

Анализ деформаций в электромагнитных уравнениях связи СГС и почему ее до сих пор противопоставляют СИ

А.С. Чуев, chuev@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Широко известно неприятие системы СИ профессиональным сообществом физиков, работающих в области электромагнетизма и в системе вузовского образования. Основной довод, на который они опираются – несоответствие системы СИ теории относительности А. Эйнштейна, трактующей магнетизм как релятивистский эффект [1, 2].

Во многом созвучны взглядам и доводам релятивистов мнения некоторых ученых, отрицающих свою принадлежность к релятивистскому клану физиков, но уверовавших в правильность формы записи уравнений электромагнетизма, присущих системе единиц СГС и пытающихся сохранить эту частную форму в 4-х размерных системах единиц, подобных СИ. В частности, в работах Г.М. Трунова предлагается система единиц СТ, в более позднем обозначении - СИ(Т) [3], активно пропагандируемая им как возможная альтернатива СИ. Основное возражение, выдвигаемое Г.М. Труновым против СИ – несоответствие ее уравнений связи аналогичным уравнениям СГС.

Имея опыт изучения многих систем единиц физических величин, а также опыт построения собственной системы физических величин и закономерностей (ФВиЗ) [4, 5], считаю возможным и даже необходимым высказать свое мнение по этому вопросу.

Система единиц СИ в области электромагнитных величин относится к 4-х размерным (в области электромагнетизма) системам физических величин и имеет несомненные преимущества по сравнению с 3-х размерными абсолютными системами, к которым относится СГС. Более подробно об этом изложено в работе [6]. Там же приводились архитектурные схемы построения систем ФВиЗ, соответствующие 4-х и 3-х размерным системам единиц.

Надо отметить, что те и другие системы ФВиЗ строятся на базовом системном уровне, содержащем (в скрытом виде) почти все физические величины (ФВ) в LT -размерностном (2-х размерном) представлении. Однако LT -размерностное представление электромагнитных величин неоднозначно, поэтому даже среди 4-х размерных систем ФВиЗ, в плане их визуального планарного (плоского) изображения, тоже нет однозначности.

В таблице 1 приведены некоторые возможные варианты LT -размерностного представления главных электромагнитных величин [7]. Для любого из этих вариантов уравнения

связи между электромагнитными ФВ совпадают с уравнениями связи СИ. Все они содержат электрическую ϵ_0 и магнитную μ_0 постоянные, выражаемые по-своему.

Таблица 1. Возможные варианты LT -размерностного представления электромагнитных величин. Вариант №1 - авторский вариант системы.

Система Параметр	“Гаусса”	“СИ”	№1	№2	№3	Примечание
q	L^3T^{-2}	L^2T^{-1}	L^3T^{-1}	L^2T^{-2}	L^3T^{-3}	
ϵ_0	L^0T^0	$L^{-2}T^2$	T^2	L^{-2}	T^{-2}	
μ_0	$L^{-2}T^2$	L^0T^0	L^{-2}	T^2	$L^{-2}T^4$	
I	L^3T^{-3}	L^2T^{-2}	L^3T^{-2}	L^2T^{-3}	L^3T^{-4}	№1, сила тока = гравитационной массе
φ	L^2T^{-2}	L^3T^{-3}	L^2T^{-3}	L^3T^{-2}	L^2T^{-1}	
E	LT^{-2}	L^2T^{-3}	LT^{-3}	L^2T^{-2}	LT^{-1}	
ρ_q	T^{-2}	$L^{-1}T^{-1}$	T^{-1}	$L^{-1}T^{-2}$	T^{-3}	

Авторский вариант системы ФВиЗ в планарном изображении представлен на рис. 1.

Закономерные связи ФВ присутствуют и обнаруживаются в данном и других возможных вариантах системы ФВиЗ по правилу «выделенных параллелограммов» или «выделенных линий». Более подробно об этом изложено в авторских работах, в частности, [5, 8].

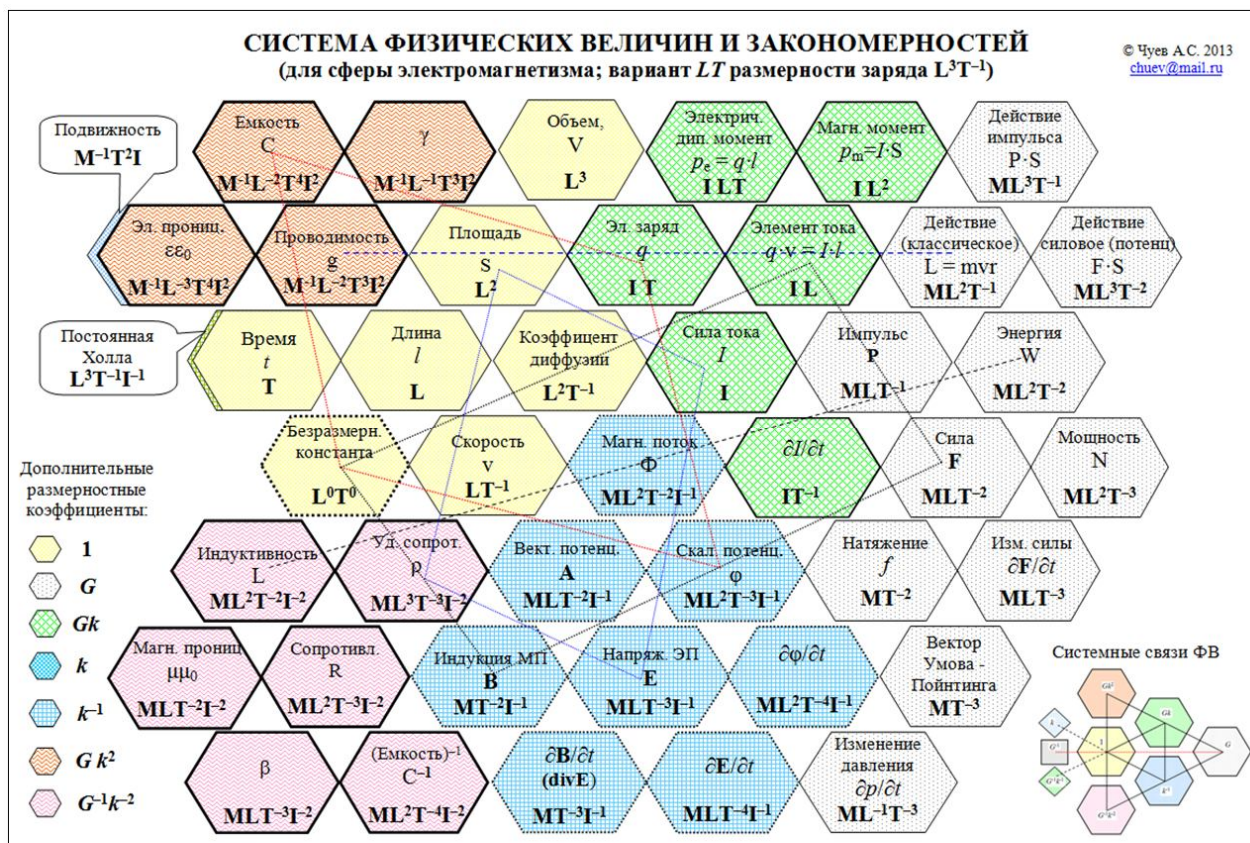


Рис. 1. Система ФВиЗ в планарном исполнении с визуализацией преимущественно электромагнитных величин и части системных связей

Поскольку сторонники системы СГС до сих пор не прекращают своей борьбы против использования в физике системы СИ, автору вынужденно пришлось разбираться с вопросом: возможно ли построение системы ФВиЗ подобной авторской, но с использованием размерностей и единиц системы СГС. Частично результаты такого разбирательства опубликованы в работе [6]. Дополнительные результаты исследования изложены ниже.

Оказалось, что использование системы СГС для построения системы ФВиЗ, аналогичной авторскому варианту по рис.1, позволило выявить существенные пороки и искажения (в разделе электромагнетизма) самой системы единиц СГС. Так что ссылки физиков-релятивистов на систему СГС, как исключительно верную, с системно-размерностной точки зрения, не имеют под собой убедительных оснований. Разберем это подробнее.

На рис.2 показано, какие структурные уровни общей 4-х размерной системы ФВиЗ, в сравнении с моделью системных связей, изображенной в правом нижнем углу рис.1, оказываются объединенными или совмещенными. На рис.3 показан результат такого объединения, воплощенный в системе ФВиЗ, созданной с использованием существующих единиц и размерностей системы СГС.

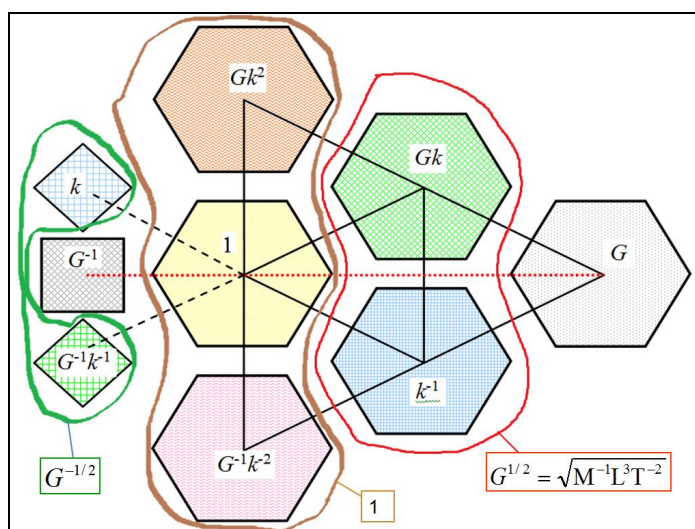


Рис.2. Объединение системных уровней при использовании размерностей СГС

Наполнение электромагнитных системных уровней теми или иными величинами зависит от значения дополнительного размерностного коэффициента, присущего тому или иному системному уровню [4-6]. Эти коэффициенты приведены на рис.1 и рис.2. По рис.2 видно, что в СГС два основных системных уровня электромагнитных ФВ оказались объединенными. Они размещены между кинематическими и общими базовыми ФВ с дополнительным размерностным коэффициентом, равным $G^{1/2} = \sqrt{M^{-1}L^3T^{-2}}$. Системные уровни, на которых должны быть расположены ФВ *подвижность* и *постоянная Холла* (для сравнения см.

рис.1), тоже оказались объединены. Дополнительный размерностный коэффициент ФВ этого объединенного системного уровня равен $G^{-1/2} = \sqrt{ML^{-3}T^2}$.

Приводимые рисунки наглядно иллюстрируют, что при использовании системы единиц СГС структуризация системы ФВиЗ на отдельные системные группы и подгруппы оказывается менее детализированной. Планарное изображение системы представлено на рис.3. Оно характерно объединением базовых и полевых электромагнитных величин, а также объединением механических кинематических величин с электромагнитными структуро-средовыми величинами двух подгрупп (раздельно показаны на рис.1) куда входят: *емкость, индуктивность, сопротивление, проводимость*, а также ϵ_0 , μ_0 и другие им подобные ФВ.

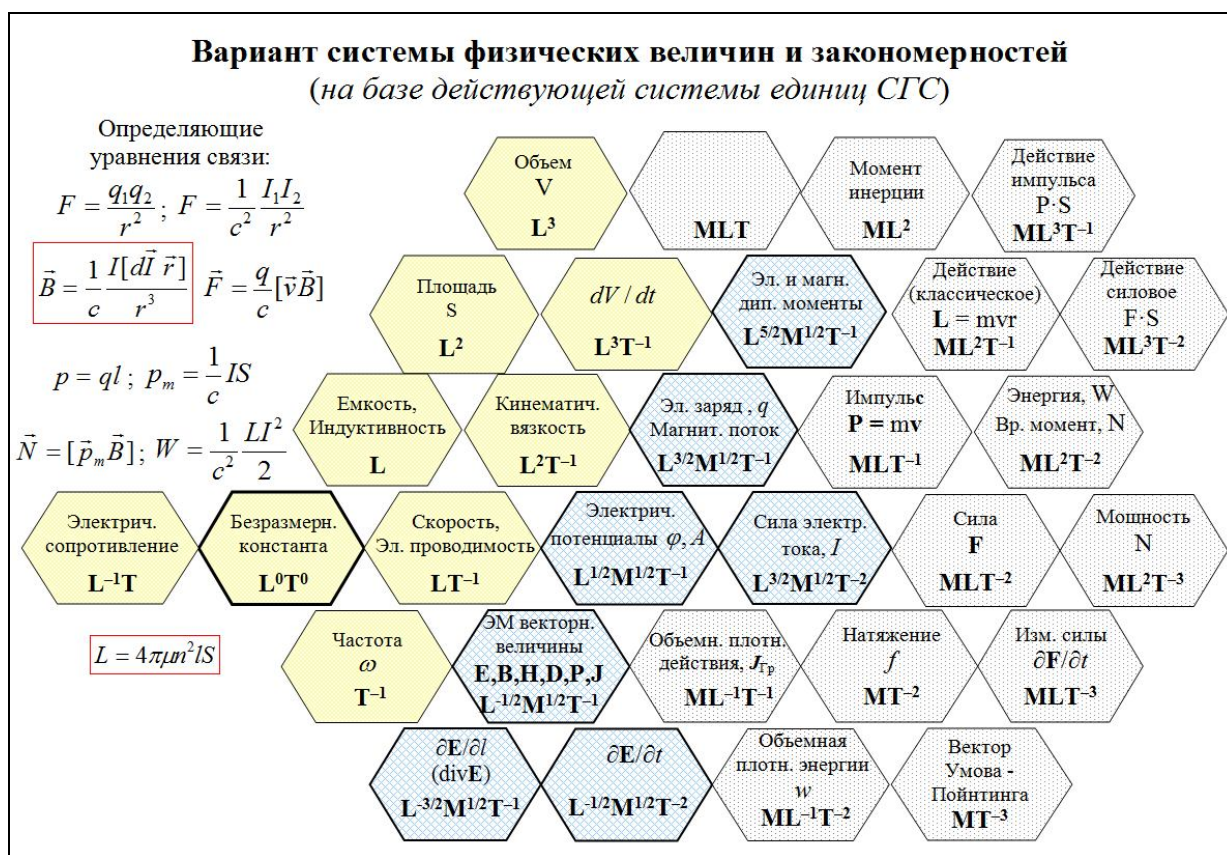


Рис.3. Вариант системы ФВиЗ в планарном исполнении на базе действующей системы единиц СГС и ее уравнений связи

По рис.3 видно, что шесть различных векторных электромагнитных величин (E , B , H , D , P и J) оказываются в одной системной ячейке одного системного уровня. Кроме того неразличимыми по размерности оказываются: *электрический и магнитный дипольные моменты, электрический заряд и магнитный поток, емкость и индуктивность*. Использовать подобную систему ФВиЗ для изучения структуры и взаимосвязей физических величин, особенно в области электромагнетизма становится очень неудобно. В этом плане вариант системы ФВиЗ по рис.1 значительно лучше.

Попробуем понять истоки происхождения системы СГС и ее особенностей. Считается, что система СГС была образована путем объединения ранее использовавшихся систем единиц СГСЭ и СГСМ, данные о которых приведены на рис.4 [3]. Возможно, исторически это так и было. Но всеобщее распространение система СГС получила после создания теории относительности А. Эйнштейна. Согласно этой теории магнитного поля как такового не существует, а потому силовые векторы \mathbf{E} и \mathbf{B} должны иметь одинаковую размерность.

Уравнения электромагнетизма, записанные в различных системах единиц

Закон или определение величины	Системы единиц		
	СГСЭ СГС ϵ_0 СГС Φ	СГС	СГСМ СГС μ_0 СГС Ψ
Закон Кулона	$F = \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon \cdot r^2}$		$F = \frac{c^2 Q_1 Q_2}{\epsilon \cdot r^2}$
Закон Ампера для двух параллельных токов	$\frac{F}{l} = \frac{2\mu \cdot I_1 I_2}{c^2 \cdot r}$		$\frac{F}{l} = \frac{2\mu \cdot I_1 I_2}{r}$
Напряженность электрического поля \mathbf{E}	$\mathbf{E} = \mathbf{F} / Q$		
Электрическое смещение \mathbf{D}	$\mathbf{D} = \mathbf{E} + 4\pi\mathbf{P}$		$\mathbf{D} = \mathbf{E} / c^2 + 4\pi\mathbf{P}$
Связь между величинами \mathbf{E} и \mathbf{D}	$\mathbf{D} = \epsilon\mathbf{E}$		$\mathbf{D} = \epsilon\mathbf{E} / c^2$
Напряженность магнитного поля \mathbf{H}	$\mathbf{H} = c^2\mathbf{B} - 4\pi\mathbf{J}$	$\mathbf{H} = \mathbf{B} - 4\pi\mathbf{J}$	
Связь между величинами \mathbf{B} и \mathbf{H}	$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H} / c^2$	$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$	
Сила Лоренца	$\mathbf{F} = Q [\mathbf{v} \times \mathbf{B}]$	$\mathbf{F} = \frac{Q}{c} [\mathbf{v} \times \mathbf{B}]$	$\mathbf{F} = Q [\mathbf{v} \times \mathbf{B}]$
Формула Ампера	$\mathbf{F} = I [d\mathbf{l} \times \mathbf{B}]$	$\mathbf{F} = \frac{1}{c} I [d\mathbf{l} \times \mathbf{B}]$	$\mathbf{F} = I [d\mathbf{l} \times \mathbf{B}]$
Магнитный поток Φ	$\Phi = (\mathbf{B} \cdot \mathbf{S})$		
Потокоцепление Ψ	$\Psi = n \cdot \Phi$		
Индуктивность L	$L = c \cdot \Psi / I$		$L = \Psi / I$

Рис.4. Уравнения связи в системе единиц СГС и исходных для нее системах

Под эту задачу, возможно еще раньше, в системе СГС было осуществлено принудительное придание одинаковой размерности векторным величинам \mathbf{E} и \mathbf{B} . Это было достигнуто путем соответствующей, но сугубо произвольной корректировки определяющего уравнения по закону Био-Савара-Лапласа. При этом закону была придана следующая форма [9]:

$$d\vec{B} = \frac{1}{c} \frac{I [d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}.$$

Такая запись определяющего уравнения затемнила обязательное присутствие в этом законе значения $\mu_0 = 1/c^2$ (см. таблицу 1), характеризующего (вкупе с зарядом - q) физический

вакуум как электромагнитную среду. Одновременно с этим было скрыто и произведенное в СГС изменение размерности и увеличение (на коэффициент, равный числовому значению скорости света) размера единицы *магнитной индукции* B .

$$d\vec{B} = \mu_0 c \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3} = \frac{1}{c^2} c \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$$

Далее все искажения в уравнениях связи и системе ФВиЗ, если ее строить на базе действующей системы СГС, оказались обусловлены этим действием. Вариант системы ФВиЗ с уравнениями связи, действующими в СГС, приведен на рис.3.

Чтобы не изменять величину единицы механического *крутящего момента*, воздействующего на магнитный диполь, создателям системы СГС 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*. В системе СГС большинство из ФВ получили физически ничем не оправданные сомножители в виде скорости света. Заметим, что присутствующие в исходных для СГС системах единиц СГСЭ и СГСМ формульные сомножители в виде скорости света во второй степени имели определенный физический смысл как выбранные значения для ϵ_0 или μ_0 , которые в совокупности с *электрическим зарядом* характеризуют электромагнитные свойства физического вакуума.

Вторым шагом, исказившим систему СГС, стало, по мнению автора, стремление уйти от естественно получаемого при таких искажениях сомножителя в виде скорости света в определяющем уравнении для *индуктивности*. *Индуктивность* определяется через *магнитный поток* и *силу тока* уравнением $L = \Phi/I$, а *магнитный поток* связан с *магнитной индукцией* через *площадь* $\Phi = BS$. Коэффициент, содержащий скорость света в определяющем уравнении для *индуктивности* выглядит нелепо и от него искусно избавились. Определяющее уравнение для *индуктивности* было установлено в СГС не только без наличия в нем скорости света (от потока Φ), но и без соответствующего этому уравнению $\mu_0 = \frac{1}{c^2}$. Для чего единицу измерения *индуктивности* еще раз умножили на скорость света, получив в итоге:

$$L = 4\pi\mu \cdot n^2 l S .$$

Вследствие этих манипуляций размерность *индуктивности* стала такой же, как и *емкости*. Правда в формулу, определяющую энергию индуктивности с протекающим в ней постоянным током пришлось ввести поправочный коэффициент, равный скорости света в минус второй степени. С единицей энергии ведь не побалуешь.

Определяющие уравнения гауссовой системы, подвергшиеся указанным деформациям, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Деформации определяющих уравнений системы СГС.

Физические величины и уравнения связи, деформация которых определилась деформацией (увеличением) единицы <i>магнитной индукции</i>	Физические величины и уравнения связи, деформация которых определилась деформацией единицы <i>магнитной индукции</i> или других ФВ, обусловленных этим изменением
$d\vec{B} = \mu_0 c \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3} = \frac{1}{c} \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$	
Потокоцепление 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 СГС без деформаций: $c\vec{H} = \vec{B} - 4\pi c\vec{J}$
$\vec{J} = \frac{\vec{p}_m}{V}$ скрытно уменьшено	то же самое в иной форме: $\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - 4\pi\vec{J}$
$ \nabla\vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j}$	$w = \frac{H^2}{8\pi}$ вместо $w = \frac{\mu_0 H^2}{8\pi} c^2$
$F = \frac{q}{c} [\vec{v}\vec{B}]$	$S = \frac{c}{4\pi} [\vec{E}\vec{H}]$
$A = \frac{1}{c} I\Delta\Phi = \frac{1}{c} I\Delta(BS)$	$E = -\frac{1}{c^2} \frac{d\Psi}{dt}$

На рис.5 приведен недеформированный вариант системы ФВиЗ, выполненной с использованием исходных единиц системы СГС, но без деформации уравнения связи, определяющего *магнитную индукцию* по закону Био-Савара-Лапласа и других уравнений связи, зависящих от данного закона. Не использовалась деформация определяющего уравнения и для *индуктивности*.

Если использовать 4-х размерную систему единиц, подобную гауссовой, содержащую *силу тока* в качестве еще одной основной величины и LT - размерностное выражение *электрического заряда* такое же, как у *массы*, то система ФВиЗ будет иметь вид, представленный на рис.6. Если сравнивать этот вариант с рис.2, то он характерен большим числом скрытых величин, группирующихся вокруг ФВ *проводимость*. Из этой подгруппы на рис.6 показаны только *емкость* и *электрическая проницаемость*, если показывать другие ФВ этой подгруппы, то они закроют собой многие другие важные электромагнитные величины. В ос-

тальном оба варианта системы ФВиЗ эквивалентны. Системные связи ФВ на приводимых вариантах систем ФВиЗ не показываются, они подобны связям, приведенным на рис. 1.

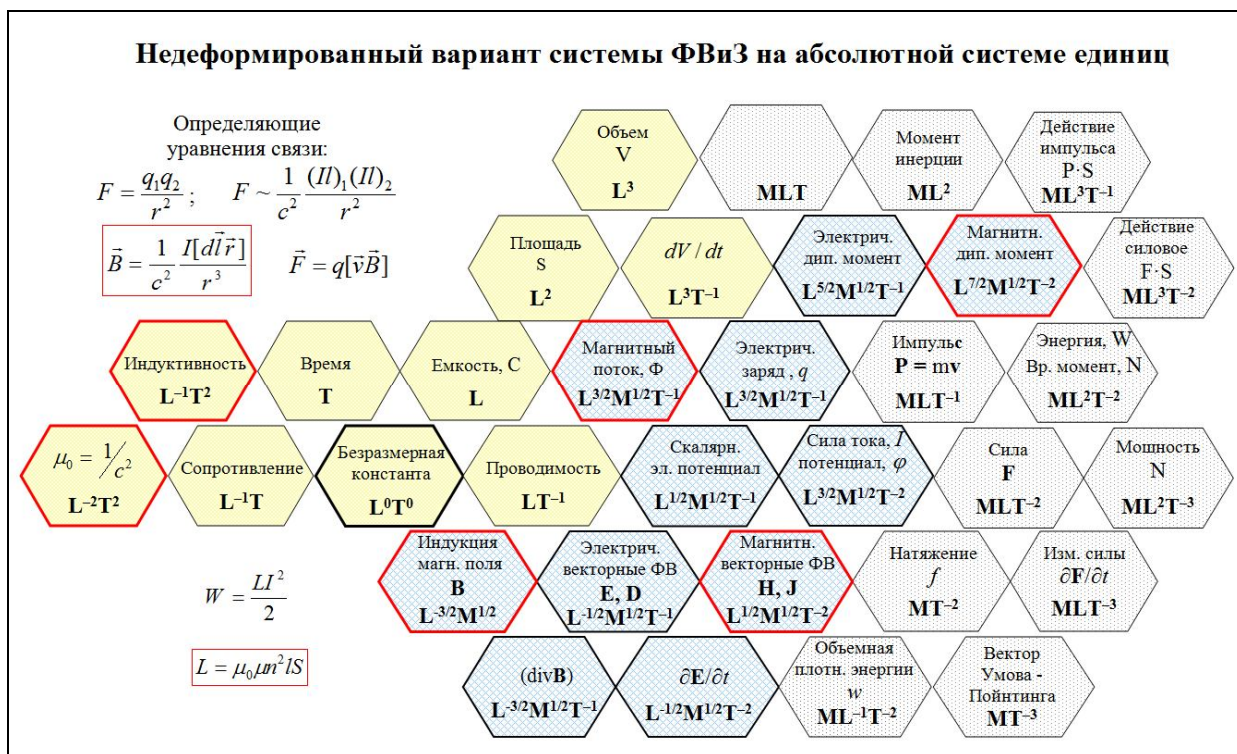


Рис.5. Недеформированный вариант системы ФВиЗ, выполненной на базе 3-х размерной системы единиц СГС

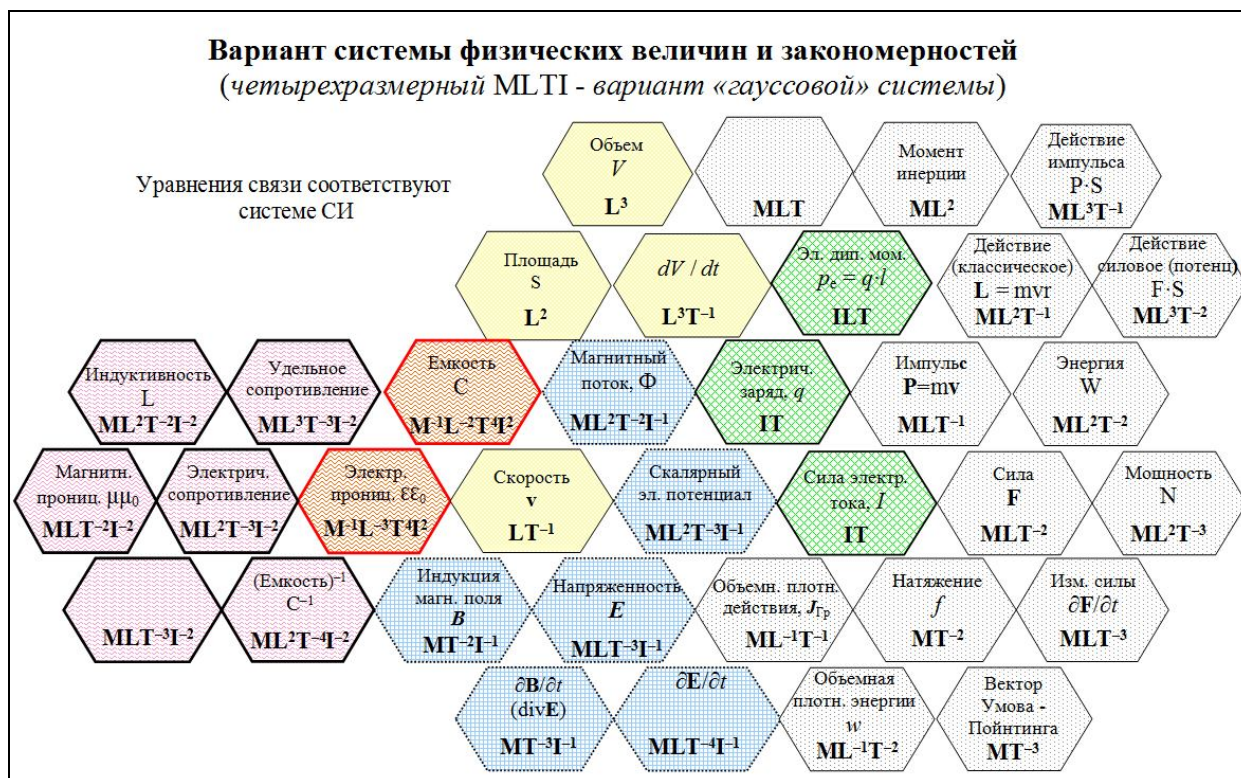


Рис.6. Частное изображение системы ФВиЗ, выполненной на 4-х размерной системе единиц, подобной гауссовой системе

Как видим варианты систем по рис.5 и рис.6 очень похожи, но детализация структуры ФВ на рис.6 значительно лучше. В учебном и познавательном аспектах это качество дает большие преимущества.

На рис.7 приведен вариант 4-х размерной системы ФВиЗ, выполненной на системе единиц и уравнениях связи, предлагаемых Г.М. Труновым.



Рис.7. Пример 4-х размерной системы ФВиЗ, выполненной с учетом предложений по доработке системы СИ Труновым Г.М.

Сравнением рис.6 и рис.7 можно понять характер деформаций и искажений, предлагаемых Г.М. Труновым для введения в 4-х размерную систему единиц СИ, чтобы уравнения связи в такой системе, в большинстве своем, были идентичны уравнениям связи в системе СГС. По рис.7 видно, что большинство искажений и деформаций, присущих системе СГС здесь тоже присутствует, кроме того добавляются новые искажения. Так, например, здесь утрачены простые соотношения теоремы Гаусса для вектора D и теоремы о циркуляции по замкнутому контуру для вектора H .

Произвол в системе СГС в обращении с определяющими уравнениями электромагнетизма привел к парадоксам, обнаруживаемым в математическом описании процессов в электрическом колебательном контуре, что показано в работах [10, 11]. В этих работах указыва-

ется на полную бессмысленность выражений в СГС применительно к электрическому колебательному контуру, резонансная частота которого определяется в обратных сантиметрах.

По мнению автора статьи, вопиющие факты искажений в системе единиц СГС очевидно проявляются также в совпадении размерностей: *электрического и магнитного дипольных моментов, электрического заряда и магнитного потока, скалярного электрического и магнитного векторного потенциалов*. Продолжать отстаивать такой абсурд, что некоторые делают, видимо можно, но только уверяясь в абсолютной истинности теории относительности (не менее абсурдной, по мнению многих, включая известных физиков).

Нельзя сказать, что со стороны метрологов нет отпора нападкам на систему СИ [12], но голоса защитников редки и почти неслышны, поэтому автор статьи, опираясь на свойства и качества обнаруженной им размерностной системы ФВиЗ, намерен оказывать в этом деле посильную помощь.

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. Чуев А.С. Система физических величин и закономерных размерностных взаимосвязей между ними./ Журн. «Законодательная и прикладная метрология». №3 - 2007. С.30-33.
5. Чуев А.С. Системный подход в физическом образовании инженеров // Наука и образование: электронное научно-техническое издание.- 2012.- № 2.- Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/299700.html>. (Дата обращения: 2.02.2012).
6. Чуев А.С. Архитектурные модели систем физических величин и закономерностей на базе систем единиц СИ и СГС // Журнал «Мир измерений». №5, 2014. С. 29-36.
7. Чуев А.С. Физическая картина мира в размерности «длина-время». Серия «Информатизация России на пороге XXI века». – М.: СИНТЕГ, 1999. 96 с.
8. Чуев А.С., Задорожный Н.А. Компьютерный практикум по изучению системы электромагнитных величин и их закономерностей. Журн. «Физическое образование в вузах». Т. 19. №1, 2013. С. 98-104.

9. Савельев И.В. Курс общей физики: В 5 кн., Кн. 4 :Волны. Оптика.: Учеб. Пособие для втузов / И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2004. – 256 с.

10. Гоптунова Л.М. Осторожно, физик! Перед тобой система единиц СГС. Режим доступа: <http://www.astrogalaxy.ru/875.html>, (дата обращения 27.04.2013 г.).

11. Зайцев Г.П. Об ошибочности системы СГС. Журнал ЖРФМ, 1994, № 1-4. Электронная версия. Режим доступа: http://www.rusphysics.ru/files/Saycev.Ob_oschibochnosti....pdf, (дата обращения 11.07.2013 г.).

12. Брянский Л.Н. Бифуркации в метрологии. Журн. «Контрольно-измерительные приборы и системы», №5, 2008. Электронная: версия. Режим доступа: http://kipis.ru/archive/articles/index.php?BLOCK_ID=64&SECTION_ID=462&ELEMENT_ID=1426, (дата обращения 11.07.2013 г.).