

О СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ВОЗМОЖНОСТИ ОПИСАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В МАТЕРИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ

К.т.н. А.С.Чуев, chuev@mail.ru

(г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ГУУ)

В свое время Анри Пуанкаре предсказал, что если будет открыта настоящая система физических величин, то она же окажется и системой физических закономерностей. Сегодня, по мнению автора, гениальное предвидение великого физика, математика и философа – успешно осуществлено.

Система физических величин и закономерностей (ФВиЗ), описание которой приведено также в работах автора [1- 4], имеет вид упорядочено расположенных LT – размерностных элементов, содержащих физические величины (ФВ). Эти ФВ, выраженные, как правило, по размерности в системе СИ, многоуровнево (многослойно) входят в элементы системы с дополнительными размерностными коэффициентами, определяющими принадлежность ФВ к тому или иному системному уровню (слою).

В таблице 1 приведены данные о размерностях ФВ в двух размерностных системах представления и структуризация ФВ на отдельные системные уровни и подуровни, в зависимости от значения дополнительного размерностного коэффициента.

Таблица 1.

Системные уровни общих базовых и электромагнитных величин и их расположение в системных элементах

№ п/п	Наименование физической величины (ФВ)	Обозначение ФВ	Размерность ФВ в СИ	Размерность системного LT – элемента, в который входит ФВ	Соотношение размерностей LT - элемента и ФВ в СИ
Динамические общие базовые величины					
1.	Энергия	W	ML^2T^{-2}	L^5T^{-4}	$M^{-1}L^3T^{-2} = G$
2.	Объемная плотность энергии (давление)	w	$ML^{-1}T^{-2}$	L^2T^{-4}	
3.	Мощность (энергия за единицу времени)	N	ML^2T^{-3}	L^5T^{-5}	
4.	Импульс (количество движения)	P	MLT^{-1}	L^4T^{-3}	
5.	Объемная плотность импульса	ρ_P	$ML^{-2}T^{-1}$	LT^{-3}	
6.	Сила механическая	F	MLT^{-2}	L^4T^{-4}	
7.	Изменение силы	dF/dt	MLT^{-3}	L^4T^{-5}	

8.	Вращательный момент силы	M	ML^2T^{-2}	L^5T^{-4}	
9.	Объемная плотность силы	ρ_F	$ML^{-2}T^{-2}$	LT^{-4}	
10.	Натяжение (поверхностная плотность энергии)	f	MT^{-2}	L^3T^{-4}	
11.	Вектор Умова-Пойнтинга (изменение натяжения)	s	MT^{-3}	L^3T^{-5}	
12.	Объемная плотность натяжений	ρ_f	$ML^{-3}T^{-2}$	T^{-4}	
13.	Давление (силы на площадь)	p	$ML^{-1}T^{-2}$	L^2T^{-4}	
14.	Градиент давления	$gradp$	$ML^{-2}T^{-2}$	LT^{-4}	
15.	Изменение давления	dp/dt	$ML^{-1}T^{-3}$	L^2T^{-5}	
16.	Вязкость динамическая	η	$ML^{-1}T^{-1}$	L^2T^{-3}	
17.	Масса (инертная)	m	M	L^3T^{-2}	
18.	Расход (ток) массы	m/t	MT^{-1}	L^3T^{-3}	
19.	Объемная плотность массы	ρ_m	ML^{-3}	T^{-2}	
20.	Поток объемной плотности массы	j_m	$ML^{-2}T^{-1}$	LT^{-3}	
21.	Механич. момент инерции $I = \Sigma(m_i r_i)^2$	I_m	ML^2	L^5T^{-2}	
22.	Момент импульса (действие актуальное)	$L = mvr$	ML^2T^{-1}	L^5T^{-3}	
23.	Потенциальное действие $\Pi = FS = fV$	Π	ML^3T^{-2}	L^6T^{-4}	
Кинематические общие базовые величины					
1.	Безразмерная константа		L^0T^0	L^0T^0	1
2.	Пространственная протяженность (длина)	l	L	L	
3.	Площадь	S	L^2	L^2	
4.	Объем пространства	V	L^3	L^3	
5.	Время	t	T	T	
6.	Градиент времени (предполагаемая ФВ, обратная скорости)	$gradt$	$L^{-1}T$	$L^{-1}T$	
7.	Изменение объема	dV/dt	L^3T^{-1}	L^3T^{-1}	
8.	Поток объема	Vv	L^4T^{-1}	L^4T^{-1}	
9.	Ускорение объема	Va	L^4T^{-2}	L^4T^{-2}	
10.	Вязкость кинематическая (коэффициент диффузии)	ν	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}	
11.	Скорость	v	LT^{-1}	LT^{-1}	
12.	Ускорение	a	LT^{-2}	LT^{-2}	
13.	Угловая скорость (угловая частота)	ω	T^{-1}	T^{-1}	
14.	Угловое ускорение	ε	T^{-2}	T^{-2}	
15.	Вихрь вращения	ξ	$L^{-1}T^{-1}$	$L^{-1}T^{-1}$	
16.	Кривизна пространства	l^{-1}	L^{-1}	L^{-1}	
Базовые (материальные) электромагнитные величины					
1.	Электрический заряд	q	TI	L^3T^{-1}	$L^3T^{-2}T^{-1} = G \cdot k$
2.	Поверхностная плотность электрического заряда	σ_q	$L^{-2}TI$	LT^{-1}	

3.	Объемная плотность электрического заряда	ρ_q	$L^{-3}TI$	T^{-1}	
4.	Электрический дипольный момент	$q \cdot l$	LT	L^4T^{-1}	
5.	Индукция электрического поля	D	$L^{-2}TI$	LT^{-1}	
6.	Изменение индукции электрического поля	dD/dt	$L^{-2}I$	LT^{-2}	
7.	Поляризованность диэлектрика	P	$L^{-2}TI$	LT^{-1}	
8.	Сила электрического тока	I	I	L^3T^{-2}	
9.	Пространственный элемент тока	$I \cdot l = qv$	LI	L^4T^{-2}	
10.	Плотность электрического тока	j	$L^{-2}I$	LT^{-2}	
11.	Магнитный дипольный момент	p_m	L^2I	L^5T^{-2}	
12.	Изменение магнитного момента	dp_m/dt	L^2IT^{-1}	L^5T^{-3}	
13.	«Напряженность» магнитного поля	H	$L^{-1}I$	L^2T^{-2}	
14.	Циркуляция вектора H	$= I$	I	L^3T^{-2}	
15.	Ротор вектора H	$(rotH)$	$L^{-2}I$	LT^{-2}	
16.	Намагниченность магнетика	J	$L^{-1}I$	L^2T^{-2}	
17.	Циркуляция вектора J	$= I_{mol}$	I	L^3T^{-2}	
18.	Ротор вектора J	$(rotJ)$	$L^{-2}I$	LT^{-2}	
19.	Сила поверхностного тока намагничивания на единицу длины	i	$L^{-1}I$	T^{-2}	
Полевые электромагнитные величины					
1.	Магнитный поток (потокосцепление)	$\Phi;$ (Ψ)	$L^2T^{-2}MI^{-1}$	L^2T^{-2}	$MI^{-1} = k$
2.	Изменение магнитного потока	$d\Phi/dt$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	L^2T^{-3}	
3.	Электрический потенциал	φ	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	L^2T^{-3}	
4.	Потенциал, электрическое напряжение, (электродвижущая сила)	$grad\varphi$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	L^2T^{-3}	
5.	Изменение электрического потенциала	$d\varphi/dt$	$L^2T^{-4}MI^{-1}$	L^2T^{-4}	
6.	Векторный потенциал	A	$LT^{-2}MI^{-1}$	LT^{-2}	
7.	Напряженность электрического поля	E	$LT^{-3}MI^{-1}$	LT^{-3}	
8.	Изменение напряженности электрического поля	dE/dt	$LT^{-4}MI^{-1}$	LT^{-4}	
9.	Индукция магнитного поля	B	$T^{-2}MI^{-1}$	T^{-2}	
10.	Изменение индукции магнитного поля	dB/dt	$T^{-3}MI^{-1}$	T^{-3}	
11.	Дивергенция и ротор напряженности электрического поля	$divE$ $(rotE)$	$T^{-3}MI^{-1}$	T^{-3}	

12.	Ротор индукции магнитного поля	$(\text{rot}\mathbf{B})$	$L^{-1}T^{-2}MI^{-1}$	$L^{-1}T^{-2}$	
Структуро-средовые электромагнитные величины					
<i>(Первой группы)</i>					
1.	Абсолютная диэлектрическая проницаемость	$\epsilon\epsilon_0$	$M^{-1}L^{-3}T^4I^2$	T^2	$ML^3T^{-2}I^{-2} = G \cdot k^2$
2.	Электрическая емкость	C	$M^{-1}L^{-2}T^4I^2$	LT^2	
3.	Изменение емкости	dC/dt	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$	LT	
4.	Электрическая проводимость (потенциальная, по φ)	g	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$	LT	
5.	Изменение проводимости	dg/dt	$M^{-1}L^{-2}T^2I^2$	L	
6.	Удельная проводимость	σ	$M^{-1}L^{-3}T^3I^2$	T	
<i>(Второй группы)</i>					
7.	Абсолютная магнитная проницаемость	$\mu\mu_0$	$MLT^{-2}I^{-2}$	L^{-2}	$M^{-1}L^{-3}T^2I^2 = G^{-1}k^{-2}$
8.	Индуктивность	L	$ML^2T^{-2}I^{-2}$	L^{-1}	
9.	Изменение индуктивности	dL/dt	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-1}$	
10.	Электрическое сопротивление	R	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-1}$	
11.	Изменение электрического сопротивления	dR/dt	$ML^2T^{-4}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-2}$	
12.	Удельное электрическое сопротивление	ρ	$ML^3T^{-3}I^{-2}$	T^{-1}	
13.	Градиент электрического сопротивления	β	$MLT^{-3}I^{-2}$	$L^{-2}T^{-1}$	
ФВ, используемые в описании эффекта Холла					
1.	Постоянная Холла	R_H	$L^3T^{-1}I^{-1}$	T	$L^{-3}T^2I$
2.	Подвижность носителей тока	u_0	$T^2M^{-1}I$	T^2	MI^{-1}

Таблица 1 показывает нам объективное и точное разделение электромагнитных величин на три основные группы. Это базовые электромагнитные величины, характеризующиеся материальным содержанием (заряды, токи и их интегральные и производные величины), полевые электромагнитные величины и структуро-средовые величины, подразделяемые в свою очередь на две противоположные по размерности подгруппы.

На базе данного разделения электромагнитных и других величин на различные системные группы, удалось создать систему физических величин и закономерностей (ФВиЗ), описание которой изложено в ранее опубликованных работах автора [1- 4].

Система имеет вид упорядочено расположенных LT – размерностных элементов, содержащих физические величины (ФВ). Эти ФВ, выраженные, как правило, по размерности в системе СИ многоуровнево (многослойно) входят в элементы системы с дополнительными размерностными коэффициентами, значение которых определяет принадлежность ФВ к тому или иному системному уровню (слою).

Формальный механизм обнаружения закономерных взаимосвязей ФВ состоит в построении выделенных параллелограммов или линий, в которых соблюдается определенное логико-математическое правило. Это правило заключается в равенстве отношений (произведений) размерностей ФВ (выражаемых в привычной системе СИ), расположенных на смежных (противоположных) вершинах выделенного параллелограмма. При этом имеет место и взаимное уничтожение дополнительных размерностных коэффициентов, о которых говорилось выше.

В пределах каждого системного уровня ФВ связаны по горизонтали через размерность *скорости*, а при переходах сверху вниз ФВ связаны через размерность *длины* или *времени*, в зависимости от склонения указанного перехода – влево или вправо. На рис.1 показан частный вариант изображения системы ФВиЗ, используемый преимущественно для показа известных электромагнитных величин и их взаимосвязей.



Рис.1. Частный вариант изображения системы в области электромагнитных величин.

Показанные на рис.1 системные связи, иллюстрируют известные закономерные связи ФВ: *сила* (умноженная на безразмерную константу) есть *электрический заряд*, умножаемый на *напряженность электрического поля*; *электродвижущая сила самоиндукции* катушки индуктивности, равна произведению *индуктивности* катушки на *изменение силы* протекающего через нее *электрического тока*; *магнитный поток* равен произведению *индукция магнитного поля* на *площадь*.

В нижней части по бокам изображения по рис.1 приведены цветные пиктограммы, призванные облегчить нахождение закономерных взаимосвязей ФВ разных системных уровней.

Изображение всего блока электромагнитных величин, в совокупности с общими базовыми величинами - типа *длины, времени, энергии и силы*, на одном рисунке весьма затруднительно, поэтому используют, как правило, отдельные частные изображения с показом требуемых величин. Примеры других частных изображений системы ФВиЗ по разделу электромагнетизма приведены далее.

Рассматриваемые далее примеры одновременно показывают возможность описания законов электромагнетизма, включая описание электромагнитных волн, без использования полевых параметров. При этом теория электродинамики получает шанс наконец-то избавиться от абсурдного, по мнению автора, представления электромагнитных волн в виде синфазного изменения двух векторов: электрической и магнитной напряженностей. При таком представлении волн пространственный энергетический поток (вектор Пойнтинга) получается пульсирующим, а объемная плотность энергии волны то нулевой, то возрастающей до максимального значения. Куда на короткое время «прячется» местная энергия волны и откуда она снова «возникает» – современная теория электродинамики ответов не дает.

Представления о поле и о главных полевых электродинамических величинах – *напряженности электрического поля - E и индукции магнитного поля – B* возникли достаточно давно. В те времена еще не было данных о поляризуемости вакуума за счет виртуальных частиц, а механизм намагничивания вакуума за счет токов смещения и до сих пор остается не очень понятным. При этом о наличии самих эффектов поляризуемости и намагничиваемости вакуума у современных физиков практически нет сомнений.

Физические величины *поляризованность* и *намагниченность*, являющиеся объемными плотностями соответственно - *электрического дипольного момента* и *магнитного дипольного момента*, относятся к материальным параметрам (см. табл.1), а *напряженность электрического поля* и *индукция магнитного поля* относятся к полевым величинам без которых, как будет показано далее, вполне можно обойтись. «Не множьте сущностей без крайней необходимости» (Бритва Оккама) - принцип весьма актуальный, по мнению автора, применительно к современной электродинамике.

Принято считать, что полевые величины необходимы для выражения силовых и энергетических зависимостей, используемых в описании электрического и магнитного полей. Однако это не так. Приводимые данные таблицы 2 и изображений системы по рис.2 – рис.4 опровергают это мнение.

Таблица 2

Сравнительное представление электродинамических параметров вакуума

Наименование параметра	Полевая форма	Материальная форма (соотношения предполагаемые)
Объемная плотность электрической энергии	$w = \frac{\varepsilon_0 \vec{E}^2}{2}$	$w = \frac{\vec{P}_B^2}{2\varepsilon_0}$
Объемная плотность магнитной энергии	$w = \frac{\vec{B}^2}{2\mu_0}$	$w = \frac{\mu_0 \vec{J}_B^2}{2}$
Объемная плотность энергии в электромагнитной волне	Меняется от 0 до $\frac{\varepsilon_0 \vec{E}_{\max}^2}{2} + \frac{\vec{B}_{\max}^2}{2\mu_0}$	Перетекает из одной формы в другую, составляя в среднем $w = \frac{J_B \cdot P_B}{R_B^{-1}}$
Вектор Пойнтинга (Умова)	$\vec{s} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$ (пульсирует по амплитуде с удвоенной частотой)	$\vec{s} = \frac{\vec{J}_B \times \vec{P}_B}{\varepsilon_0}$ (пульсаций нет)
Фазовые соотношения изменений электрической и магнитной энергий	Изменения синфазны	Изменения имеют сдвиг по фазе на $\pi/2$
Соотношения между разнотипными изменяющимися величинами	$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$; для волн в вакууме = 0	$\operatorname{div} \vec{P} = \rho'_q = -\frac{1}{c} \vec{j}_{\text{cm}} $; для волн в вакууме $\neq 0$
	$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\operatorname{rot} \vec{P}_B = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{J}_B}{\partial t}$
	$\operatorname{div} \vec{B} = 0$	$\operatorname{div} \vec{J}_B = -\frac{\partial \vec{P}_B }{\partial t} = \vec{j}'_{\text{cm}}$
	$\operatorname{rot} \vec{B} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\operatorname{rot} \vec{J}_B = \vec{\omega} \times \vec{P}_B = \vec{j}''_{\text{cm}}$
	$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = -c^2 \operatorname{rot} \vec{B}$	$\frac{\partial \vec{P}_B}{\partial t} = -(\operatorname{div} \vec{J}_B + \operatorname{rot} \vec{J}_B)$
	$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\operatorname{rot} \vec{E}$	$\frac{\partial \vec{J}}{\partial t} = -c^2 (\operatorname{div} \vec{P}_B + \operatorname{rot} \vec{P}_B)$
Соотношения между амплитудными значениями разнотипных величин	$B = \frac{E}{c}$	$P_{\text{mB}} = \frac{J_{\text{mB}}}{c}$

В таблице 2 дополнительным подстрочным значком v обозначены параметры, соответствующие вакууму; c – скорость света; \vec{j}_{cm} , \vec{j}'_{cm} и \vec{j}'' – токи смещения различного происхождения; R_b^{-1} – волновая проводимость вакуума.

Предложенный подход, предусматривающий материальное описание волновых электромагнитных процессов в вакууме требует новой формулировки уравнений Максвелла. В этих уравнения примут участие базовые и структуро-средовые электромагнитные величины, которые можно причислить к одному классу, назвав их – материальными электромагнитными величинами. В таблице 2 эти уравнения можно легко обнаружить.

На рис.2 представлены системные закономерности, иллюстрирующие ФВ *поляризованность* и *намагниченность*, которые в виртуальных формах должны быть присущи и вакууму.

$$\vec{P}_B = \frac{\sum \vec{P}_{qb}}{V}, \quad (1)$$

$$\vec{J}_B = \frac{\sum \vec{P}_{mb}}{V}. \quad (2)$$

Объемная плотность энергии электрической и магнитной составляющих электромагнитной волны в вакууме, определяемой через материальные параметры, *Объемная плотность энергии* электрической и магнитной составляющих электромагнитной волны в вакууме, выражаемая через материальные параметры по идее должна определяться следующими соотношениями (наличие цифры 2 требует уточнения):

$$w = \frac{\vec{P}_B^2}{2\varepsilon_0}, \quad (3)$$

$$w = \frac{\mu_0 \vec{J}_B^2}{2}. \quad (4)$$

Из сравнения выражений 3 и 4 с общеизвестными выражениями для объемных плотностей энергии электрического и магнитного полей (первые две строки таблицы 2) легко определяются соотношения между главными полевыми и материальными величинами:

$$\vec{E} = \frac{\vec{P}_B}{\varepsilon_0}, \quad (5)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{J}_B. \quad (6)$$

Если между полевыми и материальными ФВ вакуума существует такая простая связь, то возникает вопрос, а для чего нам вообще нужны полевые электромагнитные вели-

чины? Не они ли вносят большую путаницу в наши представления об электромагнитных процессах?

Происхождение физических величин *поляризованность и намагниченность*

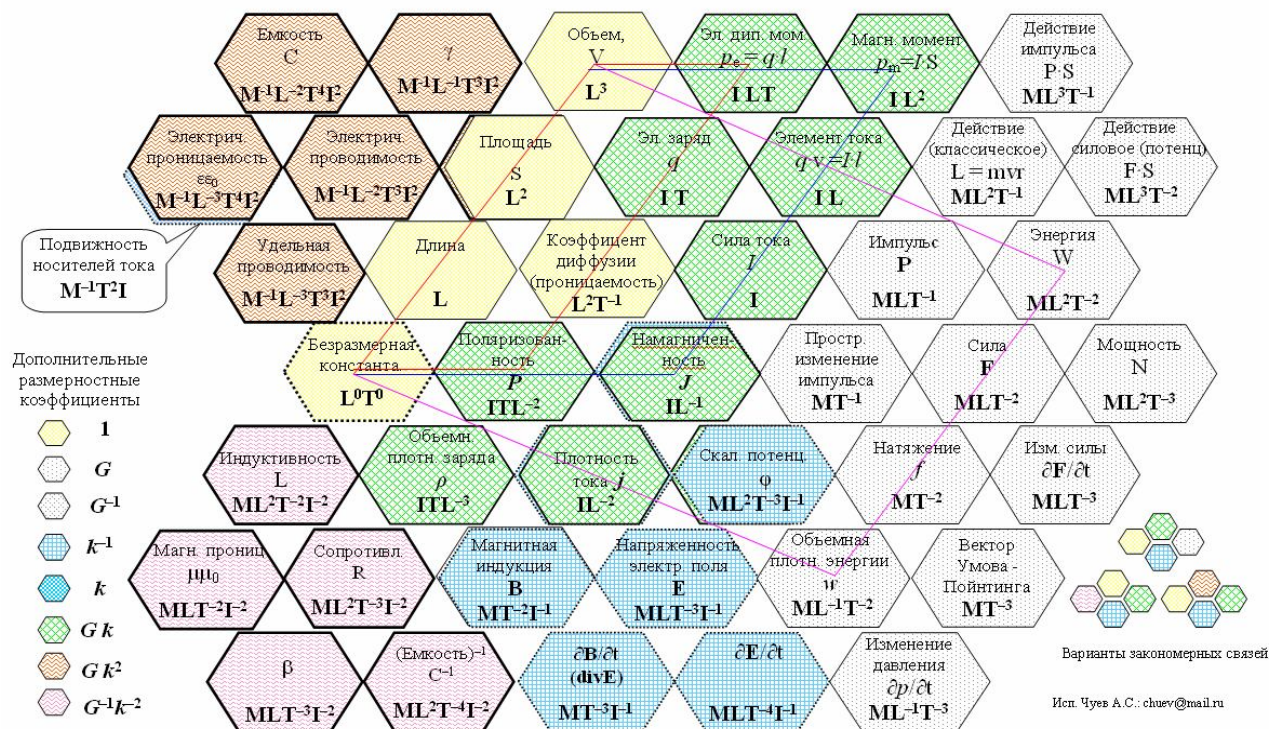


Рис.2. Поляризованность и намагниченность в системе физических величин и закономерностей.

По идее, если все законы электромагнетизма переписать, заменив полевые электромагнитные величины на материальные в соответствии с выражениями (5) и (6), то ничего не должно измениться, а ясности понимания этих процессов может только прибавиться. Часть уравнений связи в таком исполнении и представлена в таблице 1. Далее проиллюстрируем эти и подобные соотношения на системных изображениях (рис.3 – рис.9).

Схема образования полевых электромагнитных величин из соотношения материальных

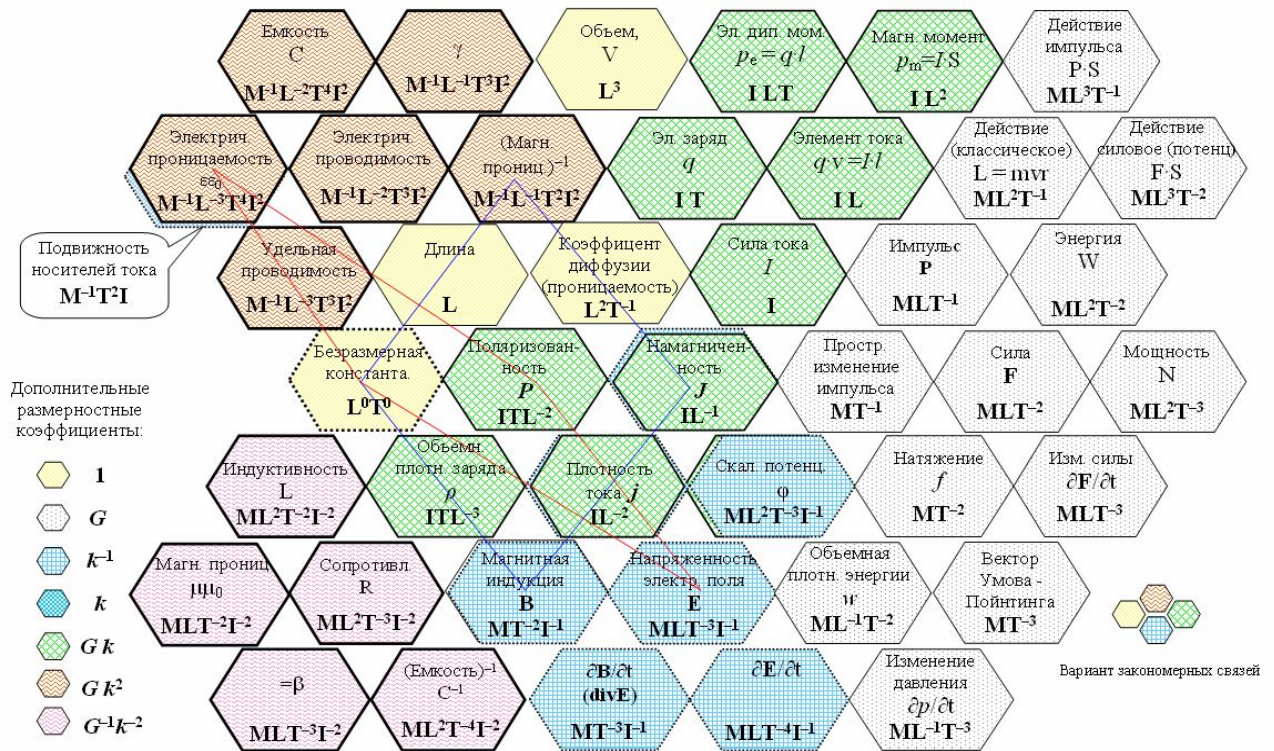


Рис.3. Системная взаимосвязь полевых и материальных электромагнитных величин.

Описание энергетике физических величин *поляризованность и намагниченность без привлечения полевых параметров*

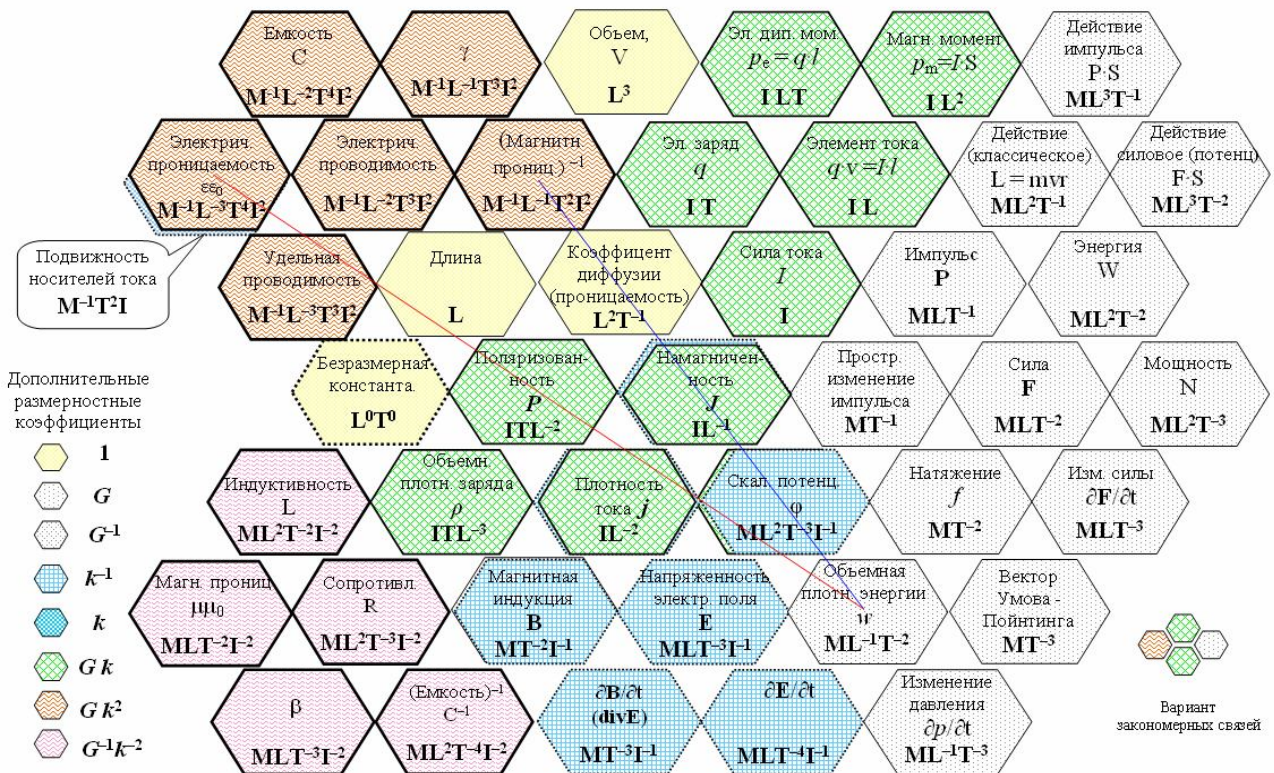


Рис.4. Выражение *объемной плотности энергии* посредством материальных электромагнитных величин *поляризованность и намагниченность*

Объемная плотность энергии поляризованности и намагниченности

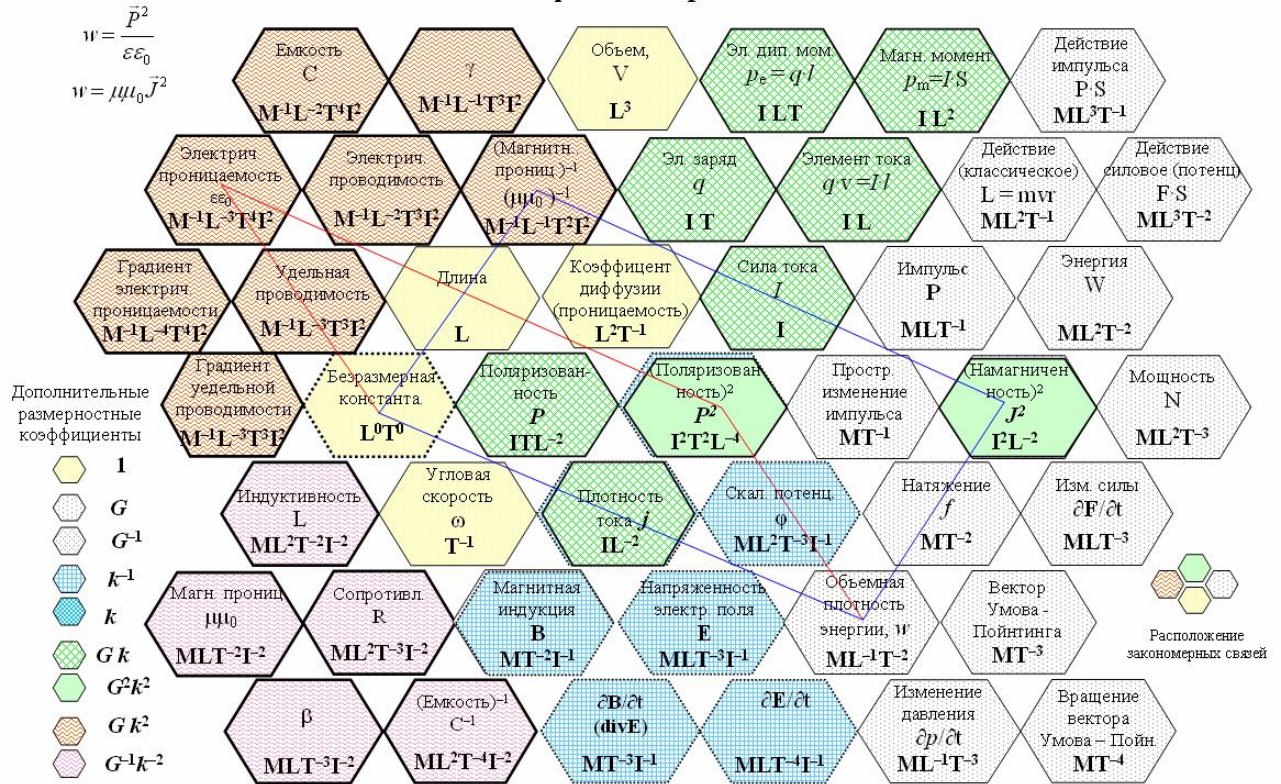


Рис.5. Иное системное представление объемной плотности энергии посредством материальных электромагнитных величин.

Энергетические соотношения с участием физических величин поляризованность и намагниченность

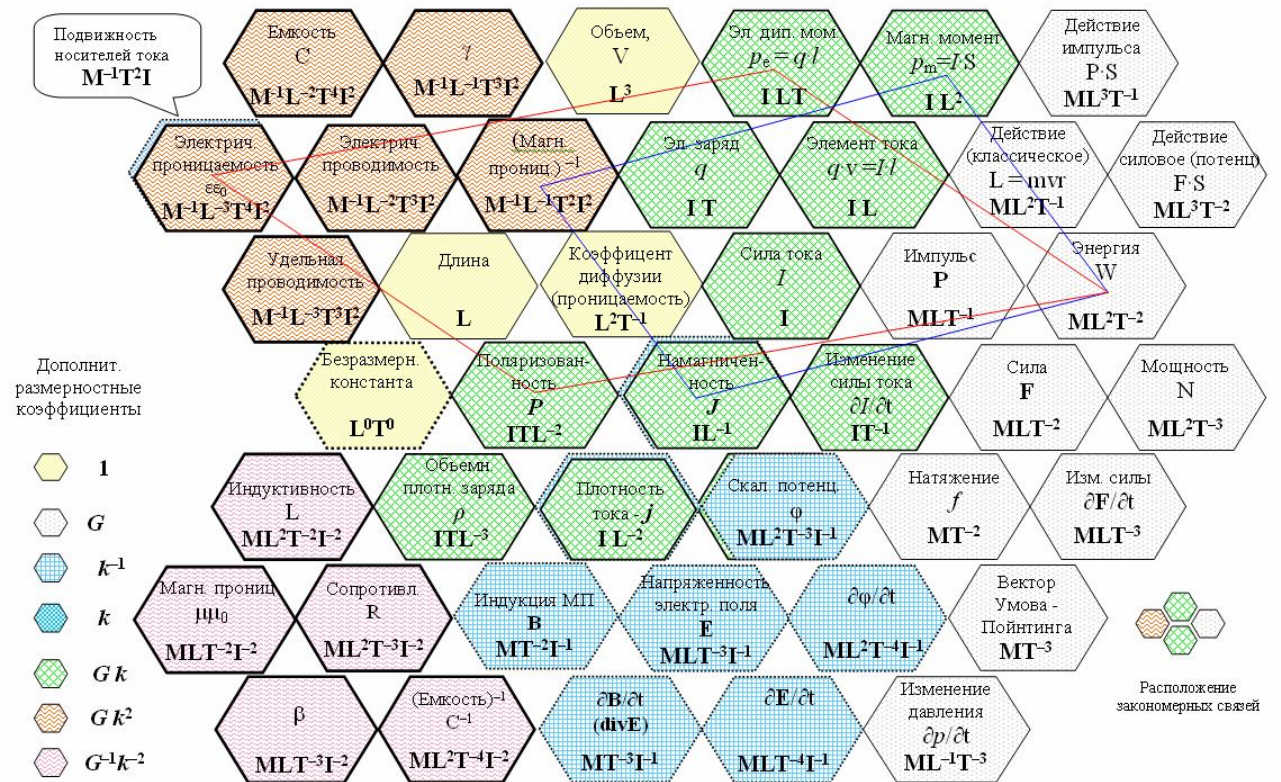


Рис.6. Энергетические соотношения для материальных электромагнитных величин.

Силловые соотношения с участием физических величин поляризованность и намагниченность

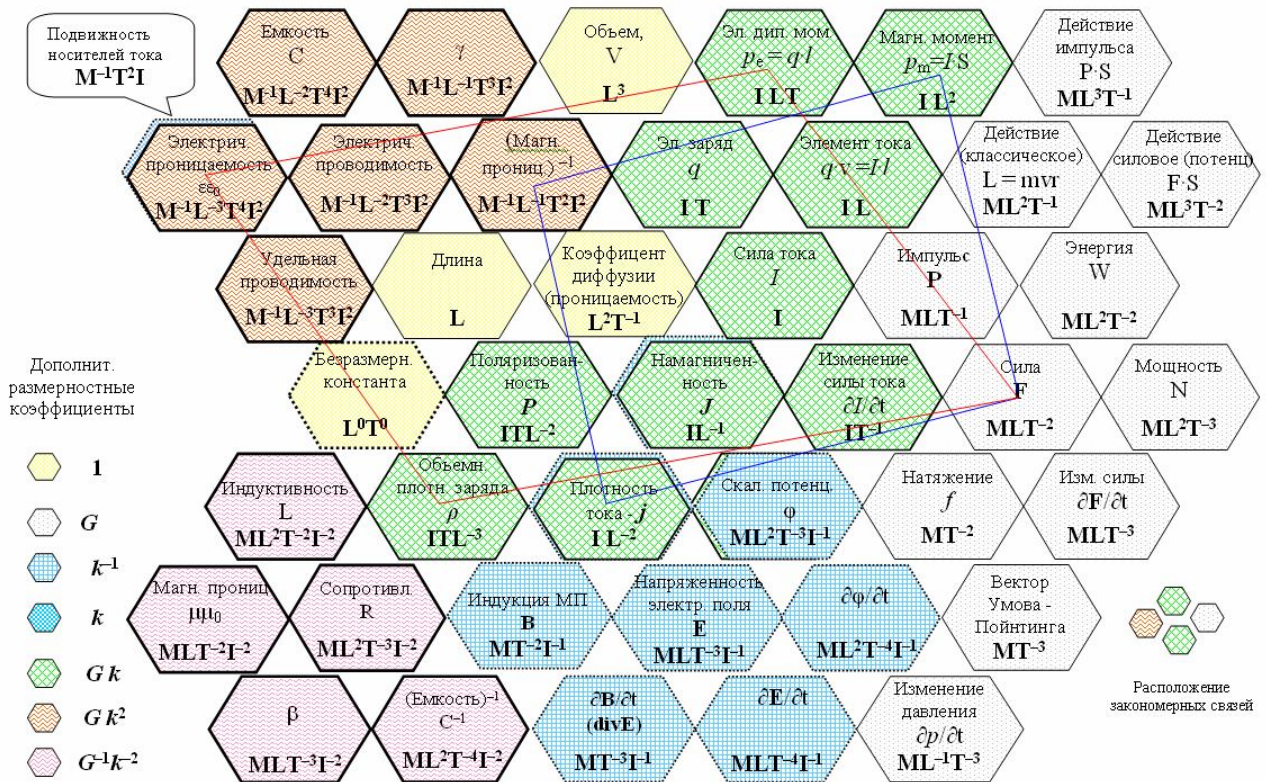


Рис.7. Силловые соотношения с участием градиентов поляризованности и намагниченности.

Системные силловые взаимосвязи электрического заряда с поляризованностью и намагниченностью

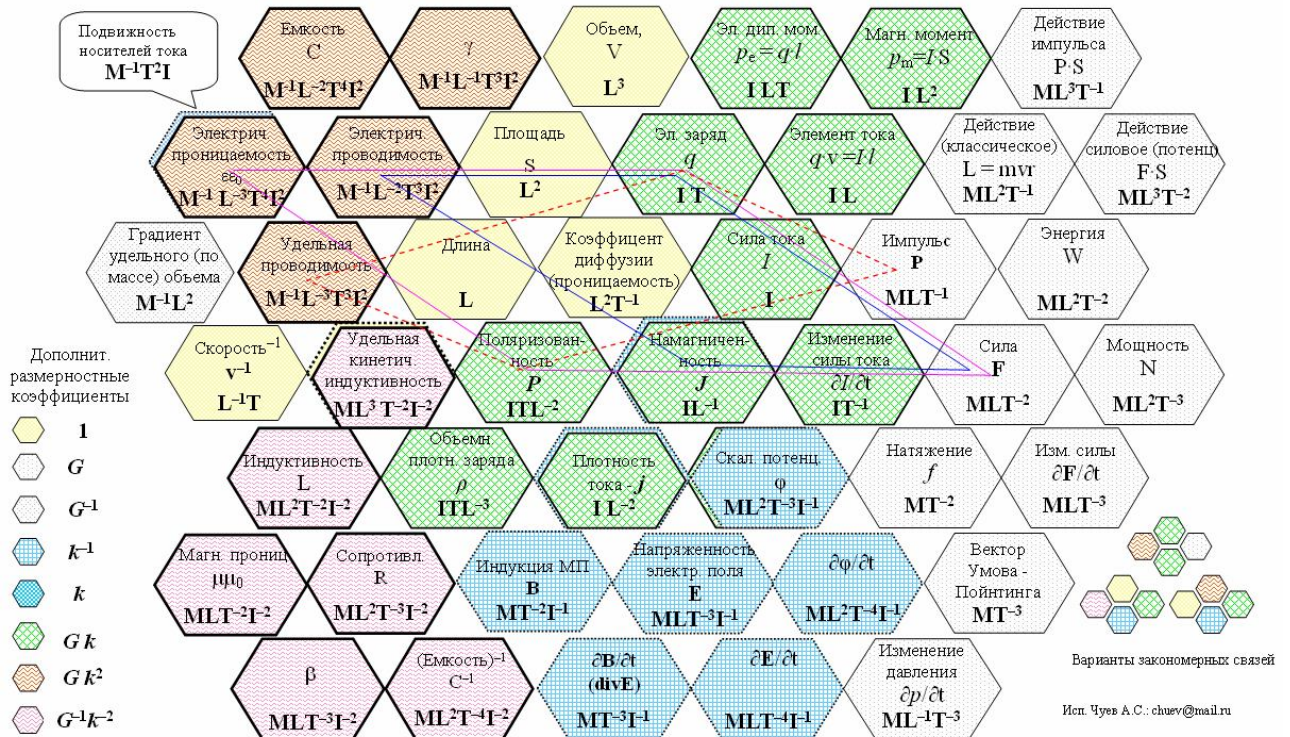


Рис.8. Силловые системные связи с участием электрического заряда и материальных электромагнитных величин.

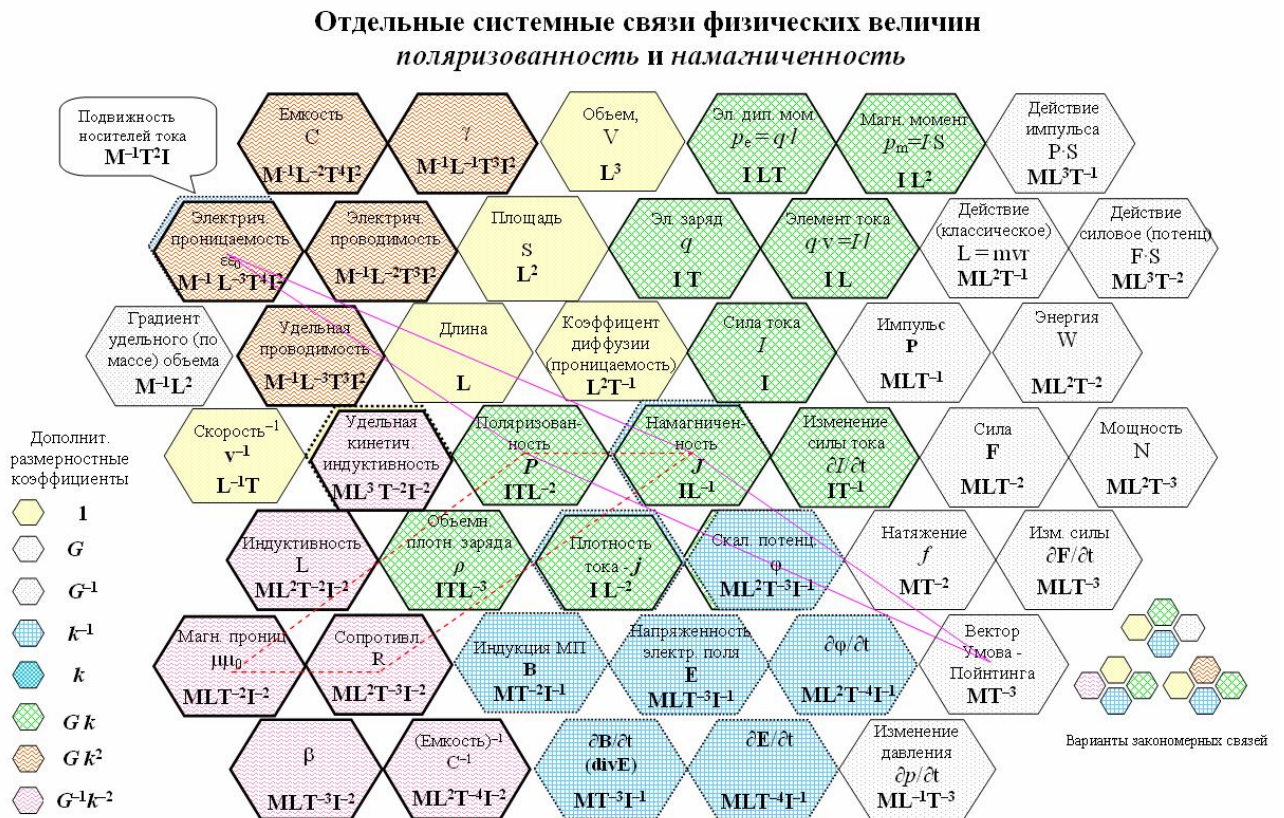


Рис.9. Системные связи *поляризованности* и *намагниченности*, характеризующие возможность описания электромагнитных волн без полевых величин.

На рисунках 1-8 приводились иллюстрации, в общем-то, общеизвестных закономерностей в области электромагнетизма.

Однако последние закономерные связи, показанные на рис.9, иллюстрируют принципиальную возможность описания электромагнитных волн без привлечения для такого описания полевых ФВ, что в аналитическом виде представлено в таблице 2. Такой общий материальный подход к описанию электромагнитных волн является, по мнению автора, нетрадиционным и новым в электродинамике.

К сожалению, в современной теории электродинамики установилась порочная практика вообще не различения материальных и полевых электромагнитных параметров. Например, многие авторы работ достаточно произвольно оперируют такими понятиями как *магнитный* и *электрический векторные потенциалы*, приписывая им размерности материальных ФВ, но считая их полевыми параметрами. Можно привести пример и классического заблуждения – когда «*напряженность магнитного поля*» и «*индукцию электрического поля*» без особых раздумий (правда, иногда сомневаясь в их реальном существовании) относят к полевым параметрам.

На приводимых выше рисунках материальные электромагнитные параметры окрашены в зеленый цвет, а полевые параметры в голубой. Структуро-средовые электромагнитные величины тоже отнесены к материальным, что вполне логично. Думается, что с переходом

от полевого описания электромагнитных волн к описанию их в материальных параметрах, наконец-то произойдет избавление от нелепости их изображения в виде синфазного изменения электрической и магнитной составляющих. О том, что вектор плотности потока энергии волны (вектор Пойнтинга) при этом представлен пульсирующим с удвоенной частотой волны, стараются вообще не упоминать.

Литература:

1. Чуев А.С. Преподавание и изучение природных закономерностей с использованием системы физических величин (целостный подход). // Необратимые процессы в природе и технике: Тезисы докладов Третьей Всероссийской конференции 24-26 января 2005 г.- М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005.- с.334.
2. Чуев А.С., Легейда А.С. Система физических величин в электронном исполнении. // Необратимые процессы в природе и технике: Труды Четвертой Всероссийской конференции 29-31 января 2007 г.- М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, ФИАН. 2007. Часть II - с.626.
3. Чуев А.С. Система физических величин и закономерных размерностных взаимосвязей между ними./ Журн. «Законодательная и прикладная метрология». №3 - 2007. С.30-33.
4. Чуев А.С. Анализ новых физических величин: «поляризуемость вакуума» и «удельная кинетическая индуктивность» в системе физических величин и закономерностей. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11463.html>, 30 октября 2011 г.