

## Системный подход в физическом образовании инженеров

77-30569/299700

# 02, февраль 2012

Чуев А. С.

УДК: 53.02; 531.111

МГТУ им. Н.Э. Баумана

[chuev@mail.ru](mailto:chuev@mail.ru)

*Теперь мы должны обратить внимание  
на поиск системы физических величин.  
Эта система физических величин,  
если она будет определена правильно,  
должна породить систему законов физики.  
Анри Пуанкаре*

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 физическо-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.

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
<b>Динамические общие базовые величины</b>					
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	$\rho_P$	$ML^{-2}T^{-1}$	$LT^{-3}$
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	$\rho_F$	$ML^{-2}T^{-2}$	$LT^{-4}$
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	$\rho_f$	$ML^{-3}T^{-2}$	$T^{-4}$
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	$\eta$	$ML^{-1}T^{-1}$	$L^2T^{-3}$
17.	Масса (инертная)	$m$	$M$	$L^3T^{-2}$
18.	Расход (ток) массы	$m/t$	$MT^{-1}$	$L^3T^{-3}$
19.	Объемная плотность массы	$\rho_m$	$ML^{-3}$	$T^{-2}$
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 $\Pi = FS = f \cdot V$	$\Pi$	$ML^3T^{-2}$	$L^6T^{-4}$
<b>Кинематические общие базовые величины</b>				
1.	Безразмерная константа		$L^0T^0$	$L^0T^0$
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)	$\nu$	$L^2T^{-1}$	$L^2T^{-1}$
11.	Скорость	$v$	$LT^{-1}$	$LT^{-1}$
12.	Ускорение	$a$	$LT^{-2}$	$LT^{-2}$

1

13.	Угловая скорость (угловая частота)	$\omega$	$T^{-1}$	$T^{-1}$	
14.	Угловое ускорение	$\varepsilon$	$T^{-2}$	$T^{-2}$	
15.	Вихрь вращения	$\xi$	$L^{-1}T^{-1}$	$L^{-1}T^{-1}$	
16.	Кривизна пространства	$\Gamma^{-1}$	$L^{-1}$	$L^{-1}$	
<b>Базовые (материальные) электромагнитные величины</b>					
1.	Электрический заряд	$q$	$TI$	$L^3T^{-1}$	$L^3T^{-2}\Gamma^{-1} = G \cdot k$
2.	Поверхностная плотность электрического заряда	$\sigma_q$	$L^{-2}TI$	$LT^{-1}$	
3.	Объемная плотность электрического заряда	$\rho_q$	$L^{-3}TI$	$T^{-1}$	
4.	Электрический дипольный момент	$q \cdot l$	$LI$	$L^4T^{-1}$	
5.	Индукция электрического поля	$D$	$L^{-2}TI$	$LT^{-1}$	
6.	Изменение индукции электрического поля	$dD/dt$	$L^{-2}\dot{I}$	$LT^{-2}$	
7.	Поляризованность	$P$	$L^{-2}TI$	$LT^{-1}$	
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	$j$	$L^{-2}\dot{I}$	$LT^{-2}$	
11.	Магнитный дипольный момент	$p_m$	$L^2I$	$L^5T^{-2}$	
12.	Изменение магнитного момента	$dp_m/dt$	$L^2\dot{I}T^{-1}$	$L^5T^{-3}$	
13.	«Напряженность» магнитного поля	$H$	$L^{-1}\dot{I}$	$L^2T^{-2}$	
14.	Циркуляция вектора $H$	$= I$	$I$	$L^3T^{-2}$	
15.	Ротор вектора $H$	$(rotH)$	$L^{-2}\dot{I}$	$LT^{-2}$	
16.	Намагниченность магнетика	$J$	$L^{-1}\dot{I}$	$L^2T^{-2}$	
17.	Циркуляция вектора $J$	$= I_{mol}$	$I$	$L^3T^{-2}$	
18.	Ротор вектора $J$	$(rotJ)$	$L^{-2}\dot{I}$	$LT^{-2}$	
19.	Сила поверхностного тока намагничивания на единицу длины	$i$	$L^{-1}\dot{I}$	$T^{-2}$	
<b>Полевые электромагнитные величины</b>					
1.	Магнитный поток (потокосцепление)	$\Phi;$ $(\Psi)$	$L^2T^{-2}MI^{-1}$	$L^2T^{-2}$	$MI^{-1} = k$
2.	Изменение магнитного потока	$d\Phi/dt$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	$L^2T^{-3}$	
3.	Электрический потенциал	$\varphi$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	$L^2T^{-3}$	
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	$A$	$LT^{-2}M\Gamma^{-1}$	$LT^{-2}$	
7.	Напряженность электрического поля	$E$	$LT^{-3}M\Gamma^{-1}$	$LT^{-3}$	
8.	Изменение напряженности электрического поля	$dE/dt$	$LT^{-4}M\Gamma^{-1}$	$LT^{-4}$	
9.	Индукция магнитного поля	$B$	$T^{-2}M\Gamma^{-1}$	$T^{-2}$	
10.	Изменение индукции магнитного поля	$dB/dt$	$T^{-3}M\Gamma^{-1}$	$T^{-3}$	
11.	Дивергенция и ротор напряженности электрического поля	$\operatorname{div}E$ ( $\operatorname{rot}E$ )	$T^{-3}M\Gamma^{-1}$	$T^{-3}$	
12.	Ротор индукции магнитного поля	( $\operatorname{rot}B$ )	$L^{-1}T^{-2}M\Gamma^{-1}$	$L^{-1}T^{-2}$	
<b>Структуро-средовые электромагнитные величины</b>					
<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 $\phi$ )	$g$	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$	$LT$	
5.	Изменение проводимости	$dg/dt$	$M^{-1}L^{-2}T^2I^2$	$L$	
6.	Удельная проводимость	$\sigma$	$M^{-1}L^{-3}T^3I^2$	$T$	
<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	$\rho$	$ML^3T^{-3}I^{-2}$	$T^{-1}$	
13.	Градиент электрического сопротивления	$\beta$	$MLT^{-3}I^{-2}$	$L^{-2}T^{-1}$	
<b>ФВ, используемые в описании эффекта Холла</b>					
1.	Постоянная Холла	$R_H$	$L^3T^{-1}I^{-1}$	$T$	$L^{-3}T^2I$
2.	Подвижность носителей тока	$u_0$	$T^2M^{-1}I$	$T^2$	$M\Gamma^{-1}$

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 –  $(\text{м}^3/\text{с}^{-2})$ , 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]:

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

Как видно из последнего столбца приводимой таблицы 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. 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.

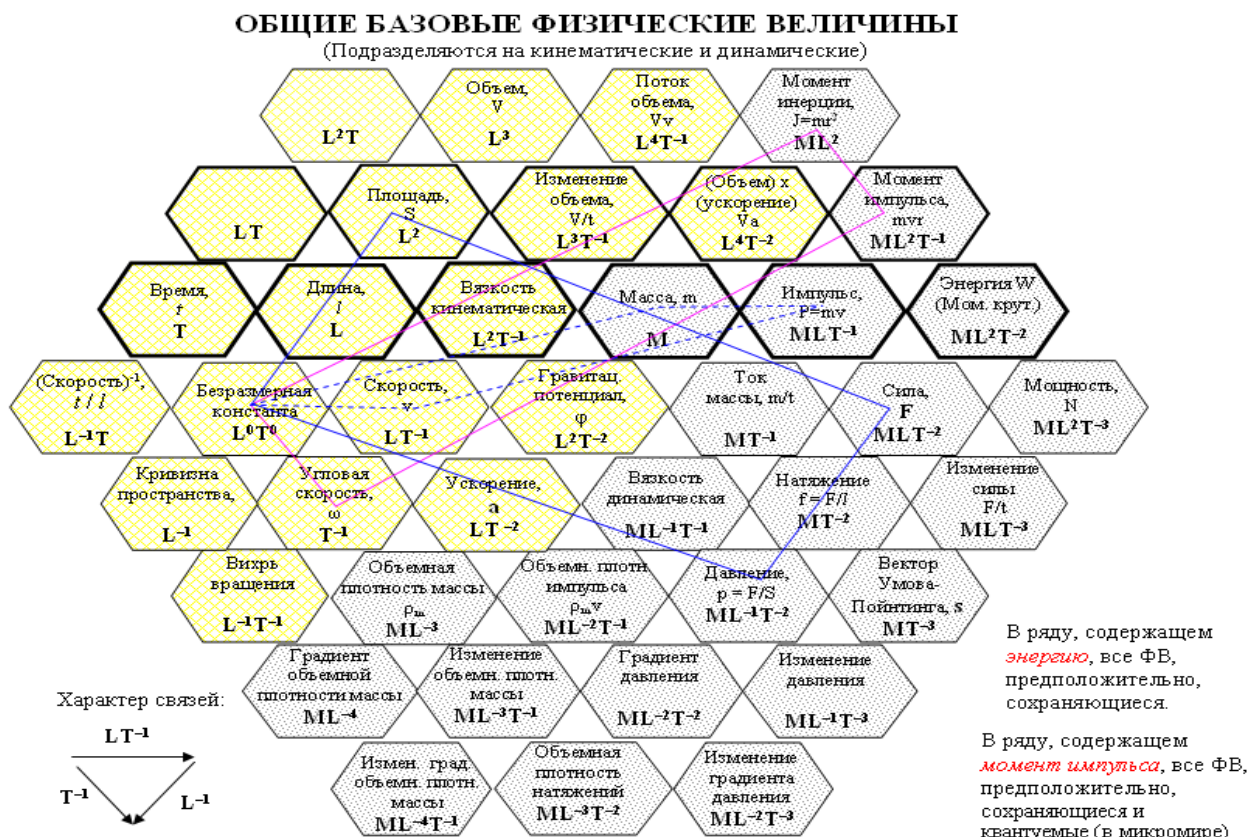


Рис. 1. Физические величины и закономерности в области механики.

## СИСТЕМА ТЕПЛОВЫХ И ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН

(Размерности температуры и частоты приняты совпадающими)

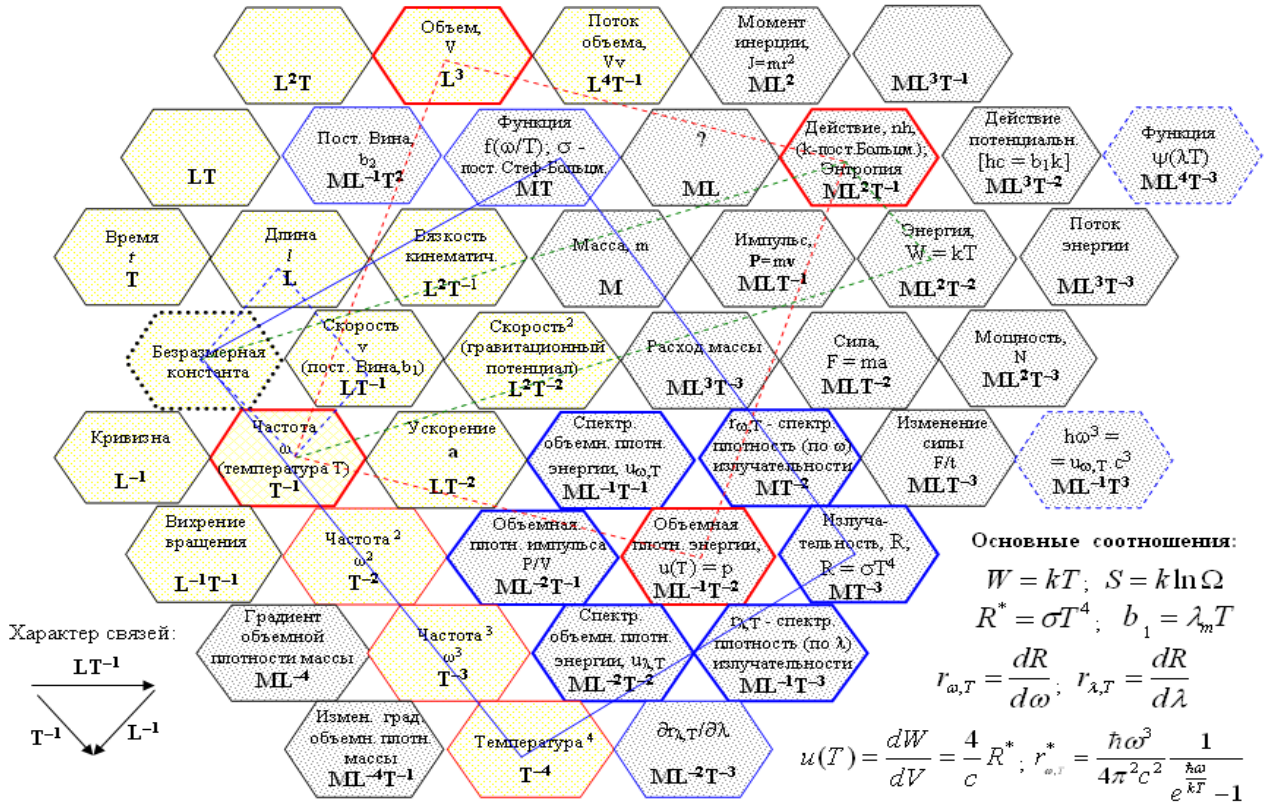


Рис. 2. Система ФВиЗ в части тепловых и излучательных величин.

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.

# СИСТЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

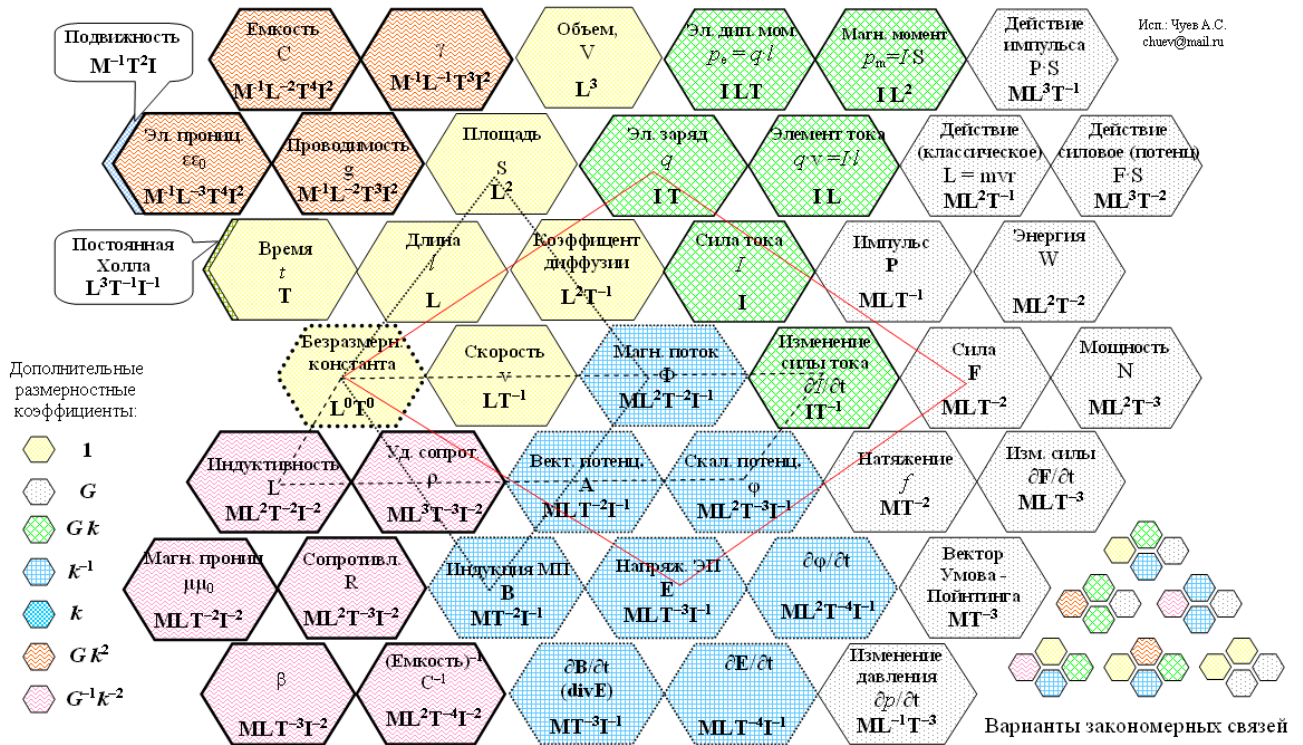


Рис. 3. Частное изображение системы физических величин и закономерностей по разделу электромагнитных величин.

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.

Изображение содержит цветные пиктограммы, призванные облегчить нахождение пользователей закономерных взаимосвязей ФВ разных системных уровней.

# СИСТЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

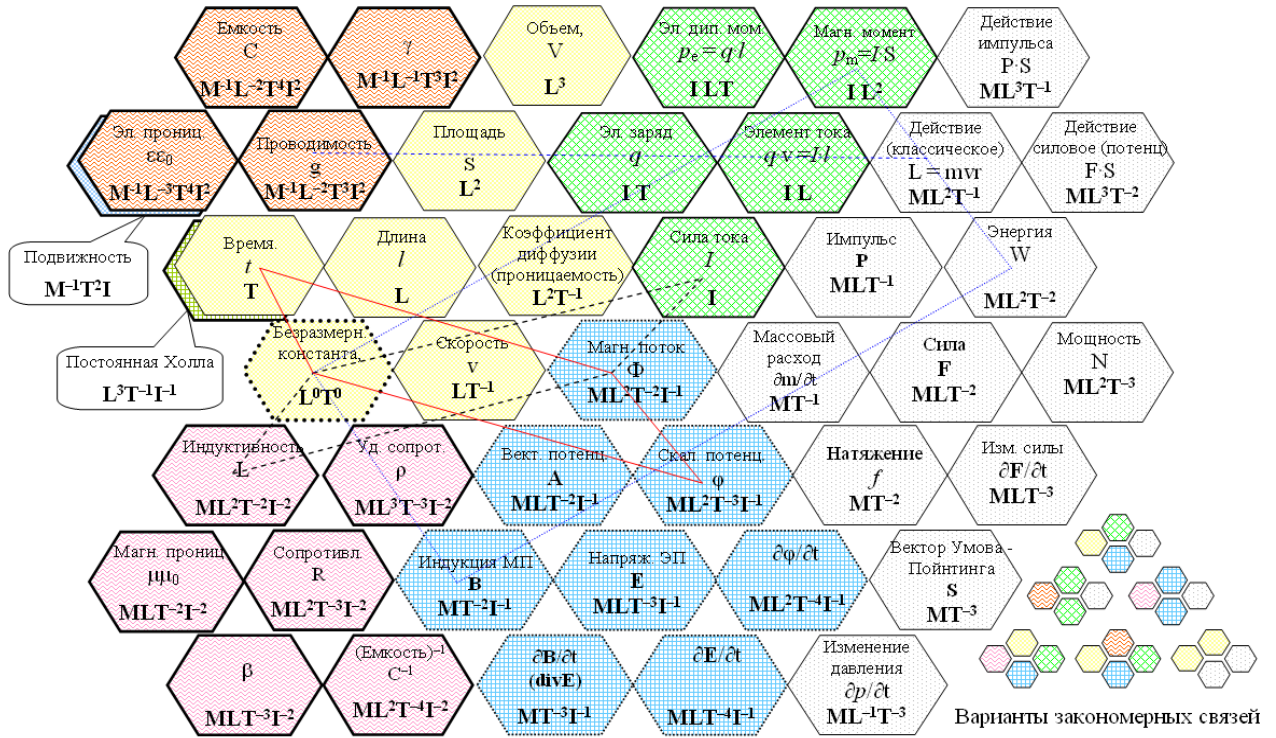


Рис. 4. Отдельные системные взаимосвязи физических величин по разделу электромагнетизма.

## Поляризованность и намагниченность в системе физических величин и закономерностей

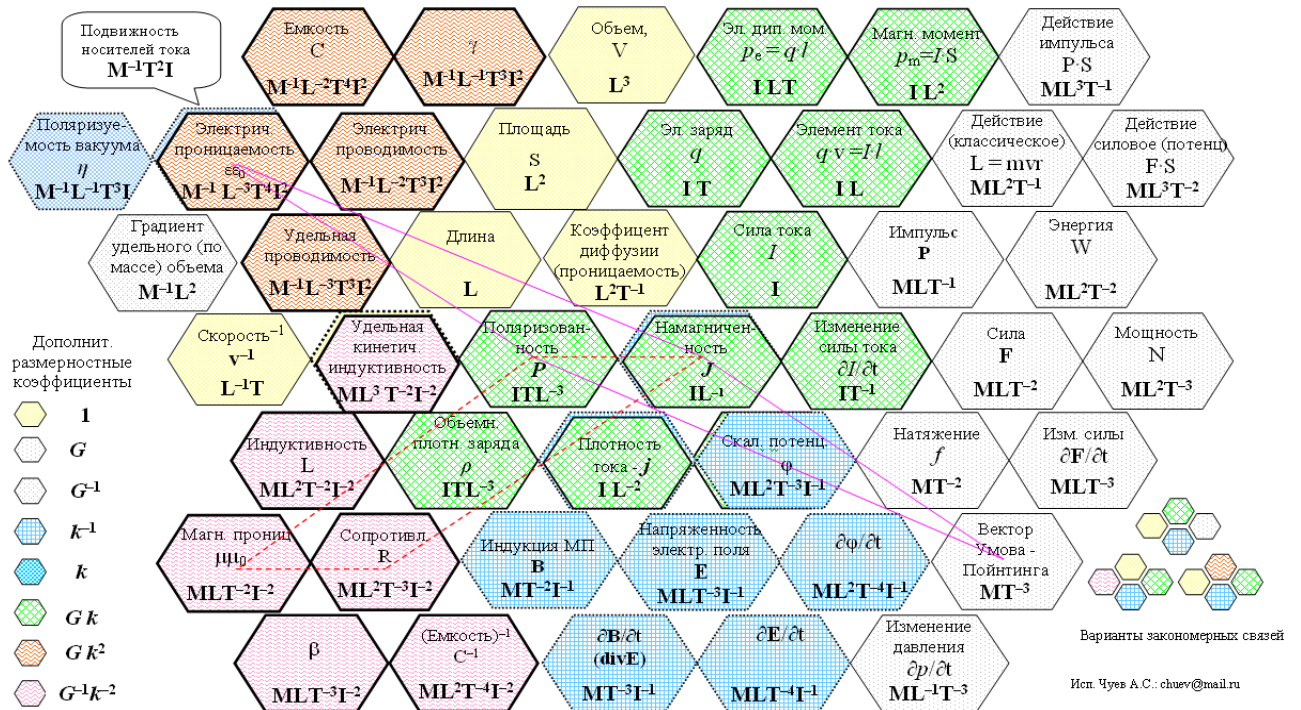


Рис. 5. Частное изображение системы ФВиЗ, иллюстрирующее возможность материального описания электромагнитных волн.

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 данный вариант изображения системы приводится как иллюстрация возможностей системы ФВиЗ в открытии новых природных закономерностей.

Развернутые пояснения для пользователей системы и дистрибутив программы ее электронного варианта (скачивание и установка свободные) размещены на авторском сайте: [www.chuev.narod.ru](http://www.chuev.narod.ru).

## ВЫВОДЫ

1. Предложена оригинальная система физических величин, в которой есть возможность обнаружения и визуализации природных физических закономерностей.
2. Система имеет многоуровневое (многослойное) строение, поэтому наиболее удобно использовать ее частные изображения по отдельным разделам физики или отдельным группам закономерностей. Наибольшей универсальностью обладает электронный вариант системы.
3. Предложенная система имеет потенциал хорошего учебного пособия, призванного не только облегчить обучение физике, но и способствовать проявлению и развитию у обучаемых творческих способности в поиске новых (или не знакомых им) 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. С. 179-182.
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. 334-337.
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. С. 249-253.

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. 626-630.

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.

## System approach to teaching physics to engineers

77-30569/299700

# 02, February 2012

Chuev A.S.

Bauman Moscow State Technical University

[chuev@mail.ru](mailto:chuev@mail.ru)

New system of physical quantities and dependences that could be used in teaching physics was presented in this article. Author described dimensional fundamentals of multilevel system of physical quantities and principle of determination and visualization of dependences, and also provides samples of such visualization for three divisions of physics: mechanics, thermal and emitting quantities and electromagnetic quantities and dependencies.

The most valuable part of the system is that its users who understand the uniqueness of the system's multilevel nature and formal rules of exploring dependencies could easily find dependences which present natural relationships. This way they can avoid thoughtless memorizing of numerous physical formulas. Furthermore, the skill of creating formulas from other formulas - that can be difficult for engineering students - becomes less important and not necessary.

---

**Publications with keywords:** [dimensions](#), [the physical sizes](#), [the system of physical sizes](#), [the system of physical laws](#), [the physical laws](#)

**Publications with words:** [dimensions](#), [the physical sizes](#), [the system of physical sizes](#), [the system of physical laws](#), [the physical laws](#)

---

### Reference

1. Chuev A.S., The use of physical variables in explaining the principle of organic world order on the subject of "Concepts of Modern Natural Science", in: Proceedings of the international scientific-practical conference "Actual problems of management - 2002", October 23-24, 2002, Moscow, GUU-2002, Iss. 6, pp. 179-182.
2. Chuev A.S., Teaching and learning natural regularities with the use of physical quantities (an integral approach), in: Abstracts of the Third All-Russian Conference on Irreversible Processes in Nature and Technology, January 24-26, 2005, Moscow, MGTU im. N.E.Baumana - BMSTU, 2005, pp. 334-337.
3. Chuev A.S., About holistic approach in the teaching of natural sciences using regularities of the physical quantities, in: Proceedings of the international scientific-practical conference "Actual problems of management - 2004", October, 2004, Moscow, GUU-2004, Iss.6, pp. 249-253.

4. Chuev A.S., Legeida A.S., System of physical quantities in the electronic version, in: Proceedings of the 4th All-Russian Conference on Irreversible Processes in Nature and Technology, January 29-31, 2007 Moscow, MGTU im. N.E.Baumana - BMSTU, FIAN, 2007, Part 2, pp. 626-630.
5. Chuev A.S., System of physical quantities and natural dimensional interrelationships between them, *Zakonodatel'naia i prikladnaia metrologiia* 3 (2007) 30-33.
6. Bartini R.L., Some relationships between the physical constants, *Doklady Akademii nauk SSSR* 163 (4) (1965) 861- 864.
7. Bartini R.L., The relationship between physical quantities, in: K.P. Staniukovich, G.A. Sokolik (Ed.), *Problems of the theory of gravitation and elementary particles*, Iss.1, Moscow, Atomizdat, 1966, pp. 249-266.
8. Sena L.A., *Units of physical quantities and their dimensions*, Moscow, Nauka, 1988, 432 p.
9. Chuev A.S., The physical picture of the world in the dimension of the "mean-time." A series of "Informatization of Russia on the threshold of XXI century", Moscow, SINTEG, 1999, 96 p.