

О размерностных и числовых соотношениях фундаментальных физических констант в системах единиц *LT* и *СИ*

Первой результативной попыткой обнаружения системности в большой совокупности физических величин можно назвать создание кинематической системы размерностей Р.Л. Бартини [1, 2]. В его системе физические величины (ФВ), выраженные по размерности через *длину* и *время*, будучи размещенными на плоскости (планарно) в *LT* координатах оказались определенным образом сгруппированными в семейство, названное автором главной размерностной последовательностью (рис. 1).

В работах Бартини, а также работах других авторов [3–7] особое внимание уделялось поиску происхождения числовых значений и взаимосвязям между собой фундаментальных физических констант (ФФК). Этому направлению исследований посвящена и данная статья.

Что такое «естественная кинематическая система размерностей»

Модификация системы Бартини, выполненная автором статьи

[3, 8], выразилась в ином размерностном представлении *электрического заряда* и новом расположении ФВ. Это позволило обнаружить признаки системной дифференциации ФВ на несколько системных групп, причем в разных системных группах на одном и том же «планарно-высотном» уровне обнаружилось два системных ряда: содержащие сохраняющиеся и квантуемые ФВ, относящиеся к ФФК (рис. 2).

Оба названных системных ряда можно было обнаружить и в системе Бартини (рис. 1) по направлению главной размерностной последовательности (ФВ этих рядов расположены с возрастанием размерности на LT^{-1}). На рис. 2 данные группы ФВ обозначены выделяющейся заливкой.

Поскольку большинство ФФК являются квантами соответствующих им ФВ, а некоторые константы явно не относятся к квантуемым ФВ, далее ФВ этого системного ряда будем называть квантуемыми и константными величинами (ККВ).

В центре системного ряда ККВ оказывается элементарный *электрический заряд*, обозначаемый да-

А.С. Чуев,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Физика»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Ключевые слова: фундаментальные физические константы, системы единиц, СИ, *LT*-система, система физических величин и закономерностей.

Keywords: fundamental physical constants, systems of units, SI, *LT*-system, system of physical quantities and laws.

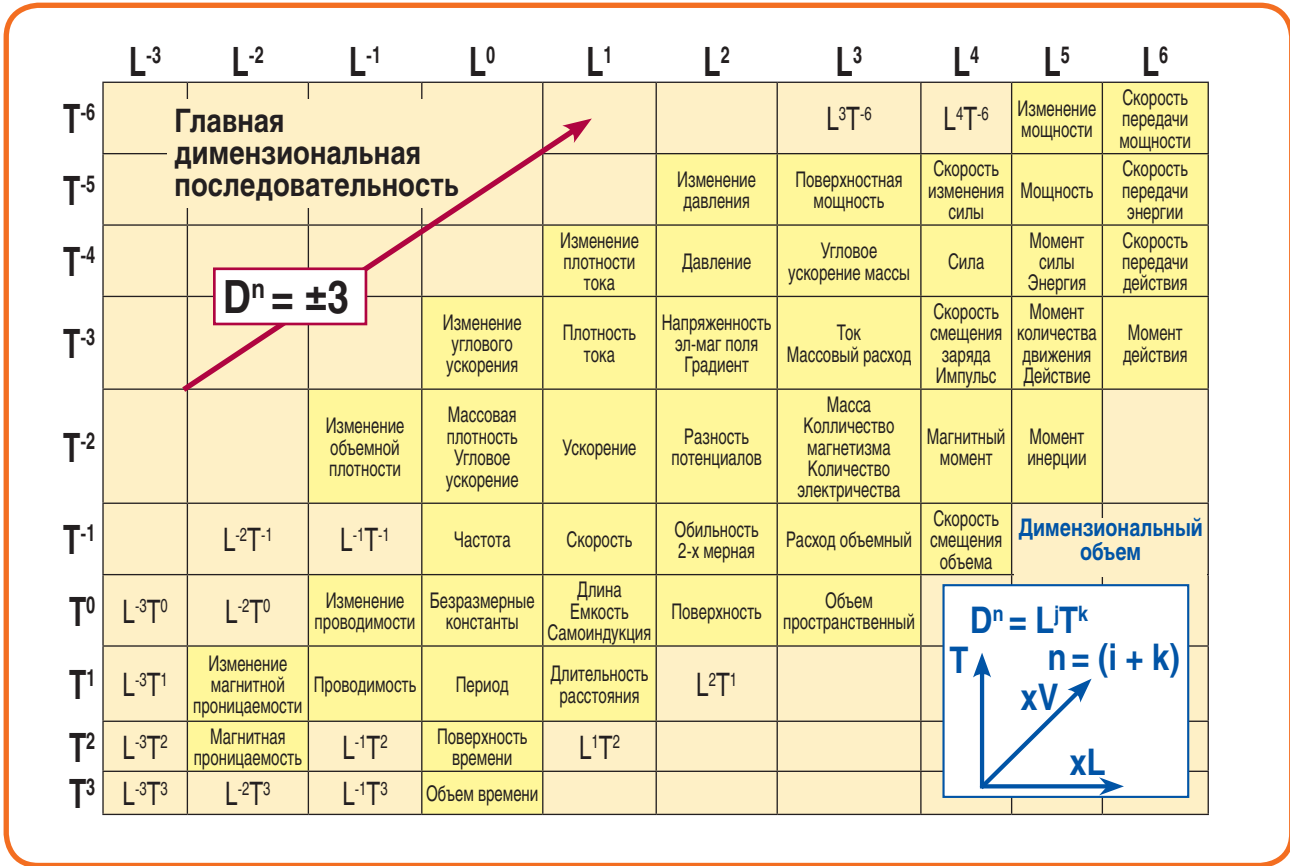


Рис. 1 Система физических величин Р.Л. Бартини

лее q_e (на рисунках встречается обозначение e).

В системе СИ закономерные связи элементарного электрического заряда с другими константными величинами хорошо известны:

$$\Phi_0 = \frac{h}{2q_e};$$

$$\frac{1}{R_K} = g_x = \frac{q_e^2}{h} = 2\alpha c \epsilon_0 = \frac{2\alpha}{c \mu_0} = \frac{2\alpha}{R_B}.$$

В этих связях, как правило, присутствует скорость света c , постоянная Планка h и постоянная тонкой структуры α . Используемые нами обозначения и значения ККВ в системе СИ следующие [9]:

- c – скорость света, $c = 299792458$ м/с;
- μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;
- ϵ_0 – электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 1/(\mu_0 \cdot c^2)$;
- h – постоянная Планка, $h = 6,6260693(11) \cdot 10^{-34}$ Дж·с;
- q_e – заряд электрона, $q_e = 1,60217653(14) \cdot 10^{-19}$ Кл;
- r_e – классический радиус электрона, $r_e = 2,81794092(38) \cdot 10^{-15}$ м;
- R_K – постоянная фон Клитцинга, $R_K = R_B/2\alpha = 25812,807449(86)$ Ом;
- R_B – сопротивление вакуума, $R_B = c\mu_0 = 2\alpha R_K \approx 376,73$ Ом;
- α – постоянная тонкой структуры, $\alpha^{-1} = 137,03599911(46)$.

Последовательность расположения ФВ в системном ряду ККВ, выраженных в LT – системе размерностей, следующая [3, 8]:

- ϵ_0 , размерность T^2 ;
- R_K^{-1} – проводимость Холла (постоянная Клитцинга в минус первой степени), размерность LT ; (связь с проводимостью вакуума – R_B^{-1} через $1/2\alpha$).
- μ_0^{-1} , величина обратная μ_0 , размерность L^2 ;
- q_e , размерность L^3T^{-1} ;
- $q \cdot v = I \cdot l$, размерность L^4T^{-2} ; произведение заряда на скорость (силы тока на длину);
- $L = mvr$, момент количества движения с размерностью L^5T^{-3} ; на рис. 2 именуется актуаль-

О РАЗМЕРНОСТНЫХ И ЧИСЛОВЫХ СООТНОШЕНИЯХ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ В СИСТЕМАХ ЕДИНИЦ LT И $СИ$

ным действием, квантом является постоянная Планка h ;

- $\Pi_q = q_e^2 \epsilon_0^{-1}$, размерность $L^6 T^{-4}$ – потенциальное действие электростатических сил. В общем виде это произведение силы на площадь.

При выборе параметров отдельных величин системного ряда ККВ и их соотношений автор исходил из известных соотношений и из условий симметрии относительно середины этого ряда (места расположения электрического заряда). Полученные соотношения представлены в табл. 1 [8].

Поскольку все элементы системного ряда ККВ закономерно связаны между собой, очень важным является выбор единицы измерения одной из этих величин. Выбор единицы измерения какой-либо одной ККВ становится определяющим и для других. Вариант LT – размерностной системы, в которой элементарный электрический заряд и скорость света приняты единичными, получил авторское наименование «Естественной кинематической системы размерностей» (ЕКСП) [8].

В работе более удобны единицы СИ

Как взаимосвязаны значения ККВ в различных системах единиц, включая ЕКСП, показано в табл. 2. Во втором столбце приведены значения ККВ в системе, похожей на «СИ», если за исходное значение упорядоченного системного ряда ККВ принять известное числовое значение постоянной Планка и соблюдать системное соотношение табл. 1 $q_e \mu_0 = c/\alpha$. В этом случае крайнее числовое значение ϵ_0 оказывается порядка 10^{-82} . Понятно, что с подобными числовыми значениями обращаться и работать очень

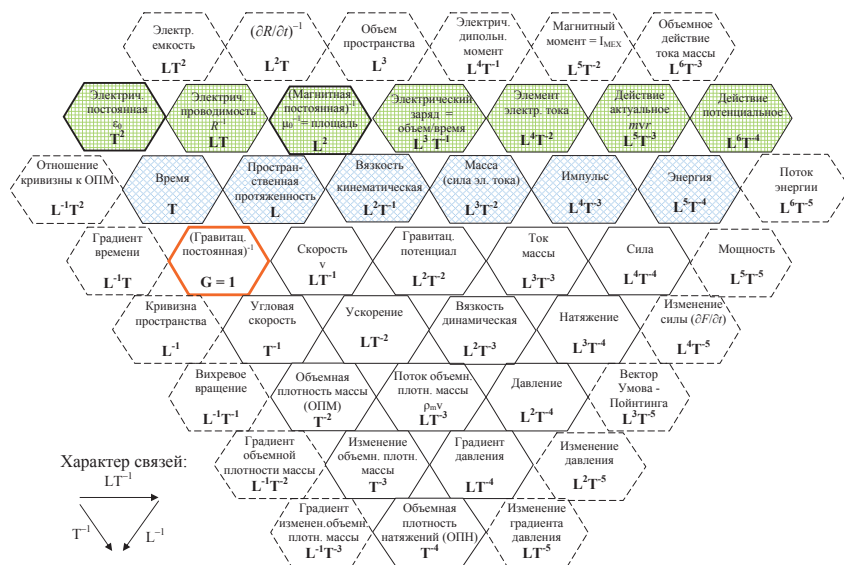


Рис. 2 LT -размерностная система ФВ с выделением системных групп, сохраняющихся и квантуемых, включая константные, величины

Таблица 1

Соотношения в ряду квантуемых и константных физических величин в LT -системе размерностей с размерностью электрического заряда $L^3 T^{-1}$

Физическая величина	Квант и размерность	Соотношение между квантами	Происхождение соотношения	
$\Pi_0 = \frac{q_e^2}{\epsilon_0} = \frac{F_{эл}}{F_{грав}} m_e^2 G = 4\pi r_e m_e c^2 G$	Π_0 $L^6 T^{-4}$	$\frac{\Pi}{h} = 2\alpha c$	Известная закономерность	1
$h = \frac{2\pi m_e r_e c G}{\alpha}$	h $L^5 T^{-3}$			
$(II)_{кв} = 4\pi r_e m_e G = \frac{q_e c}{\alpha}$	$(II)_{кв}$ $L^4 T^{-2}$	$\frac{h}{(II)_{кв}} = \frac{c}{2\alpha}$	Соотношение принято из условий симметрии	2
$q_e = \frac{4\pi m_e r_e \alpha G}{c} = \frac{c}{\mu_0 \alpha} = \frac{\epsilon_0 c^3}{\alpha}$	q_e $L^3 T^{-1}$	$\frac{(II)_{кв}}{q_e} = \frac{c}{\alpha}$	Соотношение выявлено в теории, требуется проверка или уточнение экспериментом	3
$\frac{1}{\mu_0} = \frac{q_e \alpha}{c} = \epsilon_0 c^2$	μ_0^{-1} L^2	$q_e \mu_0 = \frac{c}{\alpha}$	Соотношение принято из условий симметрии	3
$\frac{1}{R_k} = \frac{2\alpha}{\mu_0 c} = \frac{q_e^2}{h} = 2\alpha \epsilon_0$	R_k^{-1} LT	$\frac{R_k}{\mu_0} = \frac{c}{2\alpha}$	Известная закономерность	2
$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2} = \frac{q_e \alpha}{c^3} = \frac{4\pi m_e r_e \alpha^2 G}{c^4}$	ϵ_0 T^2	$\frac{1}{R_k \epsilon_0} = 2\alpha c$	Известная закономерность	1

Таблица 2

Числовые значения ККВ в системах размерностей «СИ» и LT для соотношения $q_e \mu_0 = c/\alpha$.

Наименование кванта физической величины	Значение при $4\pi m_e r_e \alpha$ $q_e = \frac{\text{с}}{\text{с}}$	Значение при $4\pi m_e r_e \alpha G$ $q_e = \frac{\text{с}}{\text{с}}$	Значение при $l_0 = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м}$ $t_0 = 1 \text{ с}$	Значение при $l_0 = 1 \text{ м}$ $t_0 = 1/2,99792458 \cdot 10^8 \text{ с}$	Числовое значение при $l_0 = 1,481936667 \cdot 10^{-36} \text{ м}$ $t_0 = 4,943208636 \cdot 10^{-45} \text{ с}$
Квант потенциального действия, Π_0	$2,89916169 \cdot 10^{-27} \text{ Дж}\cdot\text{м}$	$2,4309540 \cdot 10^{-36} \frac{\text{м}^6}{\text{с}^4}$	$\Pi_1 = 2,704801066 \cdot 10^{-53}$	$\Pi_2 = 3,009497057 \cdot 10^{-70}$	$\frac{1}{\alpha}$
Постоянная Планка, h	$6,62607553 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$	$5,5559801 \cdot 10^{-43} \frac{\text{м}^5}{\text{с}^3}$	$\frac{\Pi}{2\alpha}$, размерность $\frac{\text{Л}^5}{\text{Т}^3}$		$\frac{1}{2\alpha^2}$
Квант линейного элемента тока, $(I D)_{\text{кв}}$	$3,225752423 \cdot 10^{-45} \text{ А}\cdot\text{м}$	$2,704801113 \cdot 10^{-54} \frac{\text{м}^4}{\text{с}^2}$	Π , размерность $\frac{\text{Л}^4}{\text{Т}^2}$		$\frac{1}{\alpha}$
Элементарный электрический заряд, q_e	$7,851916834 \cdot 10^{-55} \text{ Кл}\cdot\text{с}$	$6,583850953 \cdot 10^{-64} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	$\Pi \alpha$, размерность $\frac{\text{Л}^3}{\text{Т}}$		1
(Магнитная постоянная) ⁻¹ , μ_0^{-1}	$1,911262529 \cdot 10^{-65} \frac{\text{м}}{\text{Гн}\cdot\text{с}}$	$1,602598179 \cdot 10^{-74} \text{ м}^2$	$\Pi \alpha^2$, размерность Л^2		α
(Постоянная Клитцинга) ⁻¹ , R_K^{-1}	$9,304541882 \cdot 10^{-76} \text{ Ом}\cdot\text{с}^{-1}$	$7,801880513 \cdot 10^{-85} \text{ м}\cdot\text{с}$	$\Pi 2\alpha^3$, размерность LT		$2\alpha^2$
Электрическая постоянная, ϵ_0	$2,12656636 \cdot 10^{-82} \frac{\text{Ф}^*}{\text{м}}$	$1,783130954 \cdot 10^{-91} \text{ с}^2$	$\Pi \alpha^2$, размерность Т^2		α

неудобно. В последующих столбцах табл. 2 приведены числовые значения ККВ в различных LT – системах размерностей, в которых единицей длины принимается метр или единицей времени секунда. Квант потенциального действия в этих вариантах различен, но числовые соотношения ККВ потенциально содержат значения ЕКСР.

Последние столбцы табл. 2 иллюстрируют, что выбором числовых значений единиц измерения длины и времени в LT – системе размерностей можно добиться положения, при котором все ККВ получают числовые значения, определяемые лишь постоянной тонкой структуры α .

Примечательной особенностью системного ряда ККВ является симметрия в расположении и соотношении их квантов. Причем симметрия распространяется и на «отношения отношений» (если можно так выразиться), что наглядно по-

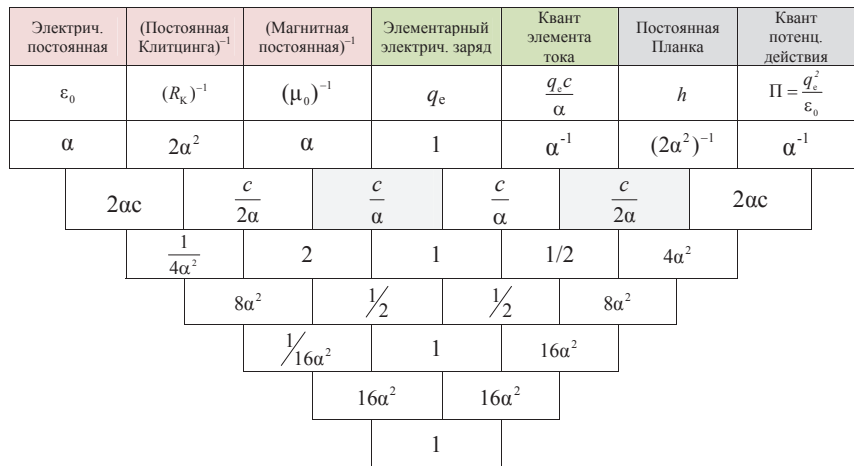


Рис. 3
Соотношения числовых значений ФФК в ЕКСР

казано на рис. 3. Здесь электрический заряд q_e и скорость света c имеют единичные значения, а отношения других ККВ и «отношения отношений» получают значения, численно определяемые лишь

значением постоянной тонкой структуры α .

Почти всё до сих пор рассматриваемое относилось к LT – системе размерностей, поэтому возникает естественный вопрос, а как дело об-

О РАЗМЕРНОСТНЫХ И ЧИСЛОВЫХ СООТНОШЕНИЯХ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ В СИСТЕМАХ ЕДИНИЦ ЛТИ СИ

стоит в системе СИ? Наблюдается ли в ней что-либо похожее? Некоторые ответы на этот вопрос можно найти в данных табл. 2. Кое-что обозначено на рис. 3 в виде деления системного ряда ККВ на три подгруппы. Более четко это деление представлено на рис. 4.

Оказалось, что в СИ системный ряд ККВ, связанных через скорость света, имеет два особых «разрыва», обозначенных на рис. 4 сменой цвета заливки соответствующих ячеек. В этих разрывах, в отличие от *LT*-размерностного варианта по табл. 1, парные соотношения между значением μ_0 и элементарным электрическим зарядом q_e , а также между ФВ «Квант элемента тока» и постоянной Планка h , дополнительно обусловлены соотношением в СИ единиц измерения массы и силы тока. Данное соотношение $\xi = \alpha q_e \mu_0 / c$.

В СИ это соотношение равно $4,901 \cdot 10^{-36}$ А/кг, а в рассматриваемых вариантах *LT*-систем оно единичное. В авторской системе физических величин и закономерностей (ФВиЗ), построенной на размерностях и единицах СИ, это соотношение присутствует как дополнительный размерный множитель $k = \xi \approx 4,901 \cdot 10^{-36}$ кг/А [10, 11]. Этот дополнительный размерный множитель, а также модифицированную гравитационную постоянную $G = 4\pi\gamma = 4\pi \cdot 6,673 \cdot 10^{-11}$ ($\text{м}^3 \text{кг}^{-1} \text{с}^{-2}$) содержат в СИ (как отличие от *LT*) все электромагнитные величины разных системных уровней.

На рис. 4 цветным выделением наименований ФВ обозначено, что ФВ исследуемого нами системного ряда ККВ подразделяются на три подгруппы, принадлежащие к разным системным группам. В размерностях СИ эти ФВ отличаются от своего *LT*-размерностного представления на дополнительные раз-

Электрич. постоянная	(Постоянная Клитцинга) ⁻¹	(Магнитная постоянная) ⁻¹	Элементарный электрич. заряд	Квант элемента тока	Постоянная Планка	Квант потенц. действия
$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$	$\frac{1}{R_K} = \frac{2\alpha}{\mu_0 c}$	$(\mu_0)^{-1}$	q_e	$\frac{q_e c}{\alpha}$	$h = \frac{q_e^2}{2\alpha c \epsilon_0}$	$\Pi = \frac{q_e^2}{\epsilon_0}$
$\frac{1}{R_K \epsilon_0} = 2\alpha c$	$\frac{R_K}{\mu_0} = \frac{c}{2\alpha}$	$q_e \mu_0 = \xi c / \alpha = 2,013355 \cdot 10^{-25}$	$\frac{c}{\alpha}$	$\frac{h\alpha}{q_e c} = \frac{\xi c}{2\alpha}$	$\frac{q_e^2}{\epsilon_0 h} = 2\alpha c$	
$\frac{1}{4\alpha^2}$	2ξ	$\frac{1}{\xi}$	$\frac{\xi}{2}$	$\frac{4\alpha^2}{\xi}$		
$8\alpha^2 \xi$	$\frac{1}{2\xi^2}$	$\frac{\xi^2}{2}$	$8\alpha^2 / \xi^2$			
$\frac{1}{16\alpha^2 \xi^3}$	ξ^4	$\frac{16\alpha^2}{\xi^4}$				
$16\alpha^2 \xi^7$	$\frac{16\alpha^2}{\xi^8}$					
$\frac{1}{\xi^{15}}$						

Рис. 4. Числовые значения ФК и их соотношения в СИ

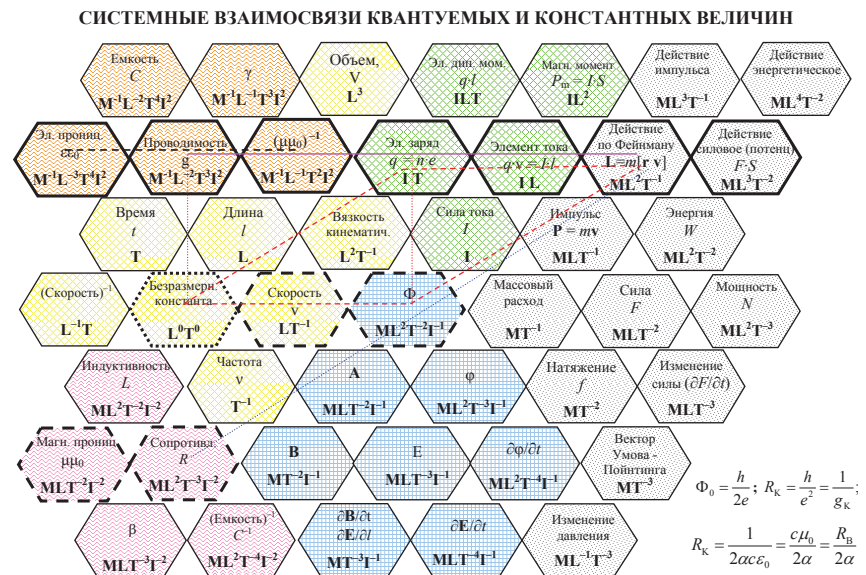


Рис. 5. Системные взаимосвязи ККВ в системе ФВиЗ в единицах СИ

мерностные коэффициенты Gk^2 , Gk и G , что показано в работах [11, 12]. Однако, несмотря на принадлежность ККВ к разным системным группам ФВ, они образуют строго упорядоченную последовательность, приводимую нами выше. Хотя в системе единиц СИ в этой последовательности ККВ имеются два разрыва, оба этих разрыва обладают определенной симметрией, прису-

щей всей системе в целом (см. рис. 4).

На рис. 5 в частном планарном изображении представлена авторская система ФВиЗ с выделением (утолщенной окантовкой) системного ряда ККВ.

Системные связи, выражающие природные закономерности, определяются в системе ФВиЗ по правилу выделенных паралле-

Таблица 3

Токовый характер основных силовых взаимодействий в ЕКСР

Наименование силового взаимодействия	Взаимодействующие физические величины		LT-размерность величин	Уравнение связи, определяющее силу взаимодействия
	по заряду	по току		
Электростатическое	q	It	L^3T^{-1}	$F = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{4\pi r^2} = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{(It)_1 (It)_2}{4\pi r^2}$
Электродинамическое	qv	I	L^4T^{-2}	$F = \mu_0 \frac{(qv)_1 (qv)_2}{4\pi r^2} = \mu_0 \frac{(I)_1 (I)_2}{4\pi r^2}$
Гравитационное	q/t	I	L^3T^{-2}	$F = \frac{I_1 I_2}{4\pi r^2}$

лограммов или выделенных линий [11, 12].

Электротоковое единство силовых взаимодействий

На основании представленных выше данных можно констатировать, что два числовых и размерностных «разрыва» в системном ряду ККВ, представляемых в единицах СИ, образуются из-за разницы в единицах измерения *массы* и *силы тока*. Данный факт позволяет сделать вывод о совпадении (с физической точки зрения) этих двух параметров.

Этот вывод подтверждается также формульными выражениями для силовых электромагнитных и гравитационного взаимодействий в ЕКСР [8]. Силовые соотношения в ЕКСР представлены в таблице 3.

Гравитационное взаимодействие определяется в системе ЕКСР как чисто токовое взаимодействие (силовое взаимодействие ФВ *сила*

тока, присущее всем без исключения вещественным образованиям). Электростатическое взаимодействие представляет собой токовое взаимодействие с участием ФВ *время*, а электродинамическое – это токовое взаимодействие с участием ФВ *длина* (пространственная протяженность).

Заключение

В естественной кинематической системе размерностей с единичными значениями заряда электрона и скорости света фундаментальные физические константы образуют упорядоченную последовательность, в которой числовые значения определяются лишь постоянной тонкой структуры. Одновременно проявляется токовый характер основных силовых взаимодействий.

В системе СИ данная последовательность констант приобретает два взаимосвязанных разрыва, определяемых иным выбором основных единиц.

Annotation

Bartini's works, as well as works by other authors, particularly emphasized the search for the origin of numerical values and relationships between fundamental physical constants. This direction of investigations is highlighted in this paper as well.

Литература

1. Бартини Р.Л. Некоторые соотношения между физическими константами // Доклады Академии наук СССР. 1965. Т. 163. № 4. С. 861–864.
2. Бартини Р.Л. Соотношение между физическими величинами // Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. Под редакцией К.П. Станюковича и Г.А. Соколова. М. Атомиздат. 1966. Вып.1. С. 249–266.
3. Чуев А.С. Взаимосвязь размерностей и единство числовых значений фундаментальных физических констант в системе размерностей LT. URL: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4726.html>. (Дата обращения: 2.02.2016).
4. Станюкович К.П., Мельников В.Н. Гидродинамика, поля и константы в теории гравитации. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 256 с.
5. Окунь Л. Б. Фундаментальные константы физики // УФН, 161 (9) с. 177–194 (1991).
6. Смоленский В.Б. Пи-Теория фундаментальных физических констант. URL: <http://uslide.ru/geometriya/28036-piteoriya-fundamentalnih-fizicheskikh-konstant.html> (Дата обращения: 2.02.2016).
7. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. М.: Физматлит, 2006, 368 с.
8. Чуев А.С. Физическая картина мира в размерности «длина – время». Серия «Информатизация России на пороге XXI века». М. СИНТЕГ, 1999. 96 с.
9. Каршенбойм С.Г. Прогресс в уточнении фундаментальных физических констант: рекомендованные значения КОДАТА 2010. УФН. 2013. № 9. С. 935–962.
10. Чуев А.С. Система физических величин и закономерных размерностных взаимосвязей между ними // Журн. «Законодательная и прикладная метрология». 2007. № 3. С. 30–33.
11. 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).
12. Чуев А.С. Архитектурные модели систем физических величин и закономерностей на базе систем единиц СИ и СГС // Журнал «Мир измерений». 2014. № 5. С. 29–36.