со значениями $k_1 = c$ и $k_2 = c^{-1}$ (c – скорость света) не нашёл практического применения, хотя он вполне мог бы конкурировать с гауссовой системой. По этому варианту системы, даже в четырёхразмерном ее представлении [5, 6], *сопротивление* и *проводимость* оказываются безразмерными, а *заряд* и *магнитный*

поток становятся одинаковыми по размерности, образуя подобно системе СГС каскад электромагнитных величин с дробными размерностями.

Надо отметить, что в таблице Дж. Джексона наряду с коэффициентами k_1 и k_2 содержатся дополнительно использовавшиеся в двух системах единиц коэффициенты α и k_3 . Вот что говорится в работе [4] по поводу этих дополнительных коэффициентов.

«Вектор магнитной индукции \mathbf{B} может быть определен на основании закона взаимодействия токов Ампера как величина, пропорциональная силе, действующей на единичный ток, причем постоянный коэффициент пропорциональности α может быть выбран размерным, если это окажется удобным. Таким образом, величина (и размерность) магнитной индукции на расстоянии d от длинного прямолинейного проводника, несущего ток I (здесь мы его обозначим I_0), определится формулой

$$B = 2k_2\alpha \frac{I_0}{d}. \quad (7)$$

Кому оказалось *удобным* выбрать размерным значение α стало ясно только теперь. Выбор коэффициента α с размерностью *скорости* обеспечил совпадение размерностей двух напряженностей: E и B . На этом основании физики-релятивисты стали считать магнетизм релятивистским эффектом проявления электричества. Магнетизм, как самостоятельное физическое явление, стал отрицаться, а в формулах системы СГС этому находилось подтверждение.

Однако с введением размерного коэффициента α гауссова система перестала соответствовать универсальным соотношениям (3) и (4) и с метрологической точки зрения она оказалась деформированной. (Уравнений связи физических величин должны быть едины для любых систем единиц, поскольку эти связи выражают законы Природы). В гауссовой системе единиц размерность коэффициента k_2 фактически (если учитывать размерность α) получилась обратной размерности скорости ($k_2 = c^{-1}$), а коэффициент k_1 остался безразмерным.

В работе [4] показывается, что коэффициенты α и k_3 , использованные в системах Гаусса (СГС) и Хевисайда–Лоренца, обратны друг другу, общее соотношение четырех коэффициентов имеет вид

$$\frac{k_1}{k_2 k_3 \alpha} = c^2, \quad (8)$$

поэтому соотношение (6) автоматически выполняется.

Однако с метрологической точки зрения применение коэффициентов α и k_3 никак нельзя считать обоснованным или оправданным. При размерном α выражение (7) оказывается неправомерным потому, что оно противоречит определению B не только по

формуле (4), но и по формуле (1). Некорректное определение в системе СГС *индукции* B со стороны элемента, создающего поле, привело к изменению и определяющего уравнения для B со стороны пробного элемента $(I)_{\text{пр}}$. В системе СГС уравнение типа (1) для B стало содержать ничем не оправданный множитель в виде скорости света. **Тем самым была нарушена единая логика и единый подход в определении силовой характеристики любого поля со стороны пробного элемента.**

Куда смотрели и до сих пор смотрят метрологи – остаётся непонятным, но равенство размерностей E и B с воодушевлением стали отстаивать физики-релятивисты, которые увидели в этом соотношении метрологическое подтверждение доказательствам теории относительности об отсутствии самостоятельного физического смысла в явлениях магнетизма.

Поскольку произведённое изменение размерности индукции B сопровождалось и изменением размера ее единицы, то это повлекло за собой необходимость введения поправочного (компенсирующего) коэффициента во все уравнения связи, в которых присутствует индукция B или определяемые ею величины [7]. Уравнения связи, которые в СГС подверглись деформациям или вынужденной корректировке, приведены в таблице 2. Уравнения связи приведены далеко не все, только часть из них.

Таблица 2. Деформации определяющих уравнений системы СГС

Физические величины и уравнения связи, деформация которых определилась деформацией (увеличением в c раз) единицы <i>магнитной индукции</i> и других ФВ, обусловленных этим изменением	
Исходная деформация системы СГС в законе Био–Савара–Лапласа $d\vec{B} = \mu_0 c \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3} = \frac{1}{c} \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$	Вынужденное искажение определяющего уравнения для B со стороны пробного элемента $(I)_{\text{пр}}$ $B = \frac{1}{c} \frac{F}{(I)_{\text{пр}}}$
Потокосцепление и магнитный поток $\Psi = \Phi = cBS$ оказались увеличенными в c раз	Единицу индуктивности дополнительно увеличили в c раз: $L = c \frac{\Psi}{I}$
$p_m = \frac{1}{c} IS$ уменьшено из условия $\vec{N} = [\vec{p}_m \vec{B}]$	$W = \frac{1}{c^2} \frac{LI^2}{2}$
$H = \frac{1}{c} \frac{2I}{b}$ уменьшено из-за увеличения B	Принято в СГС: $\vec{H} = \vec{B} - 4\pi\vec{J}$. В гауссовой системе без деформаций: $c\vec{H} = \frac{1}{c} \vec{B} - 4\pi c\vec{J}$ или то же самое в иной форме: $\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - 4\pi\vec{J}$
$\vec{J} = \frac{\vec{p}_m}{V}$ скрытно уменьшено	

$ \nabla\vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} $	Формула $w = \frac{H^2}{8\pi}$, скрывает реальное соотношение: $w = \frac{\mu_0 H^2}{8\pi} c^2$
$F = \frac{q}{c} [\vec{v}\vec{B}]$	$S = \frac{c}{4\pi} [\vec{E}\vec{H}]$
$A = \frac{1}{c} I\Delta\Phi = \frac{1}{c} I\Delta(BS)$	$E = -\frac{1}{c^2} \frac{d\Psi}{dt}$

Примечание: В таблице 2 отдельные формулы показаны в форме, естественной для недеформированной гауссовой системы, в которой $\epsilon_0 = 1$, $\mu_0 = c^{-2}$; некоторые уравнения связи по форме соответствуют уравнениям связи в системе СИ, но без их рационализации.

Коротко прокомментируем данные таблицы 2. В системе СГС с целью сохранения уравнения связи для механического *крутящего момента*, действующего на магнитный диполь, пришлось уменьшать числовое значение единицы *магнитного дипольного момента* на коэффициент, равный *скорости* света. Далее пришлось изменять все физические величины, связанные определяющими уравнениями с *магнитной индукцией* и *магнитным дипольным моментом*. Тем самым в СГС многие величины получили в своих определяющих уравнениях физически ничем не оправданные множители в виде скорости света.

Заметим, что присутствующие в электростатической и электромагнитной системах единиц коэффициенты k_1 и k_2 в виде скорости света во второй степени (см. табл.1) имели определённый физический смысл. По сути, они представляли собой выбранные значения ϵ_0 и μ_0 , характеризующие (в совокупности с *электрическим зарядом*) электромагнитные свойства физического вакуума. Те же самые величины определяют *потенциальное действие* сил соответствующих полей (по размерности $\frac{q^2}{\epsilon_0} = 2\mu_0 (Il)^2 = F \cdot 4\pi r^2$).

Вторым шагом, дополнительно искажившим систему СГС, стало, по мнению автора, стремление уйти от получаемого (при указанном изменении B) множителя в виде скорости света в определяющем уравнении для *индуктивности*. Коэффициент, содержащий скорость света в определяющем уравнении для *индуктивности* выглядел бы нелепо и от него искусно избавились. Произошло это следующим образом. Поскольку *индуктивность* выражается через *магнитный поток* и *силу тока* уравнением $L = \Phi/I$, а *магнитный поток* связан с *магнитной индукцией* через *площадь* ($\Phi = BS$), то искажения *индукции* B автоматически переносились и на *индуктивность*. Тогда, с учётом

неизбежного прохождения в определяющее уравнение *индуктивности* скорости света (от увеличенного в размере потока Φ) и скрытого присутствия в этом уравнении своеобразного $\mu_0 = \frac{1}{c^2}$ (в неискаженной гауссовой системе и в СИ формула *индуктивности* обязательно содержит μ_0), единицу измерения и размерность *индуктивности* еще раз умножили на скорость света, получив в итоге благовидную формулу:

$$L = \frac{BS}{I} = 4\pi\mu \cdot n^2 l S. \quad (9)$$

Правда, полностью скрыть это действие не удалось. В формулу, определяющую энергию индуктивности с протекающим в ней постоянным током, пришлось ввести поправочный коэффициент, равный скорости света в минус второй степени. Ведь с единицей энергии произвольно обращаться не получается, и все манипуляции с размерностями становятся явными.

Вследствие описываемых манипуляций в СГС размерность *индуктивности* стала такой же, как и у *ёмкости* и обе величины стали измеряться в сантиметрах. По отдельности это почти незаметно и не представляло особых затруднений, но в электро- и радиотехнике используют резонансные контуры. Так вот, резонансная частота этих контуров стала измеряться в обратных сантиметрах, что с физической точки зрения является полной нелепицей. Таким образом, простой резонансный *LC* контур на практике опровергает все домыслы релятивистов (и заблудших метрологов) об исключительной истинности системы СГС в области электромагнетизма [8].

В таблице Джексона интерес представляет расшифровка размерности коэффициента k_1 в системе МКС, которая является прототипом для СИ. Согласно таблице 1 вторая степень скорости света представляет собой по величине и размерности следующее соотношение:

$$\frac{c^2}{10^7} = (ml^3t^{-2}q^{-2}). \quad (10)$$

Оказывается, это соотношение соблюдается не для единичных параметров m , t и q , а для их значений в виде фундаментальных физических констант. Подстановкой в выражение (10) с общим обозначением физических величин $ml^3t^{-2}q^{-2}$ фундаментальных физических констант можно получить следующее соотношение:

$$ml^3t^{-2}q^{-2} \Rightarrow m_e c^2 r_e q_e^{-2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}. \quad (11)$$

Здесь значение m принято равным массе электрона, $lt^{-1} = c$ – скорость света, $l = r_e$ – классический радиус электрона, q_e – заряд электрона.

Из последних формул можно сделать вывод, что размерности физических величин присущи не только их единицам, в чём уверяет нас известный в метрологии учёный Л.А. Сена [9], но и самим физическим величинам, по крайней мере, совершенно точно размерности присущи природным константным значениям величин. Последнее подтверждается ещё и тем, что в кинематической LT - системе размерностей, при выборе единиц измерения *длины* и *времени*, близких к планковским значениям, все известные фундаментальные физические константы получают численные значения, определяемые α – постоянной тонкой структуры. Численные значения констант отличаются целочисленным показателем степени при α , а по величине и размерности оказываются связанными через скорость света, причем скорость света и элементарный электрический заряд (заряд электрона) приобретают единичные значения [10].

Литература

1. Леонтович М.А. О системах мер. (В связи с введением «Международной системы единиц» как стандарта) // Журн. Вестник РАН. №6. 1964. Письма в редакцию. С. 123. Режим доступа: http://www.ras.ru/publishing/raserald/raserald_articleinfo.aspx?articleid=9cc23ce5-6eb7-4e4e-a0e4-1066510bef45. (Дата обращения: 6.04.2013).
2. Сивухин Д.В. О международной системе физических величин. УФН. – 1979. Т. 129 – С. 335. Режим доступа: http://ufn.ru/ufn79/ufn79_10/Russian/r7910h.pdf. (21.04.2013).
3. Трунов Г.М. Инвариантная форма записи уравнений электромагнетизма в системах СИ и СГС / Г.М. Трунов // Мир измерений. – 2012. – № 6. – С. 50–53.
4. Джексон Дж. Классическая электродинамика: Пер. с англ. – М.: МИР. 1965. – 702 с.
5. Чуев А.С. Архитектурные модели систем физических величин и закономерностей на базе систем единиц СИ и СГС // Мир измерений. – 2014. – № 5. – С. 29–36.
6. Чуев А.С. О системе СИ и других возможных системах единиц с позиции общей системы физических величин и закономерностей. // Законодательная и прикладная метрология. – 2014. – №5. – С. 44–49.
7. Чуев А.С. Анализ деформаций в электромагнитных уравнениях связи СГС и почему её до сих пор противопоставляют СИ // Законодательная и прикладная метрология. – 2014. – № 6. – С. 46–51.

8. Топтунова Л.М. Осторожно, физик! Перед тобой система единиц СГС. Режим доступа: <http://www.astrogalaxy.ru/875.html>, (дата обращения 27.04.2013 г.).
9. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. – М.: Наука, 1988. – 432 с.
10. Чуев А.С. Физическая картина мира в размерности “длина-время”. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 96 с. (Серия “Информатизация России на пороге XXI века”)