



# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. А. Рабинович, Ю. Е. Шелудяк, Некоторые следствия, вытекающие из анализа естественных систем единиц, *ТВТ*, 2000, том 38, выпуск 5, 840–842

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.231.219.178

6 ноября 2024 г., 23:16:43



УДК 53.081.6

НЕКОТОРЫЕ СЛЕДСТВИЯ, ВЫТЕКАЮЩИЕ ИЗ АНАЛИЗА  
ЕСТЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ ЕДИНИЦ

© 2000 г. В. А. Рабинович, Ю. Е. Шелудяк

ВНИЦ СМВ Госстандарта Российской Федерации, Москва

Поступило в редакцию 22.12.99 г.

В практических системах измерений единицы длины  $L$ , времени  $T$  и массы  $M$  имеют произвольный, но строго определенный размер, установленный по соглашению. На современном этапе воспроизведение исторически сложившихся единиц измерений осуществляется на основе устойчивых физических явлений и связанных с ними фундаментальных физических констант (ФФК) [1–3].

В естественных системах единиц (ЕСЕ) размер единиц  $L$ ,  $T$  и  $M$  определяется непосредственно из ФФК – гравитационной постоянной  $G$ , постоянной Планка  $h$ , скорости света в вакууме  $c$ , массы покоя одной из элементарных частиц  $M_i$  (например, протона  $M_p$  или электрона  $M_e$ ), элементарного заряда  $e$  [4, 5]. Любую размерную ФФК можно представить в виде произведения степеней основных единиц

$$A_i = L^{l_i} T^{t_i} M^{m_i}. \quad (1)$$

Разрешив систему уравнений (1) для трех ФФК, получим размер единиц длины, времени и массы, соответствующих данному набору ФФК. Впервые естественную систему единиц предложил Планк в 1906 г. на основе ФФК  $G$ ,  $h$ ,  $c$ . В дальнейшем предлагались и другие ЕСЕ [4, 5], из которых наиболее известны система Хартри (система атомных единиц), основанная на ФФК  $e$ ,  $M_e$  и  $\hbar = h/2\pi$ , и релятивистская система единиц, основанная на ФФК  $\hbar$ ,  $c$ ,  $M_e$ . Перечисленные выше ФФК относятся к гравитационному и электромагнитному взаимодействиям. Можно было бы построить ЕСЕ и на основе констант сильного и слабого взаимодействий и космологических постоянных [6], но способ введения этих констант не однозначен и точность их определения мала.

В настоящее время ЕСЕ, созданные на основе наиболее точных значений ФФК [7], пока еще не могут конкурировать по точности с существующими эталонами  $L$  и  $T$  [3]. Поэтому цель разработки ЕСЕ другая – исследование возможности существования элементарных основных единиц и, в первую очередь, элементарной длины  $L$  [8].

В таблице приведены выражения для единиц длины, времени и массы, вытекающие из восьми различных комбинаций ФФК  $G = L^3 T^{-2} M^{-1}$ ,  $h =$

$= L^2 T^{-1} M$ ,  $c = L T^{-1}$ ,  $e_1 = L^{2/3} T^{-1} M^{1/2}$ ,  $M_i$  и отношения этих единиц к планковским единицам

$$L_{\text{PL}} = G^{1/2} h^{1/2} c^{-3/2} = 4.050837 \times 10^{-35} \text{ м},$$

$$T_{\text{PL}} = G^{1/2} h^{1/2} c^{-5/2} = 1.35121 \times 10^{-43} \text{ с},$$

$$M_{\text{PL}} = G^{-1/2} h^{1/2} c^{1/2} = 5.4562 \times 10^{-8} \text{ кг},$$

Фигурирующая в таблице величина  $e_1$  соответствует элементарному заряду в трехмерной системе единиц  $L$ ,  $T$ ,  $M$  при значении коэффициента пропорциональности  $k = 1$  в законе Кулона для силы взаимодействия  $F$  зарядов  $q_1$  и  $q_2$  в вакууме на расстоянии  $r$

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (2)$$

Такое значение коэффициента  $k$  принято в системе СГС. В четырехмерных системах единиц, содержащих помимо механических единиц одну из электрических единиц (заряда, тока или напряжения), коэффициент  $k$  имеет размерное значение. Например, в системе СИ  $k = (4\pi\epsilon_0)^{-1} = C^2/10^7 \approx 9 \times 10^9 \text{ Н м}^2/\text{Кл}^2$ .

Однако в любой практической системе единиц независимо от выбора значения коэффициента  $k$  и размера электрической единицы нормированная величина элементарного заряда  $e_1 = k^{1/2} e$  имеет одинаковое значение.

Значения единиц в различных ЕСЕ определяются тремя ФФК, а их отношения к планковским единицам зависят только от двух безразмерных комплексов:  $\alpha_1 = e_1^2/(hc) = \alpha/2\pi$  и  $M_i/M_{\text{PL}}$ , где  $\alpha = 7.29735308 \times 10^{-3}$  – постоянная тонкой структуры. Если для определения единиц  $L$ ,  $T$ ,  $M$  вместо  $h$  использовать  $\hbar = h/2\pi$ , то  $\alpha_1 = \alpha$ .

Значения единиц длины и времени в различных ЕСЕ изменяются в очень широких пределах. Примем для определенности  $M_i = M_p = 1.6726231 \times 10^{-27} \text{ кг}$ . В этом случае комбинация ФФК  $G$ ,  $c$ ,  $M_p$  дает очень малые единицы длины  $L_{\text{min}} = 1.24 \times 10^{-54} \text{ м}$  и времени  $T_{\text{min}} = 4.14 \times 10^{-63} \text{ с}$ , а из комбинации ФФК  $G$ ,  $h$ ,  $M_p$  следует единица длины порядка расстояния между скоплениями галактик

Единицы длины  $L$ , времени  $T$  и массы  $M$ , вытекающие из различных комбинаций фундаментальных физических констант  $G, h, c, e_1, M_i$

Фундаментальные физические константы	$L$	$T$	$M$	$L/L_{PL}$	$T/T_{PL}$	$M/M_{PL}$
$G, h, c$	$G^{1/2} h^{1/2} c^{-3/2}$	$G^{1/2} h^{1/2} c^{-5/2}$	$G^{-1/2} h^{1/2} c^{1/2}$	1	1	1
$G, h, e_1$	$G^{1/2} h^2 e_1^{-3}$	$G^{1/2} h^3 e_1^{-5}$	$G^{-1/2} e_1$	$\alpha_1^{-3/2}$	$\alpha_1^{-5/2}$	$\alpha_1^{1/2}$
$G, c, e_1$	$G^{1/2} c^{-2} e_1$	$G^{1/2} c^{-3} e_1$	$G^{-1/2} e_1$	$\alpha_1^{1/2}$	$\alpha_1^{1/2}$	$\alpha_1^{1/2}$
$G, h, M_i$	$G^{-1} h^2 M_i^{-3}$	$G^{-2} h^3 M_i^{-5}$	$M_i$	$(M_i/M_{PL})^{-3}$	$(M_i/M_{PL})^{-5}$	$M_i/M_{PL}$
$G, c, M_i$	$G c^{-2} M_i$	$G c^{-3} M_i$	$M_i$	$M_i/M_{PL}$	$M_i/M_{PL}$	$M_i/M_{PL}$
$h, c, M_i$	$h c^{-1} M_i^{-1}$	$h c^{-2} M_i^{-1}$	$M_i$	$(M_i/M_{PL})^{-1}$	$(M_i/M_{PL})^{-1}$	$M_i/M_{PL}$
$h, e_1, M_i$	$h^2 e_1^{-2} M_i^{-1}$	$h^3 e_1^{-4} M_i^{-1}$	$M_i$	$\alpha_1^{-1} (M_i/M_{PL})^{-1}$	$\alpha_1^{-2} (M_i/M_{PL})^{-1}$	$M_i/M_{PL}$
$c, e_1, M_i$	$c^{-2} e_1^2, M_i^{-1}$	$c^{-3} e_1^2, M_i^{-1}$	$M_i$	$\alpha_1 (M_i/M_{PL})^{-1}$	$\alpha_1 (M_i/M_{PL})^{-1}$	$M_i/M_{PL}$

$L_{\max} = 1.406 \times 10^{24}$  м = 45.6 Мпк [9] и единица времени  $T_{\max} = 4.99 \times 10^{54}$  с =  $1.58 \times 10^{47}$  лет, на 37 порядков превышающая предполагаемый возраст Вселенной. Особый интерес представляет ЕСЕ, вытекающая из комбинации ФФК  $h, c, M_p$ , так как она обладает внутренней согласованностью: единица длины в этой ЕСЕ  $L_p = 1.32141 \times 10^{-15}$  м (при использовании  $\hbar L_p = 0.527166 \times 10^{-15}$  м) порядка размера протона.

С другой стороны, все представленные в таблице ЕСЕ сводятся к планковским единицам, если единица массы имеет размер массы гипотетического планкеона  $M_i = M_{PL}$  и коэффициент  $\alpha_1 = 1$ . Последнее условие выполняется в том случае, если коэффициент пропорциональности в законе Кулона имеет значение  $k = e_1^2 / (\hbar c) = \alpha / 2\pi = 1.16140942 \times 10^{-3}$ . При таком значении коэффициента  $k$  величина элементарного заряда определяется соотношением

$$e = (\hbar c)^{1/2} = 4.456958 \times 10^{-13} \text{ Н}^{1/2} \text{ м}. \quad (3)$$

Какого-либо физического обоснования для выбора значения  $k = 1$  не существует. Поэтому предлагаемое значение  $k = \alpha / 2\pi$  имеет хотя бы то преимущество, что позволяет сократить и упорядочить набор возможных ЕСЕ. В частности, при таком выборе значения коэффициента  $k$  система единиц Хартри преобразуется в релятивистскую систему единиц.

Если единица массы может иметь размер массы покоя одной из реальных элементарных частиц, например протона  $M_p$ , то первоначальный набор из восьми ЕСЕ сокращается до четырех. Комбинации ФФК  $G, h, c$ ;  $G, h, e$  и  $G, c, e$  дают планковские единицы  $L_{PL}, T_{PL}, M_{PL}$ . Комбинации

ФФК  $h, c, M_p$ ;  $h, e, M_p$  и  $c, e, M_p$  дают "протонные" единицы  $L_p, T_p, M_p$ . Две оставшиеся комбинации ФФК  $G, c, M_p$  и  $G, h, M_p$  дают  $L_{\min}$  и  $L_{\max}$  соответственно.

Таким образом, анализ ЕСЕ, построенный на основе существующих ФФК, дает основание предположить, что существует элементарная длина пространства, равная планковской длине  $L_{PL}$ . С другой стороны, столь же вероятно существование набора фундаментальных длин, изменяющихся от  $10^{-54}$  м до  $10^{24}$  м. Но даже в том случае, когда в основе мироустройства лежит единственная фундаментальная длина, необходимо физическое или геометрическое обоснование ее существования.

Выдвинутая авторами [10, 11] гипотеза о том, что математической моделью физического пространства является фрактальное пространство с размерностью  $d_F \approx 3.1$ , открывает новые возможности для развития представления об элементарной длине. Фрактальное пространство можно представить как бесконечный набор взаимосвязанных "вложенных" одно в другое трехмерных пространств, каждое из которых определяется своей элементарной длиной. Поэтому во фрактальном пространстве различные физические явления и связанные с ними ФФК могут относиться к трехмерным пространствам с различными элементарными длинами.

Поскольку ФФК  $h, c, e, M_p$  характеризуют мир электромагнитных взаимодействий и элементарных частиц, то можно предположить, что этот мир относится к пространству с элементарной длиной  $L_p$  порядка размера элементарных частиц. Отметим, что в этом случае соотношение неопределенностей Гейзенберга, записанное в виде

$$\Delta x \geq \hbar / \Delta p = \hbar / (c M_p) = L_p,$$

приобретает очевидный смысл – изменение координаты не может быть меньше элементарной длины, характерной для данного пространства.

Большие различия единиц длины, полученных из разных комбинаций гравитационной постоянной  $G$  с другими ФФК, могут быть вызваны тем, что гравитационное взаимодействие и характеризующая его константа относятся к пространству с элементарной длиной  $L_G$ , отличающейся от элементарной длины  $L_p$  пространства электромагнитного взаимодействия. Подставив в уравнения для  $L_{PL}$ ,  $L_{\min}$  или  $L_{\max}$  вместо  $G$  ее выражение через  $L_G$ ,  $T_G$  и  $M_G$ , а вместо  $h$  и  $c$  – их выражения через  $L_p$ ,  $T_p$  и  $M_p$ , получим связь между элементарными длинами пространств гравитационного и электромагнитного взаимодействий

$$\begin{aligned} \frac{L_G}{L_p} &= \left(\frac{M_p}{M_{PL}}\right)^{1/3} \left(\frac{M_G}{M_{PL}}\right)^{1/3} \left(\frac{T_G}{T_p}\right)^{2/3} = \\ &= \frac{M_p}{M_{PL}} \frac{M_G}{M_{PL}} \left(\frac{c}{v_G}\right)^2, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $v_G = L_G/T_G$ ,  $c = L_p/T_p$ .

Для выполнения условия  $L_G \geq L_p$  элементарная частица гравитационного взаимодействия должна иметь размер массы  $M_G = M_{PL}^2/M_p \approx 1.78 \times 10^{12}$  кг порядка массы астероида диаметром 1 км. Поэтому можно предположить, что  $L_G \ll L_p$ .

Таким образом, привлечение гипотезы о фрактальности физического пространства позволяет объяснить возможность существования одной или нескольких элементарных длин, соответствующих различным физическим реальностям. В последнем случае элементарная длина пространства гравитационного взаимодействия должна быть значительно меньше элементарной длины пространства электромагнитного взаимодей-

ствия. Анализ естественных систем единиц свидетельствует также о предпочтительности использования постоянной тонкой структуры в качестве коэффициента пропорциональности в законе Кулона вместо принятого в настоящее время значения  $k = 1$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбачев С.В. Связь между единицами механических и электрических величин и физическими константами // Измерительная техника. 1980. № 9. С. 19.
2. Тарбеев Ю.В., Краснов К.А., Герасимов Н.П., Тунинский В.С. Фундаментальные физические константы и воспроизведение единиц физических величин // Измерительная техника. 1984. № 7. С. 10.
3. Тарбеев Ю.В., Мостепаненко В.М., Эйдес М.И. Фундаментальные физические константы и эталоны // Измерительная техника. 1986. № 8. С. 4.
4. Деньгуб В.М., Смирнов В.Г. Единицы величин. М.: Изд-во стандартов, 1990. 240 с.
5. Чертов А.Г. Физические величины. М.: Высшая школа, 1990. 335 с.
6. Иващук В.Д., Мельников В.Н. Константы в моделях объединения взаимодействий // Измерительная техника. 1986. № 7. С. 3.
7. Фундаментальные физические константы / ГСССД 1-87. М.: Изд-во стандартов, 1988.
8. Киржниц Д.А. Фундаментальная длина. В кн.: Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1984. С. 834.
9. Schwarzschild B. Redshift Surveys of Galaxies Find a Bubbly Universe // Phys. Today. 1986. V. 39. № 5. P. 17.
10. Рабинович В.А., Шелудяк Ю.Е. О размерности физического пространства // ТВТ. 1997. Т. 35. № 4. С. 667.
11. Rabinovich V.A., Sheludyak Yu.E. Thermodynamics of Critical Phenomena: New Analysis of the Evaluation of Properties. New York: Begell House Inc. Publ, 1998. 162 p.

УДК 536.248.2:534

## ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ НА ОБРАЗОВАНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ПЕРИОД СХЛОПЫВАНИЯ ПУЗЫРЬКОВ ПАРА ПРИ КИПЕНИИ НЕДОГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ

© 2000 г. Б. М. Дорофеев, В. И. Волкова

Ставропольский государственный университет

Поступило в редакцию 01.11.99 г.

**Введение.** Проведенный в ранее выполненных работах [1–4] анализ показал, что при кипении недогретой жидкости в момент достижения пузырьком пара максимального размера одновременно имеют место два неравновесных состояния. Во-первых, давление пара в пузырьке меньше давления в жидкости  $P_{\infty}$ . Во-вторых, скорость

поступления пара в пузырек меньше скорости конденсации пара на поверхности контакта с холодной жидкостью ( $T < T_s$ ). В результате имеются две причины схлопывания пузырька: его механическая неравновесность и процесс фазового перехода жидкости в пар. При этом движение жидкости к центру пузырька происходит как вследствие