

Анализ деформаций размерностей и уравнений связи электромагнитных величин в системе СГС

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

В статье показывается универсальность формы и двоякость 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 в 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.

Силовые характеристики поля — против релятивизма

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 некото-

А. С. ЧУЕВ,
кандидат технических наук,
доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана

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

рые 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 двойкой. 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 $q_{пр}$, элементу тока

($I = jV = qv$)_{пр} или пробной массе $m_{пр}$ 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:

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

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 (при отсутствии нескольких сред для сравнения сил), 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.

Вариации в уравнениях связи различных систем единиц

Для электрического и магнитного полей силовая характеристика поля, определяемая со стороны активных элементов, создающих поле (обозначим эти элементы q_0 и $(I)_0$ и примем пренебрежительно ма-



АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИЙ РАЗМЕРНОСТЕЙ И УРАВНЕНИЙ СВЯЗИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН В СИСТЕМЕ СГС

лыми в размерах), определяется в скалярном виде на расстоянии r , так:

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

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	$c^{-2} (t^2 l^{-2})$	1	1	1
Гауссова	1	$c^{-2} (t^2 l^{-2})$	$c (l t^{-1})$	$c^{-1} (l t^{-1})$
Хевисайда — Лоренца	$\frac{1}{4\pi}$	$\frac{1}{4\pi c^2} (t^2 l^{-2})$	$c (l t^{-1})$	$c^{-1} (l t^{-1})$
Рационализированная 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 четырехразмерном 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, стр. 674] по поводу этих дополнительных коэффициентов. “Вектор магнитной индукции 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 . Поскольку в теории относительности магнетизм отрицается как самостоятельное физическое явление, вернее считается релятивистским эффектом проявления электричества, то этому утверждению в формулах системы СГС нашлось подтверждение.

Однако с введением размерного коэффициента α гауссова система перестала соответствовать универсальным соотношениям (3) и (4) и с метрологической точки зрения она оказалась деформированной. (Уравнения 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, а 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) 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.

Есть ли позиция у метрологов

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.

Коротко прокомментируем данные таблицы 2. В системе СГС с целью сохранения уравнения связи для механического крутящего момента, воздействующего 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 диполь-

ным 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. таблицу 1) имели определённый физический смысл. По сути, они представляли собой выбранные значения ϵ_0 и m_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 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 для индуктивности скорости света (от изменения

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИЙ РАЗМЕРНОСТЕЙ И УРАВНЕНИЙ СВЯЗИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН В СИСТЕМЕ СГС

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 индукции B со стороны пробного элемента $B = c \frac{F}{(II)_{np}}$	Скорость света c в уравнении связи появилась из-за исходной деформации в определении индукции B со стороны элемента, создающего поле
Магнитный поток Φ и потокоцепление Ψ оказались скрытно увеличенными в c раз	Магнитный поток Φ по определению равен произведению индукции B на площадь S ($\Phi = BS$)
Искажено определяющее уравнение для магнитного дипольного момента $p_m = \frac{1}{c} IS$	Причина в сохранении формы уравнения связи для механического момента силы $\vec{N} = [\vec{p}_m, \vec{B}]$
Скрытно изменены числовые значения и единица измерения намагниченности $\vec{j} = \frac{\vec{p}_m}{V}$	Причина в изменении единицы измерения магнитного дипольного момента \vec{p}_m
Деформированы числовые значения и единица измерения напряженности магнитного поля по уравнению связи $H = \frac{1}{c} \frac{2I}{b}$	За счет этой деформации и исходной для индукции B обеспечено соотношение $H = \frac{B}{\mu}$, в котором присутствие $\mu_0 = \frac{1}{c^2}$ стало скрытным
Принятое в СГС соотношение: $\vec{H} = \vec{B} - 4\pi\vec{j}$. эквивалентно в гауссовой системе без деформаций: $c\vec{H} = \frac{1}{c} B - 4\pi c\vec{j}$ 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 объемной плотности магнитного поля в вакууме $w = \frac{H^2}{8\pi}$	Скрыто реальное соотношение при наличии μ_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 индукции B
Вектор Пойнтинга $S = \frac{c}{4\pi} [\vec{E}, \vec{H}]$	Присутствие скорости света c вызвано деформацией размерности и единицы измерения напряженности 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 индукции B
Единицу индуктивности дополнительно умножили на скорость света: $L = c \frac{\Psi}{I}$	
Определение индуктивности через геометрические параметры $L = 4\pi\mu \cdot n^2 IS$	Скрыто реальное размерностное соотношение величин по общей формуле: $L = \mu\mu_0 n^2 IS$
Энергия индуктивности с током $W = \frac{1}{c^2} \frac{LI^2}{2}$	Причина в изменении размерности и единицы измерения индуктивности
ЭДС самоиндукции (в отсутствие ферромагнетиков) $E = -\frac{1}{c^2} L \frac{dI}{dt}$	Причина в изменении размерности и единицы измерения индуктивности

Примечание: В таблице 2 отдельные формулы показаны в форме, естественной для недеформированной гауссовой системы, в которой $\epsilon_0 = 1$, $m_0 = c^{-2}$; некоторые уравнения связи по форме соответствуют уравнениям связи в системе СИ, но без их рационализации.

магнитного 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 m_0), единицу измерения и размерность индуктивности еще раз умножили на скорость света, получив в итоге благовидную формулу:

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

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:

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

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 $ml^3 t^{-2} q^{-2}$ фундаментальных физических констант можно получить следующее соотношение:

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

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

Вывод

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 $L T$ — 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 они 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/rasherard/rasherard_articleinfo.aspx?articleid=9cc23ce5-6eb7-4e4e-a0e4-1066510bef45. (Дата обращения: 16.06.2015).
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. (16.06.2015).
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 16.06.2015 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").