

Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана

А.С. Чуев, Н.А. Задорожный

**Введение в размерностное и системное  
представление физических величин**

**Часть 2. (Тепловые и электромагнитные величины,  
квантуемые физические величины)**

*Учебное пособие для школьников, готовящихся  
к поступлению в технический вуз*

Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

2016

УДК 53.081; 537.8

ББК

Ч

Рецензент:

Чуев А.С., Задорожный Н.А. Введение в размерностное и системное представление физических величин. Часть 2. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – ... с.

Во второй части учебного пособия рассматриваются тепловые и электромагнитные физические величины, представленные размерностях системы единиц СИ. Физические величины сгруппированы в соответствующие группы и подгруппы системы физических величин и закономерностей (ФВиЗ), основы и принцип строения которой рассмотрены в первой части учебного пособия.

В этой части пособия в большем объеме и наглядно иллюстрируется системное свойство, по которому местоположение системного элемента определяет его свойства, а физические величины, образующие геометрически правильные фигуры (параллелограммы), своими системными связями одновременно выражают и физические закономерности. Учебное пособие в полной мере дает представление о системе физических величин и закономерностей, впервые разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для школьников старших классов подшефных школ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Илл. 7      Библиогр. 3 назв.

УДК 53.081; 537.8

ББК

*Методическое издание*

**Анатолий Степанович Чуев  
Николай Антонович Задорожный**

**Введение в размерностное и системное  
представление физических величин**

Редактор  
Корректор  
Компьютерная верстка

## Предисловие

Во второй часть учебного пособия рассматриваются тепловые и электромагнитные физические величины (ФВ), их расположение в общей системной структуре и системные взаимосвязи с другими величинами, выражающие природные закономерности. Показывается, что с системных и иных позиций размерность температуры целесообразно считать совпадающей с размерностью частоты. В этом случае все тепловые величины и их закономерные связи органично вписываются в системные уровни базовых кинематических и динамических величин, рассмотрение которых приведено в первой части пособия [1]. Для напоминания на рис. 1 приведена ранее рассмотренная система механических величин.



Рис. 1. Система механических величин с иллюстрацией системных закономерностей

Большая часть материала настоящего пособия посвящена электромагнитным величинам и их закономерным взаимосвязям, которых больше всего в сравнении с ФВ других разделов физики. Системное представление электромагнитных величин, как и тепловых величин, размещенных на общем базовом уровне, не является единственно возможным. В учебном пособии рассмотрен наиболее подходящий вариант, как с точки зрения соответствия размерности ФВ их физической сущности, так и с точки зрения наиболее компактного размещения ФВ, при одновременной визуализации наиболее часто встречающихся ФВ. Отдельным разделом дается рассмотрение квантуемых ФВ.

## Основная часть

### *Системное размещение тепловых физических величин и их закономерные связи*

В любом варианте системы ФВиЗ имеется неоднозначность с системным размещением ФВ *температура*. По этому поводу надо отметить следующее, если *температуре* приписать свою особую размерность, например -  $\Theta$ , как это сделано в системе СИ, то не получается создание единой планарной системы ФВиЗ с участием температуры. Роль *температуры* в системе ФВиЗ аналогична роли *электрического заряда*, положение которого неоднозначно. В принципе, при любой выбранной размерности *температуры* возможно построение системы ФВиЗ с участием тепловых величин.

В таблице 1 применительно к рассматриваемой системе приведено несколько возможных вариантов представления размерности *температуры* и показано - как при этом изменяются размерности других важнейших ФВ, связанных с температурой известными закономерностями. К таким ФВ относятся *постоянная Больцмана* –  $k$ , *постоянные Вина* –  $b_1$  и  $b_2$ , *энтропия* –  $S$  и *теплоемкость* –  $C$ . В таблице 1 приведены данные для нескольких вариантов размерности температуры.

Таблица 1. Возможные варианты представления размерности *температуры*.

№ п/п	Температура		$b_1 = \lambda_m T$	$b_2$	$k; C; S$	Примечание
	(СИ)	(LT)				
1	$ML^2T^{-2}$	$(L^5T^{-4})$	$ML^3T^{-2}$	$M^{-4}L^{-11}T^7$	–	Температура имеет размерность энергии Температура отнесена к кинематическим общим базовым величинам
2	–	–	L	$ML^{-1}T^{-3}$	$ML^2T^{-2}$	
3	$T^{-1}$	$T^{-1}$	$LT^{-1}$	$ML^{-1}T^2$	$ML^2T^{-1}$	
4	$LT^{-1}$	$LT^{-1}$	$L^2T^{-1}$	$ML^{-6}T^2$	$MLT^{-1}$	
5	$LT^{-2}$	$LT^{-2}$	$L^2T^{-2}$	$ML^{-6}T^7$	ML	

Из таблицы 1 видно, что самый первый вариант (хотя зачастую он представляется как наиболее верный) не очень убедителен из-за присутствия *массы* (M) в размерности *температуры*. Как мы знаем *температура*, хотя и выражает определенным образом внутреннюю *энергию* физических тел, но, в принципе, не является ни *энергией*, ни *объемной плотностью энергии (давлением)*, а от *массы* или *объемной плотности массы температура* и вовсе не зависит.

Известны физические закономерности, по которым *температура* характеризует источники электромагнитного излучения и само электромагнитное *излучение*, где главную роль играет *частота* протекающих процессов, а *масса* как таковая не играет роли или вообще может отсутствовать (в излучении).

Наиболее приемлемым представляется третий вариант таблицы 1. Здесь *теплоемкость* получает очень понятную размерность *действия*, равную произведению

энергии на время. Действительно, тепло это энергия, а теплоемкость определяется еще и величиной своеобразной «емкости» для энергии – времени выдачи или приема энергии.

Температура в третьем варианте получает размерность частоты, что объяснимо повышением частоты динамических процессов внутри материальных образований при повышении их температуры и общим повышением средней частоты излучения при повышении температуры. Кроме того, известное ступенчатое изменение теплоемкости от температуры, что можно объяснить постепенным наращиванием степеней свободы (с ростом температуры) во внутренних вращательном и колебательном движениях атомов и молекул.

Таким образом, исходя из физического смысла параметров теплоемкости и температуры, для системы физических величин и закономерностей (ФВиЗ), используемой в области тепловых и излучательных величин, наиболее подходящим является вариант с размерностью температуры  $T^{-1}$ .

Система ФВиЗ с общими базовыми системными уровнями, содержащими тепловые величины (сюда же входят излучательные ФВ, которые в настоящем пособии не рассматриваются) приведена на рис. 2. Все величины располагаются на тех же базовых системных уровнях, которые рассматривались в первой части учебного пособия.

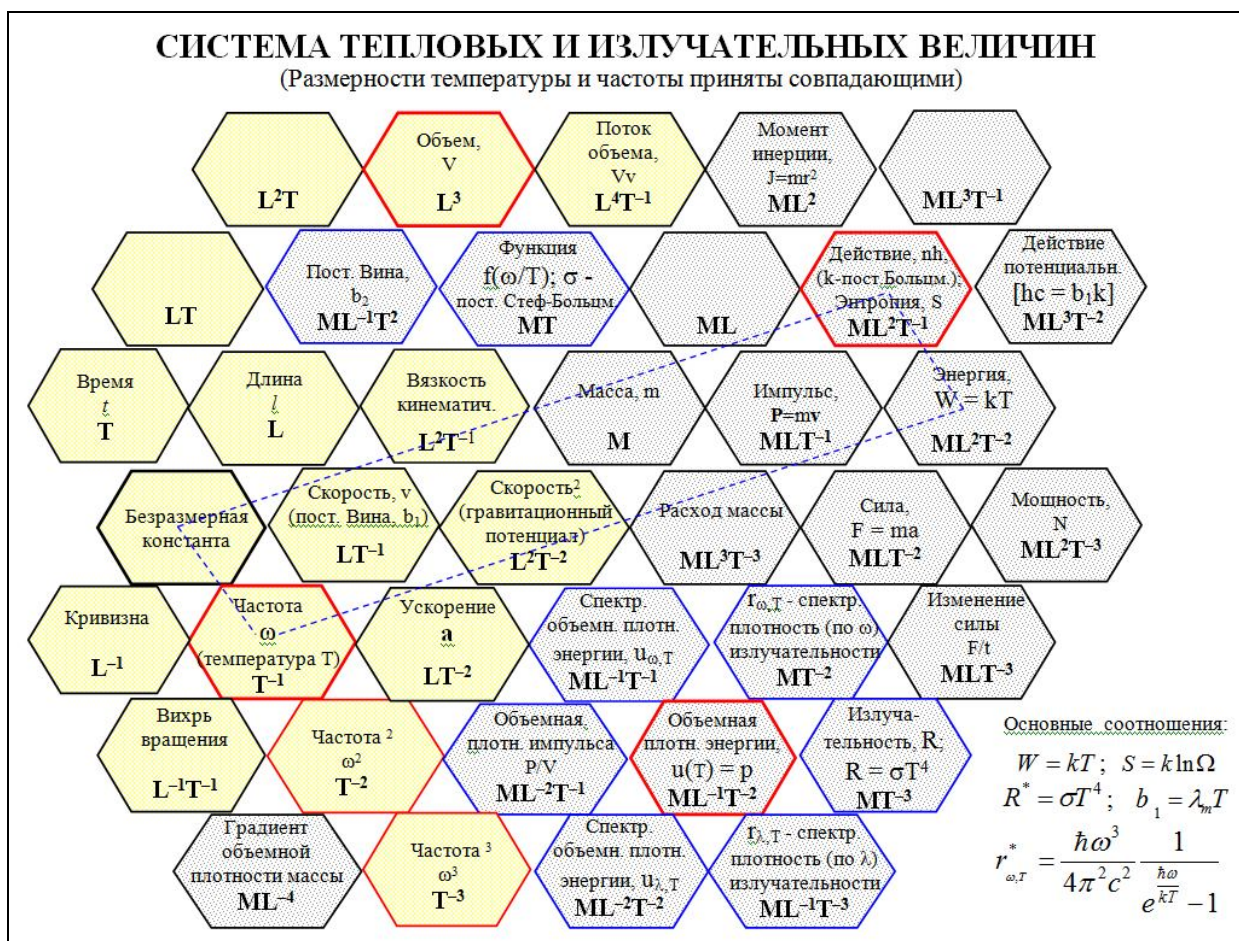


Рис. 2. Система механических величин с включением тепловых и излучательных ФВ

Динамические и кинематические величины двух рассматриваемых системных уровней с включением в их состав тепловых ФВ приведены в таблице 2.

Для облегчения пользования рассматриваемым вариантом системы ФВиЗ и уточнения числовых коэффициентов, зачастую присутствующих в размерностных соотношениях между ФВ, приводится таблица 3 с известными закономерностями из области тепловых и излучательных величин. Часть нужных формул можно найти в учебнике [9].

Таблица 2. Важнейшие тепловые физические величины и уравнения связи с их участием

№п/п	Наименование определяющих и иных уравнений связи ФВ	Уравнение связи	Примечание
<b>Преимущественно тепловые величины и уравнения связи с их участием</b>			
1	Энергия, (работа A)	$W = Fl = kT$	
2	Теплота, Q; внутренняя энергия, U	$U = CT = kT$	C - теплоемкость
3	Мощность, N	$N = W/t = Fv$	
4	Сила, F	$F = ma$	m - масса
5	Натяжение, f	$f = F/l = W/S$	S - площадь
6	Давление, p; объемная плотность тепловой энергии, u	$p = F/S;$ $u = U/V$	V – объем;
7	Температура, T	$T = U/C = W/k$	
8	Универсальная газовая постоянная, R	$R = pV/T$	для объема моля V = 22,4 л
9	Постоянная Больцмана, k	$k = R/N_A$	$N_A$ - число Авогадро = 6,022*10 <sup>23</sup> 1/моль
10	Теплоемкость, C: молярная изохорная - C <sub>v</sub> ; молярная изобарная - C <sub>p</sub>	$C = \Delta U/\Delta T;$ $C_v = iR/2 = R/(\gamma-1);$ $C_p = R(i+2)/2 =$ $= R\gamma/(\gamma-1)$	i – число степеней свободы, i = 2/(\gamma-1); γ - показатель адиабаты
11	Показатель адиабаты, γ	$\gamma = C_p/C_v$	$\gamma = (i + 2) / i$
12	Энтропия, S	$S = k \cdot \ln G;$ $dS = dQ/T$	
13	Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы	$\langle \epsilon \rangle = \frac{3}{2} kT$	$k \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
14	Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов	$p = \frac{3}{2} n \langle \epsilon \rangle$	n = N/V
15	Зависимость давления газа от концентрации и температуры	$p = nkT$	$k = \frac{m}{\mu} R$
16	<u>Скорости молекул:</u> наиболее вероятная – v <sub>в</sub> средняя арифметическая – ⟨v⟩ средняя квадратичная – ⟨v <sub>кв</sub> ⟩	$v_{в} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$ $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}$ $\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$	m <sub>0</sub> – масса одной молекулы; $v_{в} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$

17	Динамическая вязкость (коэффициент внутреннего трения)	$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle \lambda \rangle$	
18	Коэффициент теплопроводности	$\chi = \eta \frac{i R}{2 \mu}$	
19	Барометрическая формула	$p = p_0 \exp\left(-\frac{\mu g h}{RT}\right)$	$p_0$ - давление на высоте $h = 0$
20	Уравнение Клайперона - Менделеева	$pV = \frac{m}{\mu} RT$	
21	Закон Бойля - Мариотта	$pV = \text{const}$	
22	Закон Гей-Люссака	$V/T = \text{const}$	$V = V_0(1 - T/273,15)$
23	Закон Шарля	$p/V = \text{const}$	
24	Показатель адиабаты, $\gamma$	$\gamma = C_p/C_v$	$\gamma = (i + 2)/i$ $\gamma = 1 + R/C_v$
25	Показатель политропы, $n$	$n = (C - C_v)/(C - C_p)$	
26	Теплоемкость политропного процесса	$C = \frac{nC_v + C_p}{n - 1}$	
27	Уравнение изотермы	$pV = \text{const}$	
28	Уравнение адиабаты (уравнение Пуассона)	$pV^\gamma = \text{const}$	$TV^{\gamma-1} = \text{const}$ $T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const}$
29	Уравнение политропы	$pV^n = \text{const}$	$TV^{n-1} = \text{const}$ $T^n p^{1-n} = \text{const}$
30	Внутренняя энергия идеальных газов	$U = \frac{i m}{2 \mu} RT$	$i = 3$ для 1-х атом. $i = 5$ для 2-х атом. $i = 6$ для 3-х атом.
31	Первое начало термодинамики	$Q = \Delta U + A$	
32	Второе начало термодинамики	$dS \geq 0$	
33	Третье начало термодинамики (теорема Нернста)	$\lim S = 0$	(при $T \rightarrow 0$ )
34	Изменение внутренней энергии в изопроцессах: <i>изобарном</i> - $\Delta U_p$ ; <i>изохорном</i> - $\Delta U_v$ ; <i>изотермическом</i> - $\Delta U_T$ ; <i>адиабатном</i> - $\Delta U_s$	$\Delta U_p = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T$ ; $\Delta U_v = \Delta Q = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T$ ; $\Delta U_T = 0$ ; $\Delta U_s = -\delta A$	$\Delta U_p = \Delta Q =$ $\frac{m}{\mu} R \frac{T_2 - T_1}{\gamma - 1} = \frac{V(p_2 - p_1)}{\gamma - 1}$

**Система физических величин и закономерностей в размерностях СИ для сферы  
электромагнетизма и других сфер физической реальности**

По архитектуре строения система ФВиЗ представляет собой  $LT$  – размерностное основание (все ФВ выражены по размерности через *длину* и *время*), включающее в себя базовый системный уровень из кинематических ( $LT$ ) величин. Этот же базовый уровень неявно содержит и остальные величины в их  $LT$  – размерностном выражении, однако в системе ФВиЗ они представляются расположенными (строго над своими системными  $LT$  – элементами) на определенных системных уровнях. Системные уровни обозначены своими размерностными коэффициентами, содержащими составляющие  $G$  и  $k$  со своими степенными показателями. Коэффициент  $G$  представляет собой по размерности *гравитационную постоянную*, а коэффициент  $k$  – размерностное соотношение *массы* и *силы тока  $k = M/I$  (для варианта рис. 3).*

Физические величины каждого системного уровня, получая размерностное выражение в привычной для всех системе СИ, отличаются по размерности от своего неявного  $LT$  – представления на одинаковый размерностный сомножитель

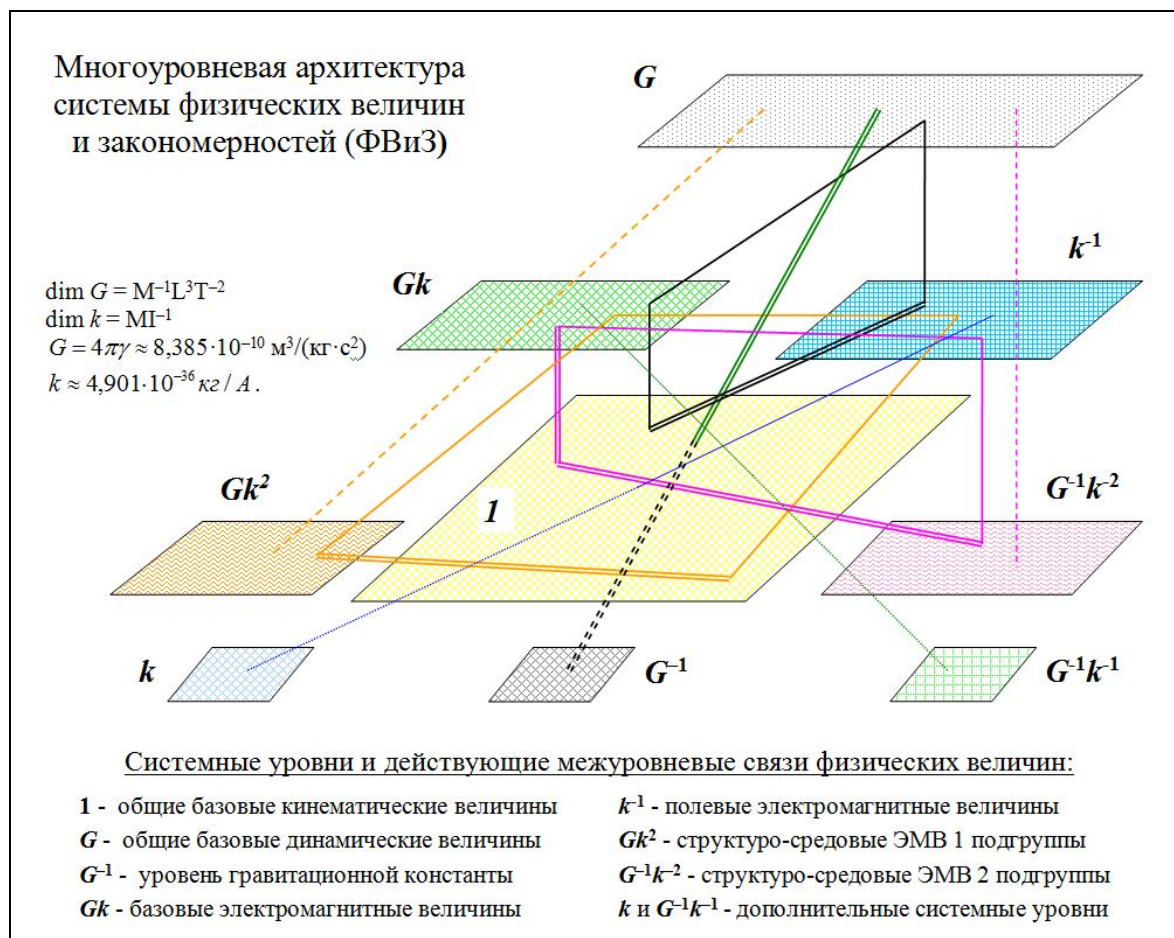


Рис. 3. Архитектурное изображение размерностной системы ФВиЗ

Планарное изображение системы, приводимое на рис. 4, утратив выразительность представления многослойности, обладает преимуществом в наглядности показа существующих в системе закономерных взаимосвязей ФВ по правилу «выделенного параллелограмма» или «выделенной линии».

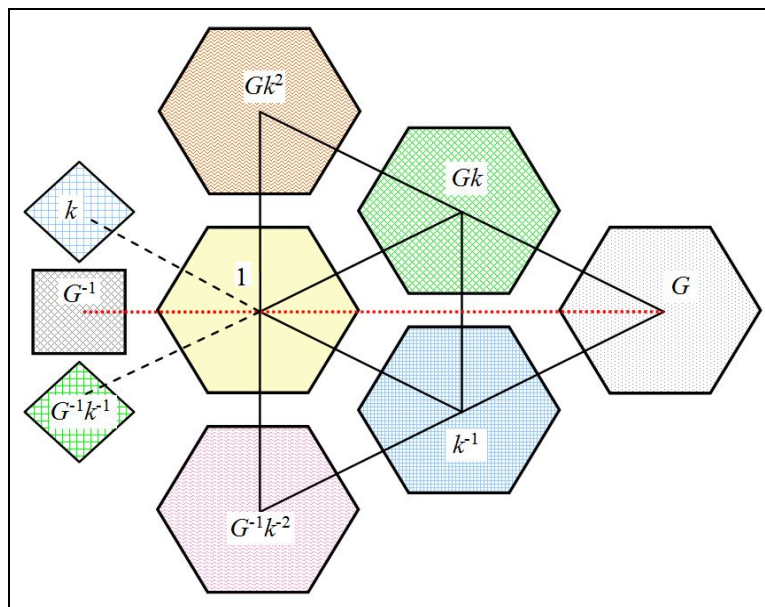


Рис. 4. Планарное изображение системных уровней ФВ

Следует отметить универсальность схем, представленных на рис. 3 и рис. 4. Они соответствуют практически любым возможным 4-х размерным (в области электромагнетизма) системам единиц, в которых основными ФВ принимаются *масса*, *длина*, *время* и одна из электромагнитных величин. При этом в каждом из возможных вариантов представления размерность и значение коэффициента  $k$  будет своим и особенным по его физическому смыслу.

Надо отметить, что приводимые изображения системы слишком общие, напрямую их в практической или учебной деятельности обычно не используют. Практическое применение в учебной деятельности находят планарные изображения системы по типу, представленному на рис. 5 – рис. 8. Отметим также, что место размещения в системе ФВиЗ электромагнитных величин неоднозначно и строго не регламентировано. Хотя какой-то скрытый физический смысл в том или ином размещении электромагнитных ФВ относительно общих базовых - кинематических и динамических, вполне возможен.

Далее рассматривается конкретный вариант системы ФВиЗ, с преимущественным показом электромагнитных ФВ, изучаемый в настоящем учебном пособии. В этом варианте системы ФВиЗ *масса* имеет смысл *силы электрического тока*, а *электрический заряд* представляется (в  $LT$  – размерностном выражении) в виде изменения во времени

пространственного объема ( $\dim Q = L^3 T^{-1}$ ) или частотных пульсаций объемных микрочастиц [Гришаев].

ФВ в пределах каждого системного уровня имеют относительно друг друга упорядоченное расположение. В пределах каждого системного уровня соседние (рядом расположенные) ФВ при переходах по горизонтали слева направо связаны размерностью скорости, а при переходах сверху вниз – размерностью длины или времени, в зависимости от склонения указанного перехода – влево или вправо. При этом ФВ каждого отдельного системного уровня характеризуются наличием у них дополнительного размерностного коэффициента, определяемого соотношением размерности двух систем (СИ и  $LT$ ). Значения этого коэффициента для большинства рассматриваемых ФВ приведены в Приложении 1

С целью визуализации принадлежности ФВ к тому или иному системному уровню, а также для облегчения обнаружения закономерных взаимосвязей ФВ, в системе обычно применяется цветовая раскраска ФВ разных системных уровней. При этом для определенного системного уровня обычно используется и определенный цвет.

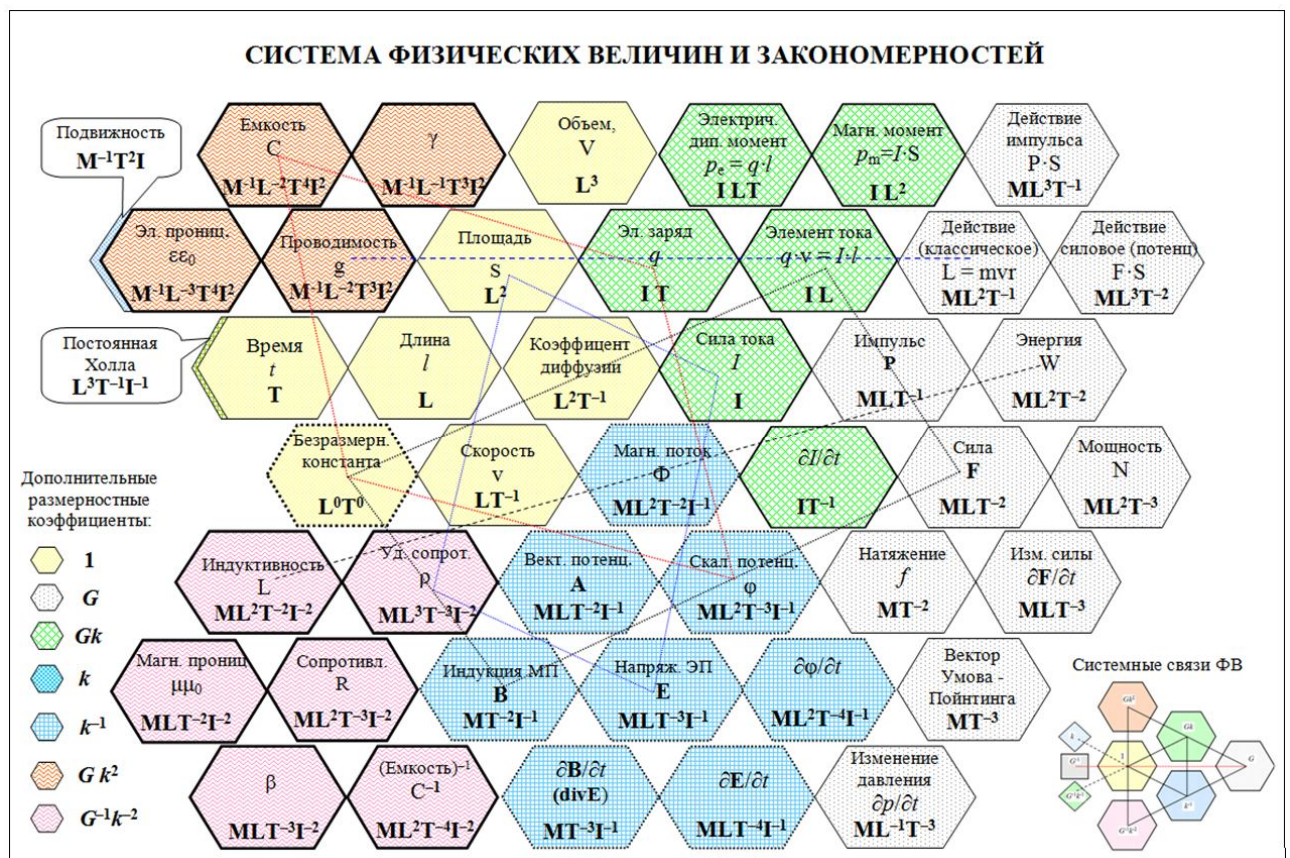


Рис. 5. Частный вариант системы ФВиЗ с изображением электромагнитных величин

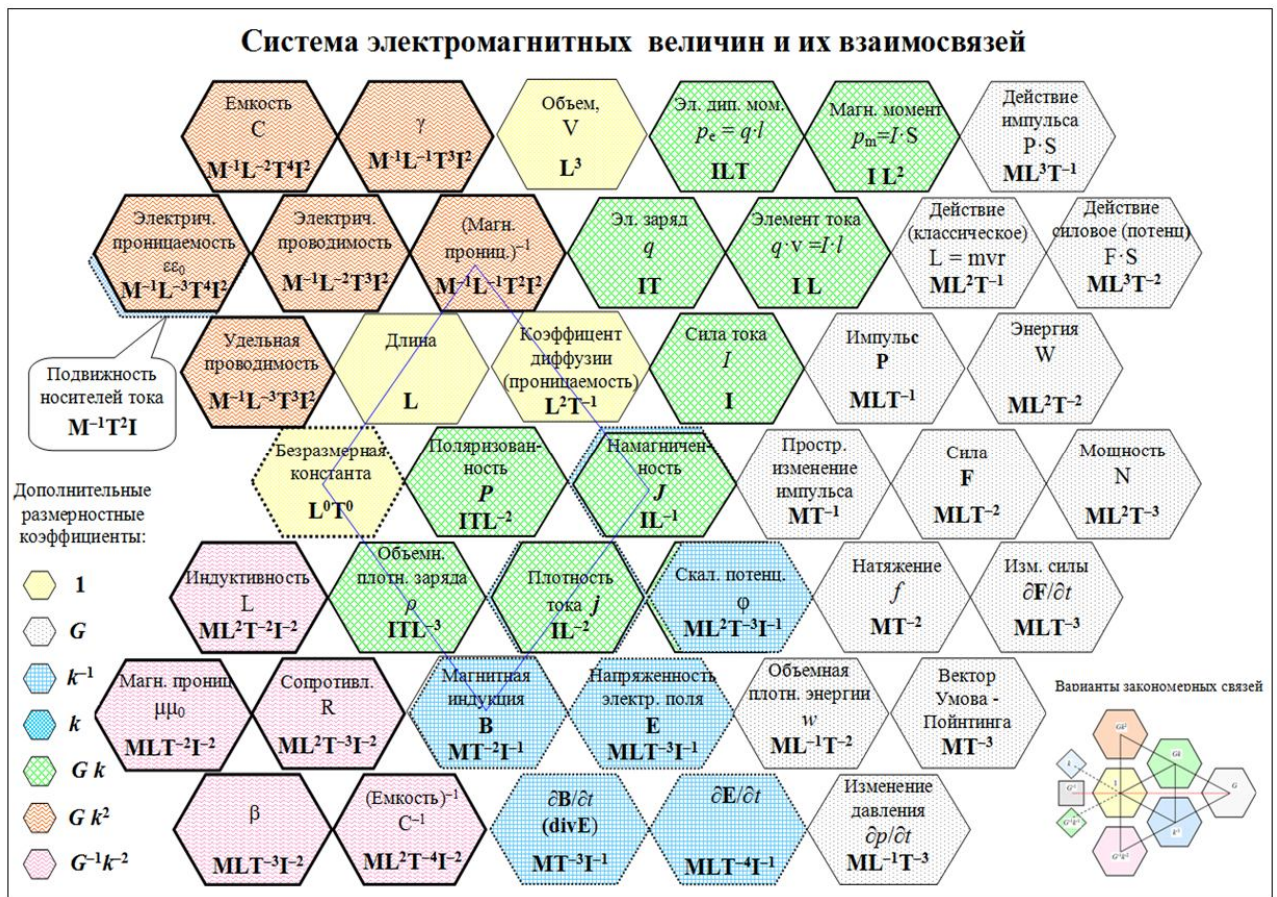


Рис. 6. Частный вариант системы ФВиЗ с изображением электромагнитных величин

На рис. 7 приведен вариант системы ФВиЗ с иллюстрацией размещения и взаимосвязей квантуемых и константных ФВ, занимающих, как правило, определенный системный ряд. ФВ этого ряда на рис. 7 выделены утолщенной окантовкой. Пунктирной утолщенной окантовкой выделены ФВ, расположенные вне этого ряда, но связанные с первыми определенными соотношениями.

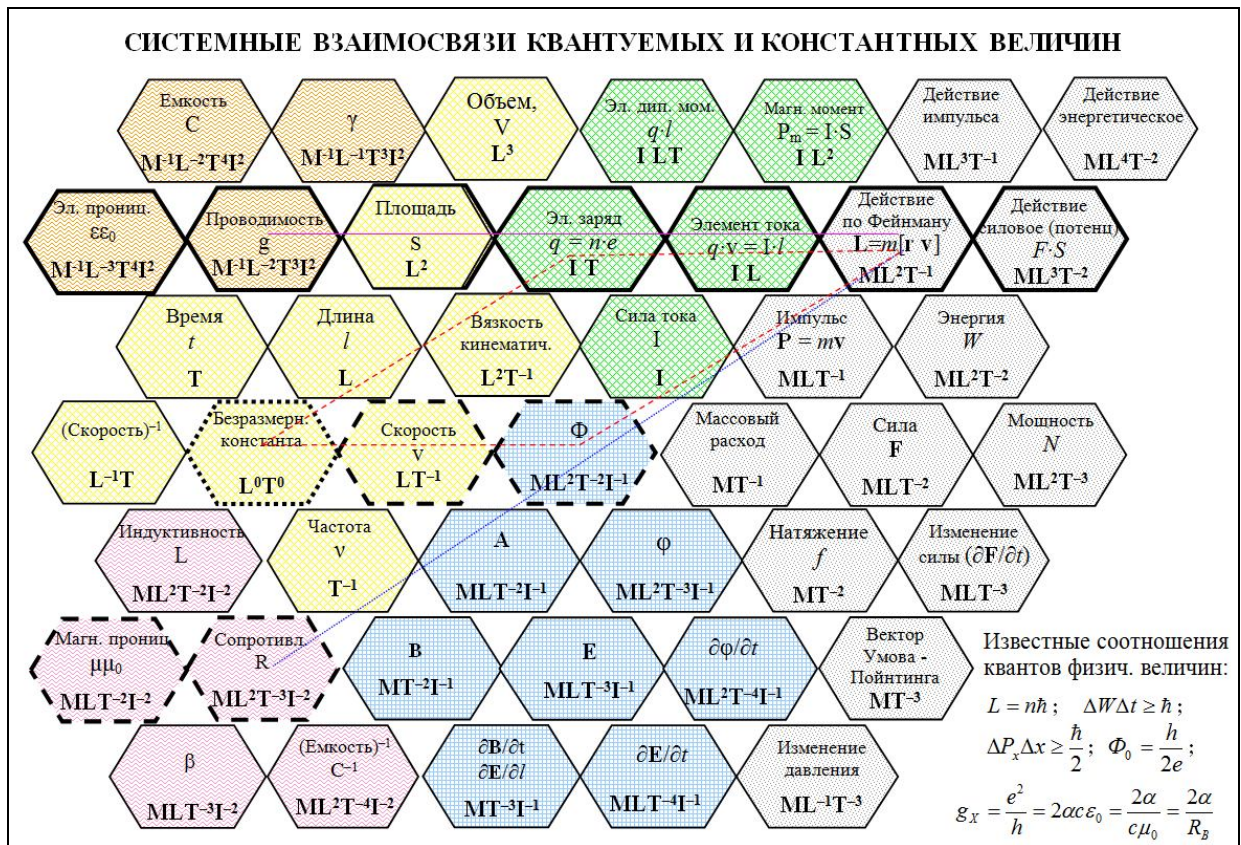


Рис. 7. Система ФВиЗ с изображением квантуемых и константных ФВ.

Поскольку поиск физических закономерностей в системе ФВиЗ имеет свою логику и достаточно формализован, оказалось возможной разработка соответствующей электронной компьютерной программы. Программу разработал Александр Легейда – студент ГУУ.

Эта программа положена в основу практической части настоящего учебного пособия. Практическая часть представляет собой компьютерный лабораторный практикум, который позволяет учащимся обрести умения быстро находить системное размещение той или иной ФВ и определять их системные связи, выражающие природные закономерности.

При подготовке к выполнению компьютерного лабораторного практикума школьники знакомятся с материалами настоящего учебного пособия и руководством пользователя к компьютерной программе.

### Контрольные вопросы и задания

1. Вычислите абсолютную и относительную погрешности определения гравитационной постоянной (с учетом введения дополнительного коэффициента  $4\pi$  в силовой закон Ньютона) как соотношения гравитационной и инертной масс Солнца. (Масса Солнца  $\approx 1,99 \cdot 10^{30}$  кг). Для вычисления использовать параметры трех планет солнечной системы с наименьшим эксцентриситетом их орбит (см. Приложение 2 учебного пособия 1).

2. Определите на планарном изображении системы ФВиЗ местоположение трех физических величин, заданных преподавателем. Каковы размерности этих величин в системах единиц СИ и  $LT$ ? К каким системным группам относятся эти величины?

3. По заданным размерностям двух физических величин определите их системную (и закономерную) взаимосвязь с третьей величиной, при участии безразмерной постоянной.

4. По заданным размерностям трех физических величин определите их системную (и закономерную) взаимосвязь с четвертой физической величиной.

5. По заданным (из Таблицы 2 и Приложения 2) уравнениям связи найдите в системе ФВиЗ соответствующие им системные изображения.

6. Найдите пример системного изображения закономерности, информации о которой нет в Таблице 2 и Приложении 2.

### Литература

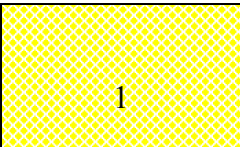
1. Чуев А.С., Задорожный Н.А. Введение в размерностное и системное представление физических величин. Часть 1. Учебное пособие. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016 г.

2. Чуев А.С., Задорожный Н.А. Изучение системных размерностных взаимосвязей электромагнитных величин. Компьютерный лабораторный практикум Э-27. Сайт ФН-4 МГТУ им. Н.Э. Баумана URL: <http://www.fn.bmstu.ru/index.php/fn4/learning/learning-sem3/46-nuk-fn/fn-dep/fn4/learning/sem3/155-phys-labs-sem3> .

3. Чуев А.С. Система физических величин и закономерностей. Папка файлов на персональной странице сайта МГТУ им. Н.Э. Баумана URL: <http://www.bmstu.ru/ps/~chuev/>.

Приложение 1.

**Системные группы физических величин и их расположение в системных  $LT$  – 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	$N$	$ML^2T^{-3}$	$L^5T^{-5}$	
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	$p$	$ML^{-1}T^{-2}$	$L^2T^{-4}$	
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		$L^0T^0$	$L^0T^0$	 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	Изменение объема	$dV/dt$	$L^3T^{-1}$	$L^3T^{-1}$		
7	Поток объема	$Vv$	$L^4T^{-1}$	$L^4T^{-1}$		
8	Вязкость кинематическая (коэффициент диффузии)	$\nu$	$L^2T^{-1}$	$L^2T^{-1}$		
9	Скорость	$v$	$LT^{-1}$	$LT^{-1}$		
10	Ускорение	$a$	$LT^{-2}$	$LT^{-2}$		
11	Угловая скорость (угловая частота)	$\omega$	$T^{-1}$	$T^{-1}$		
12	Угловое ускорение	$\varepsilon$	$T^{-2}$	$T^{-2}$		
13	Вихрь вращения	$\zeta$	$L^{-1}T^{-1}$	$L^{-1}T^{-1}$		
14	Кривизна пространства	$\Gamma^{-1}$	$L^{-1}$	$L^{-1}$		
<b>Базовые («материальные») электромагнитные величины</b>						
1	Электрический заряд	$q$	$TI$	$L^3T^{-1}$		$L^3T^{-2}T^{-1} = G \cdot k$
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	$D$	$L^{-2}TI$	$LT^{-1}$		
6	Изменение индукции электрического поля	$dD/dt$	$L^{-2}I$	$LT^{-2}$		
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	$j$	$L^{-2}I$	$LT^{-2}$		
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 (ток на единицу длины)	$i$	$L^{-1}I$	$T^{-2}$		
<b>Полевые электромагнитные величины</b>						
1	Магнитный поток (потокосцепление)	$\Phi;$ $(\Psi)$	$L^2T^{-2}MI^{-1}$	$L^2T^{-2}$	$M^{-1}I = k$	
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	Напряженность эл. поля, электрическое напряжение	$\text{grad}\varphi$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	$L^2T^{-3}$		
5	Изменение электрического потенциала	$d\varphi/dt$	$L^2T^{-4}MI^{-1}$	$L^2T^{-4}$		
6	Векторный (магнитный) 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	$\text{dive}(\text{rot}E)$	$T^{-3}MI^{-1}$	$T^{-3}$		
12	Ротор индукции магнитного поля	$(\text{rot}B)$	$L^{-1}T^{-2}MI^{-1}$	$L^{-1}T^{-2}$		
<b>Группа структуро-средовых электромагнитных величин</b>						
<i>(Первой группы)</i>						
1	Абсолютная диэлектрическая проницаемость	$\varepsilon\varepsilon_0$	$M^{-1}L^{-3}T^4I^2$	$T^2$		$ML^3T^{-2}I^{-2} = G \cdot k^2$
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 ф)	$g$	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$	$LT$		
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	$\rho$	$ML^3T^{-3}I^{-2}$	$T^{-1}$		
<b>Отдельные ФВ с размерностью, обратной размерности ФВ основных групп</b>						
1	Гравитационная постоянная	$G$	$M^{-1}L^3T^{-2}$	$L^0T^0$	$ML^{-3}T^2 = G^{-1}$	
2	Постоянная Холла	$R_X$	$L^3T^{-1}I^{-1}$	$T$	$L^{-3}T^2I = G^{-1}k^1$	
3	Пьезомодуль	$d_{33}$	$M^{-1}L^{-1}T^3I$	$L^{-1}T^3$	$MI^{-1} = k^{-1}$	
4	Подвижность носителей тока	$u_0$	$M^{-1}T^2I$	$T^2$		

Приложение 2.

**Основные формулы электромагнетизма  
в СИ и в гауссовой системе**

Наименование	СИ	Гауссова система
Закон Кулона	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$	$F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$
Напряженность электрического поля (определение)		$E = \frac{F}{q}$
Напряженность поля точечного заряда	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon r^2}$	$E = \frac{q}{\epsilon r^2}$
Напряженность поля между заряженными плоскостями и вблизи поверхности заряженного проводника	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$	$E = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon}$
Потенциал (определение)		$\varphi = \frac{W_p}{q}$
Потенциал поля точечного заряда	$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon r}$	$\varphi = \frac{q}{\epsilon r}$
Работа сил поля над зарядом		$A = q (\varphi_1 - \varphi_2)$
Связь между E и φ		$E = -\nabla\varphi$
Связь между φ и E		$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E \, dl$
Ротор вектора E для электростатического поля		$[\nabla E] = 0$
Циркуляция вектора E для электростатического поля		$\oint E \, dl = 0$
Электрический момент диполя		$p = ql$
Механический момент, действующий на диполь в электрическом поле		$N = [pE]$
Энергия диполя в электрическом поле		$W = -pE$
Дипольный момент «упругой» молекулы	$p = \beta\epsilon_0 E$	$p = \beta E$

Наименование	СИ	Гауссова система
Плотность энергии электрического поля	$w = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$	$w = \frac{e E^2}{8\pi}$
Сила тока (определение)		$I = \frac{dq}{dt}$
Плотность тока (определение)		$j = \frac{dI}{dS_{\perp}}$
Уравнение непрерывности		$\nabla j = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$
Напряжение (определение)		$U = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}$
Закон Ома		$I = \frac{1}{R} U$
Закон Ома в дифференциальной форме		$j = \frac{1}{\rho} E = \sigma E$
Закон Джоуля — Ленца		$Q = \int_0^t R I^2 dt$
Закон Джоуля — Ленца в дифференциальной форме		$D = \rho j^2$
Сила взаимодействия двух параллельных токов в вакууме (в расчете на единицу длины)	$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{b}$	$F = \frac{1}{c^2} \frac{2I_1 I_2}{b}$
Поле свободно движущегося заряда	$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q [vr]}{r^3}$	$B = \frac{1}{c} \frac{q [vr]}{r^3}$
Закон Био — Савара	$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I [dl, r]}{r^3}$	$dB = \frac{1}{c} \frac{I [dl, r]}{r^3}$
Сила Лоренца	$F = qE + q [vB]$	$F = qE + \frac{q}{c} [vB]$
Закон Ампера	$dF = I [dl, B]$	$dF = \frac{1}{c} I [dl, B]$
Магнитный момент контура с током	$p_m = IS$	$p_m = \frac{1}{c} IS$