

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ФИЗИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ ИНЖЕНЕРОВ

К.т.н., А.С. Чуев (МГТУ им. Н.Э. Баумана, ГУУ)

www.chuev.narod.ru , chuev@mail.ru

Современное целостное и системное физическое образование невозможно, по мнению автора, сформировать без знаний о системе физических величин и закономерных соотношений между ними. Это примерно так же, если бы мы изучали современную химию, не зная периодическую систему химических элементов Д.И. Менделеева. Особенно важно полноценное физическое образование в подготовке инженерных кадров. Хотя формирование общего физическое мировоззрения без скатывания в мистицизм и теологию - остается важнейшей задачей для всех уровней и направлений истинно народного просвещения.

Предлагаемая автором (выпускником МВТУ им. Н.Э. Баумана, ныне преподавателем кафедры физики ФН-4) система физических величин и закономерностей (ФВиЗ) является пожалуй лучшим на сегодня учебным пособием этой направленности. Описание данной системы приводилось в ранее опубликованных работах [1-5], однако широкого распространения и применения в учебных заведениях она пока не получила, судя по всему, просто из-за недостаточной информированности физико-педагогической общественности. Данная публикация призвана, в какой-то мере, исправить сложившееся положение.

Системное представление о большой совокупности физических величин (ФВ) и их объективной структуризации на отдельные системные группы - ценно само по себе. Однако самое большое преимущество для пользователей системы заключается в том, что имея ее перед глазами и зная формальные правила построения системных взаимосвязей между ФВ можно легко находить связи, выражающие природные закономерности. При этом отпадает необходимость в бездумном зазубривании множества физических формул и становится бессмысленным «умение выводить» из одних формул – другие, что зачастую оказывается наиболее сложным и трудным в освоении физики студентами технических вузов.

Прежде чем приступить к пользовательскому описанию системой ФВиЗ рассмотрим истоки ее происхождения. Система имеет своей основой упорядочено расположенные LT – размерностные элементы. Эти элементы, по сути, есть LT – размерностное представление физических величин. Такое представление известно из работ советского авиаконструктора Р. Бартини [6, 7], хотя рассматриваемое здесь представление существенно отличается от его варианта как по расположению величин, так и по их размерностному определению в части электромагнитных величин. Кроме того, Бартини не сумел обнаружить общий принцип построения закономерных связей физических величин.

В авторской системе физические величины входят в LT – размерностные элементы системы с размерностями привычной системы СИ, причем входят многоуровнево (многослойно). Здесь каждый системный элемент, в отличие от известной системы Д.И. Менделеева, может содержать несколько различных ФВ, располагаемых на своих системных уровнях. Эти ФВ разных системных уровней отличаются (от размерности системного элемента) дополнительным размерностным коэффициентом, который и определяет принадлежность ФВ к тому или иному системному уровню (слою).

Данные о размерностях системных элементов, размерностях входящих в них ФВ и дополнительных размерностных коэффициентах приведены в таблице 1.

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
<u>Динамические общие базовые величины</u>					
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	$grad p$	$ML^{-2}T^{-2}$	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	Γ^{-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	$q \cdot l$	LTI	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}	
<u>Полевые электромагнитные величины</u>					
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	$(rotB)$	$L^{-1}T^{-2}MI^{-1}$	$L^{-1}T^{-2}$	
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	μ_0	$MLT^{-2}I^{-2}$	L^{-2}	$M^{-1}L^{-3}T^2I^2 = G^{-1}k^{-2}$
8.	Индуктивность	\underline{L}	$ML^2T^{-2}I^{-2}$	L^{-1}	
9.	Изменение индуктивности	$\underline{dL/dt}$	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-1}$	
10.	Электрическое сопротивление	\underline{R}	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-1}$	
11.	Изменение электрического сопротивления	$\underline{dR/dt}$	$ML^2T^{-4}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-2}$	
12.	Удельное электрическое сопротивление	ρ	$ML^3T^{-3}I^{-2}$	T^{-1}	
13.	Градиент электрического сопротивления	$\underline{\beta}$	$MLT^{-3}I^{-2}$	$L^{-2}T^{-1}$	
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}

Дополнительные размерностные коэффициенты, представляющие собой соотношение между LT – размерностным представлением ФВ и их размерностным представлением в системе СИ, в рассматриваемой системе физически означают соотношение между размерностями и соответственно единицами измерения [8] трех родов (выражений) *массы* [9].

Во-первых, это *инертная масса*; единица измерения – кг, размерность – М.

Во-вторых, *гравитационная масса*; единица измерения – (m^3/c^{-2}), размерность – L^3T^{-2} .

В-третьих, *электромагнитная токовая масса*; единица измерения – А, размерность – I.

Соотношение между *массой* в выражениях первого и второго рода определяется *гравитационной постоянной* – G, отличной от общепринятого значения на 4л. Соотношение между *массой* в выражениях первого и третьего рода определяется соотношением [9]:

$$\xi = \frac{\alpha q_e \mu_0}{c} \approx 4,90 \cdot 10^{-36} \text{ (Кл Гн с/м}^2 \text{ = кг/А)}. \quad (1)$$

Как видно из последнего столбца таблицы 1 соотношения между LT – размерностным выражением ФВ и ее выражением в системе СИ с учетом обозначенных выше трех родов *массы* всегда оказываются единичны, то есть безразмерны.

Приведенные разъяснения о происхождении системы ФВиЗ пользователям ею вообще не требуются. Перейдем к конкретному описанию системных уровней и как искать в системе закономерные связи ФВ.

Системные уровни различаются дополнительными размерностными коэффициентами, значения которых приведены в последнем столбце таблицы 1. С целью визуализации принадлежности ФВ к тому или иному системному уровню, а также для облегчения обнаружения закономерных взаимосвязей ФВ, в системе обычно применяется раскраска разными цветами ФВ разных системных уровней. При этом для определенного системного уровня лучше использовать и определенный цвет.

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 (в системе СИ), расположенных на смежных (противоположных) вершинах выделенного параллелограмма. При этом имеет место и взаимное уничтожение дополнительных размерностных коэффициентов, о которых говорилось выше.

Из-за многоуровневого строения и множества закономерных связей все их изобразить в системе на одной картинке практически невозможно, поэтому используют отдельные частные изображения или электронный вариант системы [4, 5]. Для изображения системы, особенно в виде отдельных частных изображений, нужны как минимум три отдельные картинки или блока: 1 - механических величин, 2 - тепловых и излучательных величин и 3 - электромагнитных физических величин.

Самое простое изображение системы ФВиЗ принадлежит области механических величин. Физические величины расположены здесь всего лишь на двух системных уровнях (рисунок 1). Эти ФВ названы общими базовыми, поскольку с ними связаны закономерными связями физические величины всех остальных системных уровней.

Изображение системы в части тепловых и излучательных величин приведено на рисунке 2. Размерность *температуры* здесь принята совпадающей с размерностью *частоты*. Это принято, в основном, по физическим соображениям, а также из условия компактности размещения всех физических величин этой части системы. Красной окантовкой выделены ФВ наиболее важные для температурных закономерностей, а голубой окантовкой выделены ФВ, участвующие в излучательных закономерностях.

ОБЩИЕ БАЗОВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

(Подразделяются на кинематические и динамические)

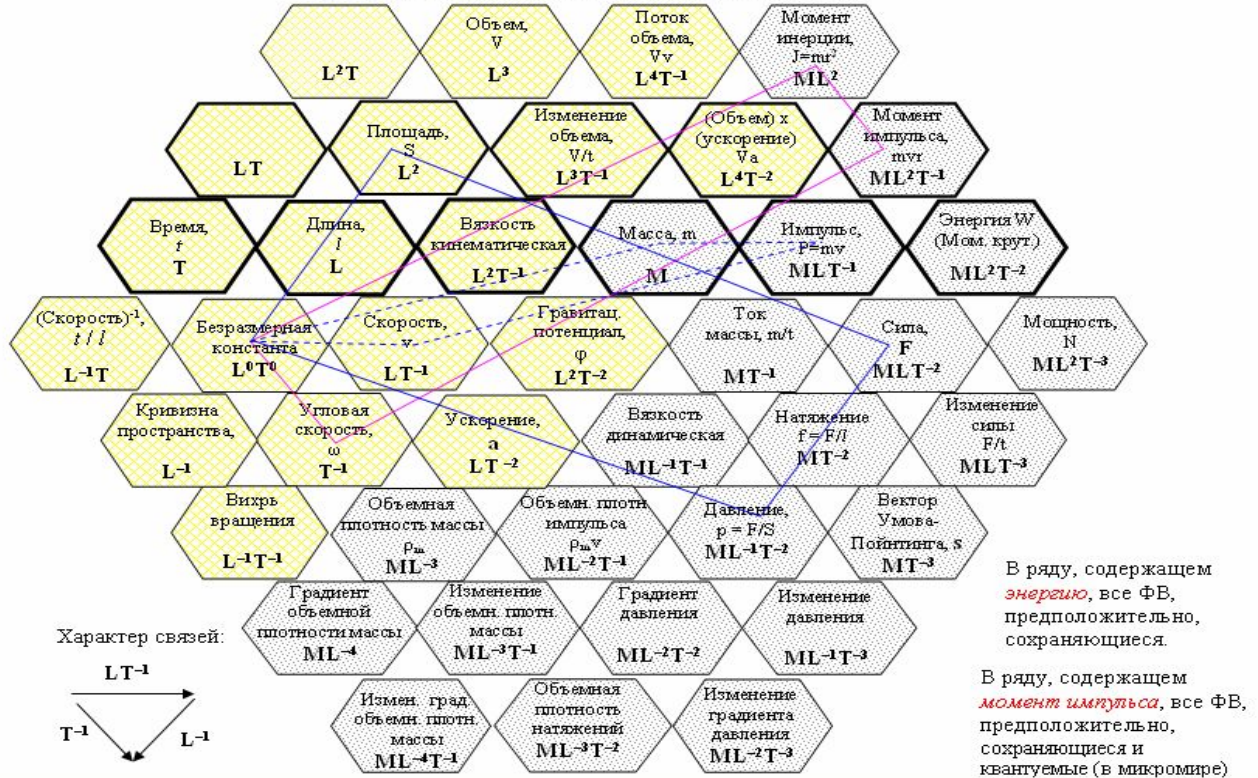


Рис.1. Физические величины и закономерности в области механики.

СИСТЕМА ТЕПЛОВЫХ И ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН

(Размерности температуры и частоты приняты совпадающими)

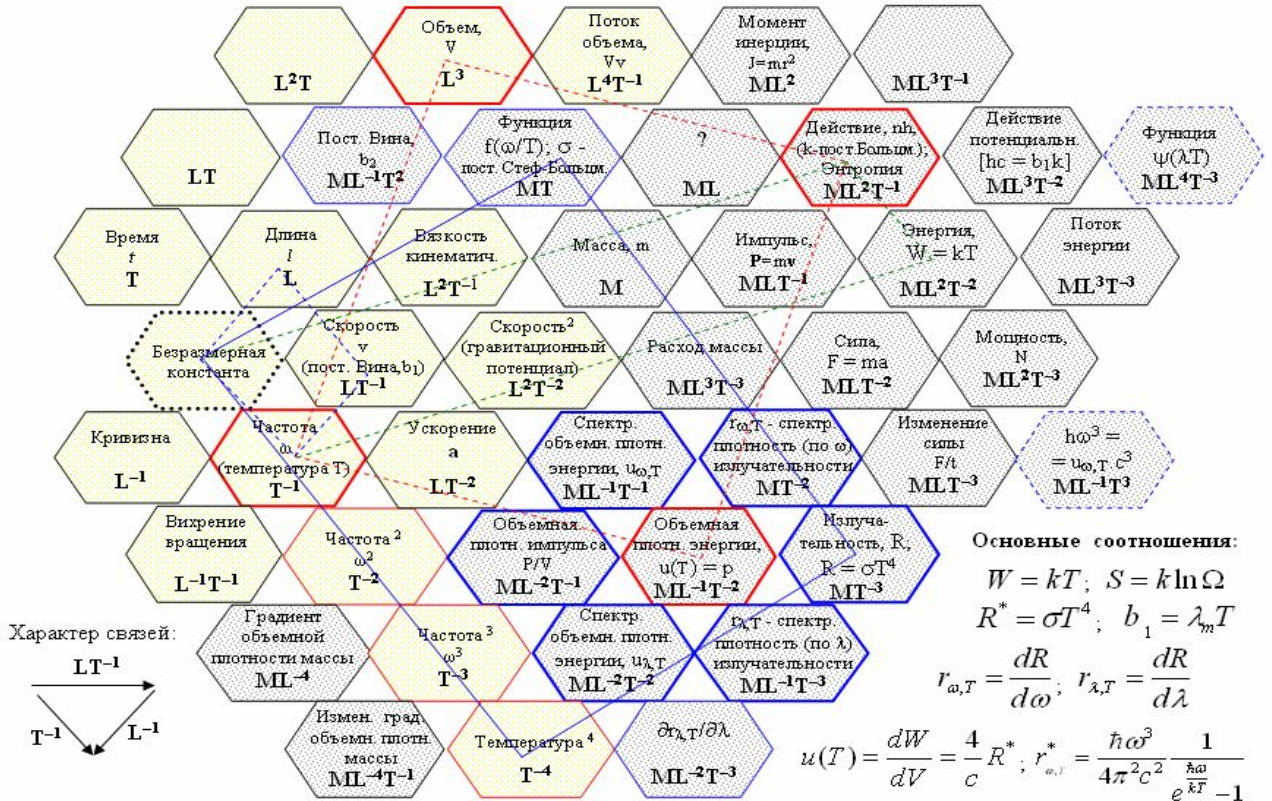


Рис.2. Система ФВиЗ в части тепловых и излучательных величин.

Изображение блока электромагнитных величин, в совокупности с общими базовыми величинами - типа *энергии* и *силы*, на одном рисунке затруднительно, поэтому здесь используется, как правило, нескольких изображений. Примеры частных изображений системы ФВиЗ по разделу электромагнетизма, приведены на рисунках 3-5.

На рисунках видно, что в пределах каждого системного уровня ФВ связаны по горизонтали через размерность *скорости*, а сверху вниз – через размерность *длины* или *времени*, в зависимости от склонения указанного перехода – влево или вправо.

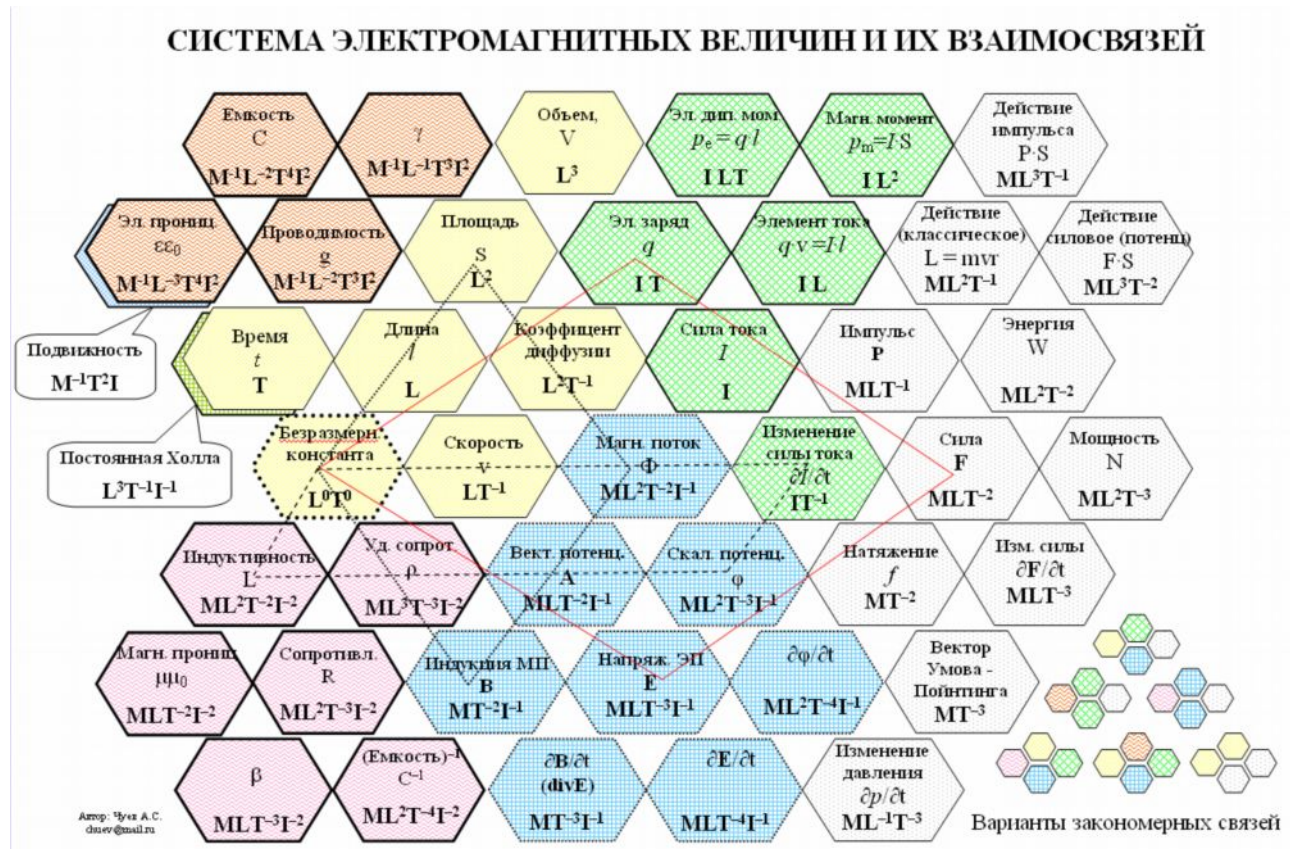


Рис.3. Частное изображение системы физических величин и закономерностей по разделу электромагнитных величин.

На рисунке 3 показаны закономерные связи, соответствующие трем закономерным взаимосвязям ФВ: *сила, электрический заряд и напряженность электрического поля; электродвижущая сила самоиндукции катушки индуктивности при изменении силы протекающего через нее электрического тока; взаимосвязь индукции магнитного поля и магнитного потока через площадь.*

Справа внизу изображения по рис.3 приведены цветные пиктограммы, призванные облегчить нахождение закономерных взаимосвязей ФВ разных системных уровней.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

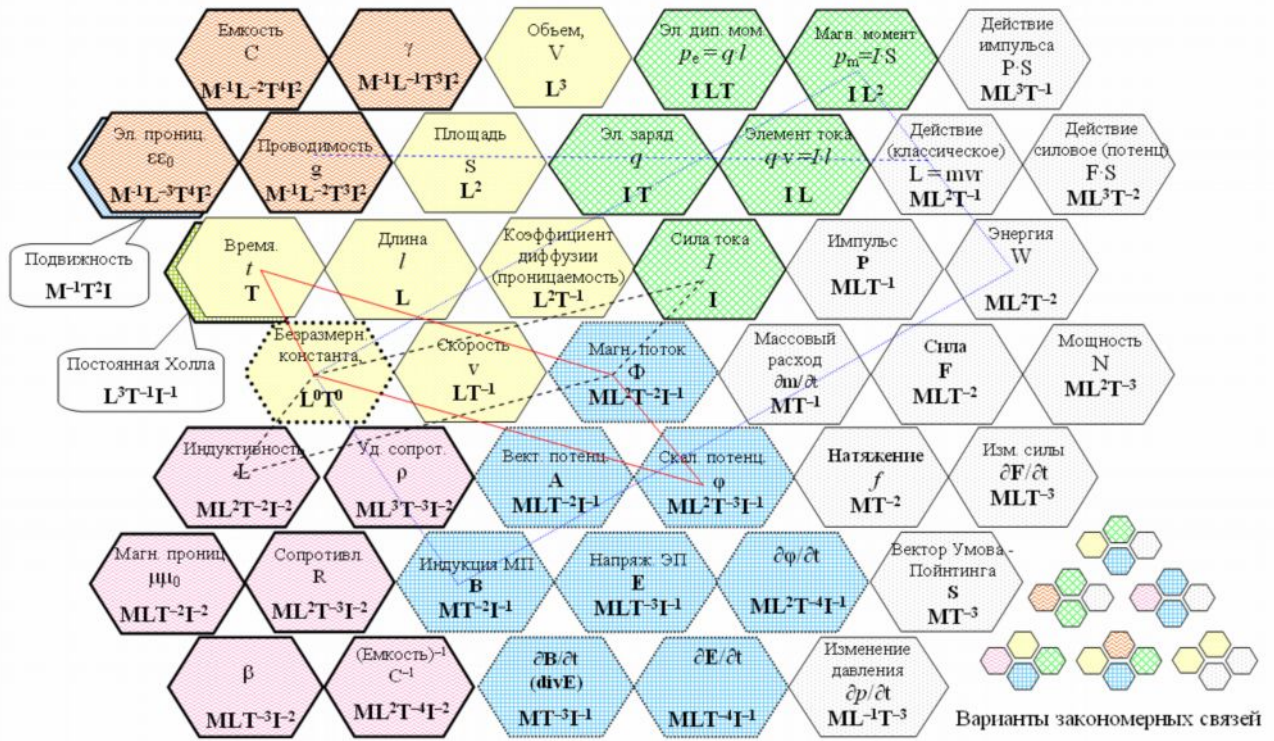


Рис.4. Отдельные системные взаимосвязи физических величин по разделу электромагнетизма.

Поляризованность и намагниченность в системе физических величин и закономерностей

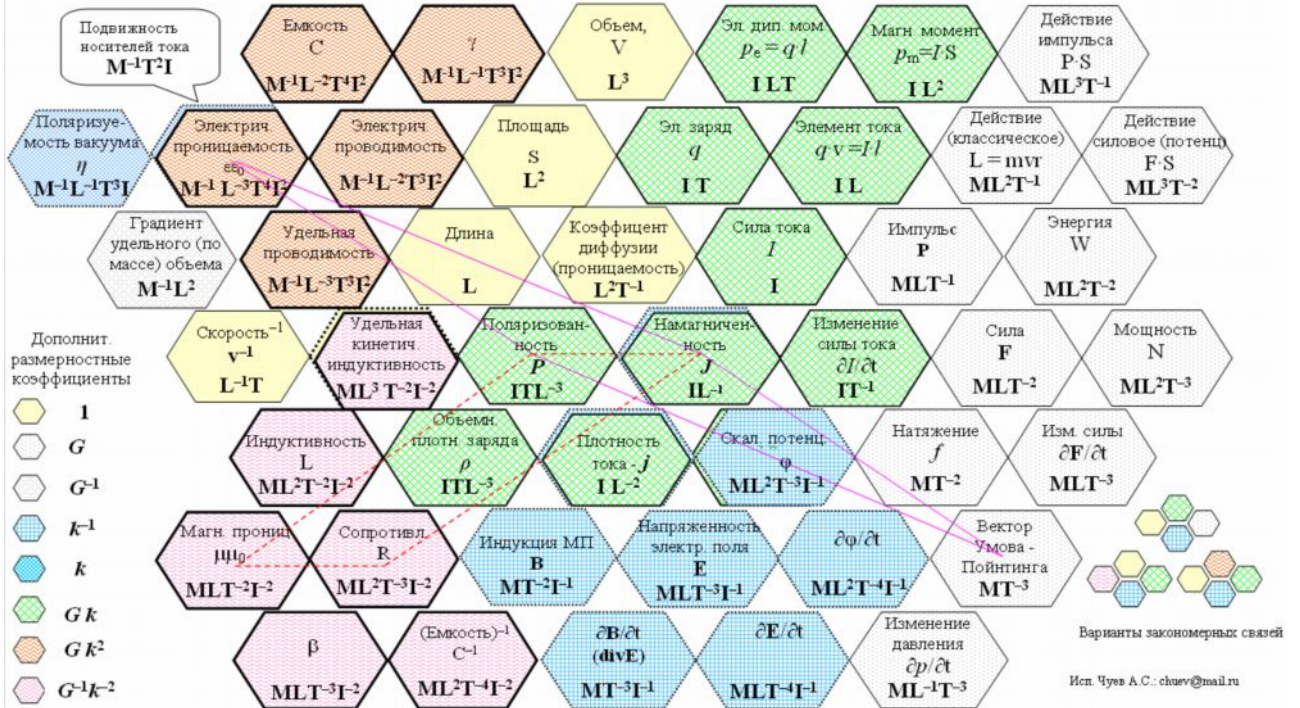


Рис.5. Частное изображение системы ФВиЗ, иллюстрирующее возможность материального описания электромагнитных волн.

На рисунках 3 и 4 приведены иллюстрации общеизвестных закономерностей в области электромагнетизма. На рисунке 5 показан вариант системы с новыми ФВ и закономерными взаимосвязями, иллюстрирующий принципиальную возможность описания электромагнитных волн без привлечения полевых ФВ. Более подробно этот вопрос рассматривается в другой работе автора. Здесь же, этот вариант приводится как иллюстрация возможностей системы ФВиЗ в открытии новых природных закономерностей.

Литература

1. Чуев А.С. Использование системы физических величин в объяснении принципа органичности мироустройства по предмету «Концепции современного естествознания»/ Материалы международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы управления - 2002". 23-24 октября 2002 г. Выпуск 6. Москва. ГУУ-2002.
2. 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.
3. Чуев А.С. О целостном подходе в преподавании естественно-научных закономерностей с использованием системы физических величин/ Материалы международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы управления - 2004". Октябрь 2004 г. Выпуск 6. Москва. ГУУ-2004.
4. 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.
5. Чуев А.С. Система физических величин и закономерных размерностных взаимосвязей между ними./ Журн. «Законодательная и прикладная метрология». №3 - 2007. С.30-33.
6. Бартини Р.Л. Некоторые соотношения между физическими константами./ Доклады Академии наук СССР. 1965. Том 163, № 4. С. 861- 864.
7. Бартини Р.Л. Соотношение между физическими величинами. // Проблемы теории гравитаций и элементарных частиц. Под редакцией д.т.н. К.П. Станюковича и к.ф.-м.н. Г.А. Соколика. – М.: Атомиздат. 1966. Вып.1. с.249-266.
8. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. – М.: Наука. 1988. 432 с.
9. Чуев А.С. Физическая картина мира в размерности «длина-время». Серия «Информатизация России на пороге XXI века». – М.: СИНТЕГ, 1999 – 96 с.