

**Анализ деформаций размерностей и уравнений связи электромагнитных величин в системе СГС**

А.С. Чуев, кандидат технических наук

[chuev@mail.ru](mailto: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	$k_1$	$k_2$	$\alpha$	$k_3$
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  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  стало ясно только теперь. Выбор коэффициента  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$ ) получилась обратной размерности скорости ( $k_2 = c^{-1}$ ), а коэффициент  $k_1$  остался безразмерным.

В работе [4] показывается, что коэффициенты  $\alpha$  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  $\alpha$  и  $k_3$  никак нельзя считать обоснованным или оправданным. При размерном  $\alpha$  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.

Произведённое изменение размерности, числовых значений и единицы измерения *индукции*  $B$  повлекло за собой необходимость введения поправочного (компенсирующего) коэффициента во все уравнения связи, в которых присутствует индукция  $B$  или определяемые ею величины [7]. Физические величины (ФВ) и уравнения связи, деформация которых определилась деформацией (увеличением в  $c$  раз числовых значений и соответствующим уменьшением размера единицы) *магнитной индукции* приведены в таблице 2. Большинство деформированных величин системы СГС стали уменьшенными в числовых значениях и увеличенными в их единице измерения в  $c$  раз. В таблице 2 приведены далеко не все уравнения связи, а только часть из них.

**Таблица 2. Деформации определяющих уравнений системы СГС**

Исходная деформация уравнения связи, определяющего индукцию $B$ со стороны элемента, создающего поле $d\vec{B} = \mu_0 c \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3} = \frac{1}{c} \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$	
Вынужденные искажения ФВ и их уравнений связи	Причины появления вынужденных искажений уравнений связи
Искажено определяющее уравнение для <i>индукции</i> $B$ со стороны пробного элемента $B = c \frac{F}{(I)_{\text{пр}}}$	Скорость света $c$ в уравнении связи появилась из-за исходной деформации в определении <i>индукции</i> $B$ со стороны элемента, создающего поле
<i>Магнитный поток</i> $\Phi$ и <i>потокосцепление</i> $\Psi$ оказались скрытно увеличенными в $c$ раз	<i>Магнитный поток</i> $\Phi$ по определению равен произведению <i>индукции</i> $B$ на <i>площадь</i> $S$ ( $\Phi = BS$ )
Искажено определяющее уравнение для <i>магнитного дипольного момента</i> $p_m = \frac{1}{c} IS$	Причина в сохранении формы уравнения связи для <i>механического момента силы</i> $\vec{N} = [\vec{p}_m, \vec{B}]$

Скрыто изменены числовые значения и единица измерения <i>намагниченности</i> $\vec{J} = \frac{\vec{P}_m}{V}$	Причина в изменении единицы измерения <i>магнитного дипольного момента</i> $\vec{p}_m$
Деформированы числовые значения и единица измерения <i>напряженности магнитного поля</i> по уравнению связи $H = \frac{1}{c} \frac{2I}{b}$	За счет этой деформации и исходной для <i>индукции</i> $B$ обеспечено соотношение $H = B/\mu$ , в котором присутствие $\mu_0 = 1/c^2$ стало скрытым
Принятое в СГС соотношение: $\vec{H} = \vec{B} - 4\pi\vec{J}$ эквивалентно в гауссовой системе без деформаций: $c\vec{H} = \vec{B} - 4\pi c\vec{J}$ или то же самое в иной форме: $\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - 4\pi\vec{J}$	Выполняется общее соотношение $\frac{\vec{B}}{\mu_0} = (\vec{H} + \vec{J}),$ поскольку законы Природы не зависят от выбранной системы единиц измерения
Искажено выражение <i>объемной плотности магнитного поля</i> в вакууме $w = \frac{H^2}{8\pi}$	Скрыто реальное соотношение при наличии $\mu_0$ и принятых единицах $H$ : $w = \frac{\mu_0 H^2}{8\pi} c^2$
Уравнение связи для силы Лоренца $\vec{F} = \frac{q}{c} [\vec{v}, \vec{B}]$	Присутствие скорости света $c$ вызвано деформацией размерности и единицы измерения <i>индукции</i> $B$
Вектор Пойнтинга $S = \frac{c}{4\pi} [\vec{E}, \vec{H}]$	Присутствие скорости света $c$ вызвано деформацией размерности и единицы измерения <i>напряженности</i> $H$
В определяющем уравнении для ЭДС самоиндукции появилась скорость света $E = -\frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt}$	Присутствие скорости света $c$ вызвано деформацией размерности и единицы измерения <i>индукции</i> $B$
Единицу <i>индуктивности</i> дополнительно умножили на скорость света: $L = c \frac{\Psi}{I}$	
Определение <i>индуктивности</i> через геометрические параметры $L = 4\pi n^2 l S$	Скрыто реальное размерностное соотношение величин по общей формуле: $L = \mu\mu_0 n^2 l S$
Энергия <i>индуктивности</i> с током $W = \frac{1}{c^2} \frac{LI^2}{2}$	Причина в изменении размерности и единицы измерения <i>индуктивности</i>
ЭДС самоиндукции (в отсутствие ферромагнетиков) $E = -\frac{1}{c^2} L \frac{dI}{dt}$	Причина в изменении размерности и единицы измерения <i>индуктивности</i>

*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 изменять 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  $\epsilon_0$  и  $\mu_0$ , характеризующие (в совокупности с *электрическим зарядом*) электромагнитные свойства физического вакуума. Те же самые величины определяют *потенциальное действие* сил соответствующих полей (по размерности  $\frac{q^2}{\epsilon_0} = 2\mu_0(II)^2 = F \cdot 4\pi r^2$ ).

Вторым шагом, дополнительно искажившим систему СГС, стало, по мнению автора, стремление уйти от получаемого (при указанном изменении  $V$ ) 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 для *индуктивности* скорости света (от изменения *магнитного потока*  $\Phi$ ) и скрытого присутствия в этом уравнении своеобразного  $\mu_0 = \frac{1}{c^2}$  (в неискаженной гауссовой системе и в СИ формула *индуктивности* обязательно содержит  $\mu_0$ ), единицу измерения и размерность *индуктивности* еще раз умножили на скорость света, получив в итоге благовидную формулу:

$$L = 4\pi\epsilon_0 \cdot n^2 l S. \quad (9)$$

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  $\alpha$

– постоянной тонкой структуры. Численные значения констант отличаются целочисленным показателем степени при  $\alpha$ , 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](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](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”)