

О теоретическом прогрессе аналитического определения значений фундаментальных физических констант

(Комментарий к статье С.Г. Каршенбойма “Прогресс в уточнении фундаментальных физических констант: рекомендованные значения КОДАТА 2010”).

© В.Б. Смоленский 2014

аннотация: описывается принципиально новый единый подход теоретического определения значений фундаментальных физических констант в рамках Пи-Теории фундаментальных физических констант (Пи-Теория). Представлены результаты аналитических расчетов. Приведены выборка данных КОДАТА 2010 и результаты их сравнения с расчетными данными Пи-Теории. При теоретическом определении значений постоянной тонкой структуры и аномалии магнитного момента электрона метод последовательных приближений теории возмущений квантовой электродинамики не использовался.

ключевые слова: КОДАТА, НИСТ, Ньютон, Планк, Ридберг, Авогадро, электрон, протон, нейтрон.

В журнале *УФН* **183** 935–962 (2013) была опубликована статья председателя российской группы КОДАТА по фундаментальным константам С.Г. Каршенбойма “Прогресс в уточнении фундаментальных физических констант: рекомендованные значения КОДАТА 2010”, в которой представлен обзор текущего состояния дел с уточнением значений фундаментальных физических констант (далее по тексту – ФФК).

Исходя из содержания указанной статьи, автором этого комментария сделано предположение, что, в части теоретического определения значений наиболее значимых ФФК, сложилась критическая ситуация. Дальнейшее изложение является обоснованием высказанного предположения и предложениями по возможному пути выхода из теоретического тупика.

Необходимое пояснение: если в тексте этой статьи обозначение параметра имеет нижний индекс “ π ”, то это, во-первых, означает, что это параметр Пи-Теории, а во-вторых, что этот параметр имеет точное теоретическое значение, которое настолько соответствует истинному значению, что для заданных целей может быть использовано вместо истинного значения параметра.

Постоянная тонкой структуры α и аномалия магнитного момента электрона a_e

Приведем цитату из комментируемой статьи:

“Наиболее точным методом определения постоянной тонкой структуры остается исследование аномального магнитного момента электрона a_e , измерение которого относится к квантовой оптике в ловушках для одиночных частиц, а теория – к квантовой электродинамике”.

Другими словами, в качестве входного параметра – для теоретического определения постоянной тонкой структуры $\alpha(a_e)$ с использованием теории возмущений квантовой электродинамики, берется экспериментальное значение аномалии a_e магнитного момента электрона.

Принципиальными недостатками такого подхода являются:

1. Точность определения $\alpha(a_e)$, которая *не может превышать* точность экспериментального (или теоретического) значения a_e . В полной мере это справедливо и для $a_e(\alpha)$.

2. В Пи-Теории постоянная тонкой структуры α и аномалия магнитного момента электрона a_e являются *не зависящими от времени* фундаментальными константами природы и, следовательно, имеют *единственные* истинные значения, независимо от каких бы то ни было физических измерений. Совершенно очевидно, что и их разность $\Delta = \alpha - a_e$ также есть уникальная константа.

Если мы не знаем истинного значения Δ , то мы не сможем правильно определить α или a_e , потому что α и a_e – это две *независимые* константы природы. Поэтому, при использовании *любых* способов определения α или a_e – как функции аргумента a_e или α соответственно, не зная истинного значения Δ невозможно *в принципе* определить истинное значение α (или a_e), даже если истинное значение a_e (или α) каким-то образом стало нам известно.

Комптоновская длина волны электрона $\lambda_{\pi C}$ и постоянная Планка h

Приведем цитату из комментируемой статьи:

“Немного преувеличивая, можно сказать, что Согласование – это согласование всего того, что относится к постоянной тонкой структуры α и постоянной Планка h . Уточнение этих двух постоянных вовлекает в рассмотрение эталоны единиц основных электрических величин, что имеет большое метрологическое и практическое значение”.

Пусть мы определили истинное значение α . Выясним, как это скажется на точности определения $\lambda_{\pi C}$ и h .

Из комментируемой статьи приведем формулу (1):

$$\alpha^2 = R_{\infty} \frac{2h}{m_e c} \quad (1)$$

С учетом того, что $\lambda_{\pi C} = h / m_e \cdot c$, запишем (1) в виде

$$\lambda_{\pi C} = \alpha^2 / 2 \cdot R_{\infty} \quad (2)$$

Из (2) следует, что $\lambda_{\pi C}$ определяется с точностью постоянной Ридберга R_{∞} , т.к. погрешность истинного найденного значения α принимается равной нулю.

Запишем (1) относительно h :

$$h = \frac{\alpha^2 \cdot m_e c}{2 \cdot R_{\infty}} \quad (3)$$

С учетом (2), Запишем (3), в виде:

$$h = m_e \cdot \lambda_{\pi C} \cdot c \quad (4)$$

Из (4) следует, что невозможно определить h , не зная значения массы электрона m_e . В Пи-Теории m_e определяется аналитически (см. таблицу 2).

Теоретическое определение значений ФФК

Таблица 1. Представлены результаты аналитических расчетов значений ФФК в Пи-Теории.

Наименование	Символ	Значение (Пи-Теория)
<u>Элементарные константы</u>		
Электромагнитная константа асимметрии*	$\Delta_{\pi a}$	1,757 552 613 321 940 865 158 064 461 x 10 ⁻⁶
Скалярный параметр структуры пространства – времени*	$f_{\pi s}$	1,161 712 977 019 596 928 970 254 552 x 10 ⁻³
Скалярный параметр элементарного заряда*	$\kappa_{\pi e}$	1,161 409 733 400 893 939 488 207 987 x 10 ⁻³
<u>Составные константы</u>		
Постоянная масштабной инвариантности	ψ_{π}	1,669 642 831 928 813 892 580 472 149 x 10 ⁻²³
Аномалия магнитного момента электрона	$a_{\pi e}$	1,159 652 180 787 571 998 623 049 923 x 10 ⁻³
Отношение масс электрона и протона	$r_{\pi ep}$	5,446 170 218 699 090 667 403 109 650 x 10 ⁻⁴
Отношение масс электрона и нейтрона	$r_{\pi en}$	5,438 673 446 906 118 561 918 007 850 x 10 ⁻⁴
Отношение масс нейтрона и протона	$r_{\pi np}$	1,001 378 419 180 000 000 000 000 000
Отношение магнитных моментов протона и нейтрона	$r_{\pi u, pn}$	-1,459 898 124 622 977 783 495 815 120

Пояснение к таблице 1: константы со значком * – это элементарные, т.е. *независящие* друг от друга константы и которые, соответственно, являются результатами строгих аналитических решений

независимых уравнений Пи-Теории. Все остальные ФФК таблицы 1 составные, т.е. представляют собой ту или иную комбинацию элементарных констант, но также являются аналитическими решениями уравнений Пи-Теории.

Таблица 2. Представлены результаты аналитических расчетов значений ФФК по формулам Пи-Теории. В расчетах использованы: данные таблицы 1, постоянная Ридберга $R_\infty = 1,097\,373\,156\,8539(55) \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$ и скорость света $c = 2,997\,924\,58 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1}$ (КОДАТА, 2010); поверхностная плотность массы электрона, величина которой в Пи-Теории принимается равной единице: $\rho_{Se} = 1 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$.

Наименование	Символ	Формула (Пи-Теория)	Значение (СГС)	Ед. СГС
1	2	3	4	5
Постоянная тонкой структуры	α_π	$\alpha_\pi = 2\pi \cdot \kappa_{\pi e}$	$7,297\,352\,572\,519\,857 \times 10^{-3}$	
Аномалия магнитного момента электрона	$a_{\pi e}$	$a_{\pi e} = \kappa_{\pi e} - \Delta_{\pi a}$	$1,159\,652\,180\,787\,572 \times 10^{-3}$	
Комптоновская длина волны	$\lambda_{\pi C}$	$\lambda_{\pi C} = 2\pi^2 \cdot \kappa_{\pi e}^2 / \bar{R}_\infty$	$2,426\,310\,240\,7357 \times 10^{-10}$	см
Классический радиус электрона	$r_{\pi e}$	$r_{\pi e} = \kappa_{\pi e} \cdot \lambda_{\pi C}$	$2,817\,940\,329\,8407 \times 10^{-13}$	см
Радиус Бора	$a_{\pi 0}$	$a_{\pi 0} = \lambda_{\pi C} / 2\pi \cdot \alpha_\pi$	$0,529\,177\,211\,1187 \times 10^{-8}$	см
Масса электрона	$m_{\pi e}$	$m_{\pi e} = \pi^2 \cdot f_{\pi s}^3 \cdot \lambda_{\pi C}^2 \cdot \rho_{Se}$	$9,109\,382\,325\,3402 \times 10^{-28}$	г
Отношение масс электрона и протона	$r_{\pi ep}$	$r_{\pi ep} = m_e / m_p$	$5,446\,170\,218\,699\,091 \times 10^{-4}$	
Масса протона	$m_{\pi p}$	$m_{\pi p} = m_{\pi e} / r_{ep}$	$1,672\,621\,669\,8229 \times 10^{-24}$	г
Комптоновская длина волны протона	$\lambda_{\pi C,p}$	$\lambda_{\pi C,p} = r_{ep} \cdot \lambda_{\pi C}$	$1,321\,409\,857\,4420 \times 10^{-13}$	см
Отношение масс электрона и нейтрона	$r_{\pi en}$	$r_{\pi en} = m_e / m_n$	$5,438\,673\,446\,906\,119 \times 10^{-4}$	
Масса нейтрона	$m_{\pi n}$	$m_{\pi n} = m_{\pi e} / r_{en}$	$1,674\,927\,243\,6135 \times 10^{-24}$	г
Комптоновская длина волны нейтрона	$\lambda_{\pi C,n}$	$\lambda_{\pi C,n} = r_{en} \cdot \lambda_{\pi C}$	$1,319\,590\,908\,0246 \times 10^{-13}$	см
Отношение масс нейтрона и протона	$r_{\pi np}$	$r_{\pi np} = r_{ep} / r_{en}$	$1,001\,378\,419\,179\,999$	
Отношение магнитных моментов протона и нейтрона	$r_{\pi \mu, pn}$	$r_{\pi \mu, pn} = \mu_p / \mu_n$	$-1,459\,898\,124\,622\,978$	
Планковская длина	$l_{\pi P}$	$l_{\pi P} = \lambda_{\pi C} \cdot \psi_\pi / \sqrt{2\pi}$	$1,616\,143\,702\,8696 \times 10^{-33}$	см
Планковская масса	$m_{\pi P}$	$m_{\pi P} = m_{\pi e} / \sqrt{2\pi} \cdot \psi_\pi$	$2,176\,583\,930\,6611 \times 10^{-5}$	г
Планковское время	$t_{\pi P}$	$t_{\pi P} = l_{\pi P} / c$	$5,390\,875\,119\,5790 \times 10^{-44}$	с
Квант циркуляции	$q_{\pi c}$	$q_{\pi c} = \lambda_{\pi C} \cdot c$	$7,273\,895\,109\,4073$	$\text{см}^2 \text{ с}^{-1}$
Постоянная Планка	h_π	$h_\pi = m_{\pi e} \cdot \lambda_{\pi C} \cdot c$	$6,626\,069\,154\,6014 \times 10^{-27}$	$\text{г} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$
Элементарный заряд	e_π	$e_\pi = (\kappa_{\pi e} \cdot h_\pi \cdot c)^{1/2}$	$4,803\,204\,354\,1649 \times 10^{-10}$	$\text{г}^{1/2} \text{ см}^{3/2} \text{ с}^{-1}$
Гравитационная постоянная Ньютона	G_π	$G_\pi = h_\pi \cdot c / m_{\pi P}^2$	$6,673\,381\,632\,9142 \times 10^{-8}$	$\text{г}^{-1} \text{ см}^3 \text{ с}^{-2}$
Постоянная Авогадро	$N_{\pi A}$	$N_{\pi A} = 1 / m_{\pi u}$	$6,022\,140\,379\,0140 \times 10^{23}$	г^{-1}

Таблица 3. В соответствии с перечнем данных таблицы 2, представлены значения ФФК, рекомендованные КОДАТА (2010) для международного использования – публикация на сайте НИСТ по адресу: <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>; результаты расчетов из таблицы 2; результаты сравнения данных представлены в колонке 6, δ_r – относительная неопределенность.

Параметр a , обозначение (КОДАТА)	Значение, СГС (КОДАТА 2010)	Относит. Погрешность u_r	Параметр a^* , обозначение (Пи-Теория)	Значение, СГС (Пи-Теория)	$\delta_r = \frac{a^* - \bar{a}}{\bar{a}}$
1	2	3	4	5	6

Параметр a , обозначение (КОДАТА)	Значение, СГС (КОДАТА 2010)	Относит. Погрешность u_r	Параметр a^* , обозначение (Пи-Теория)	Значение, СГС (Пи-Теория)	$\delta_r = \frac{a^* - \bar{a}}{\bar{a}}$
1	2	3	4	5	6
α	$7,297\ 352\ 5698(24) \times 10^{-3}$	$3,2 \times 10^{-10}$	α_π	$7,297\ 352\ 572\ 519\ 857 \times 10^{-3}$	$3,7 \times 10^{-10}$
a_e	$1,159\ 652\ 180\ 76(27) \times 10^{-3}$	$2,3 \times 10^{-10}$	$a_{\pi e}$	$1,159\ 652\ 180\ 787\ 572 \times 10^{-3}$	$0,2 \times 10^{-10}$
λ_C	$2,426\ 310\ 2389(16) \times 10^{-10}$	$6,5 \times 10^{-10}$	$\lambda_{\pi C}$	$2,426\ 310\ 240\ 7357 \times 10^{-10}$	$7,5 \times 10^{-10}$
r_e	$2,817\ 940\ 3267(27) \times 10^{-13}$	$9,7 \times 10^{-10}$	$r_{\pi e}$	$2,817\ 940\ 329\ 8407 \times 10^{-13}$	$11,1 \times 10^{-10}$
a_0	$0,529\ 177\ 210\ 92(17) \times 10^{-8}$	$3,2 \times 10^{-10}$	$a_{\pi 0}$	$0,529\ 177\ 211\ 1187 \times 10^{-8}$	$3,7 \times 10^{-10}$
m_e	$9,109\ 382\ 91(40) \times 10^{-28}$	$4,4 \times 10^{-8}$	$m_{\pi e}$	$9,109\ 382\ 325\ 3402 \times 10^{-28}$	$-6,4 \times 10^{-8}$
m_e / m_p	$5,446\ 170\ 2178(22) \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-10}$	$r_{\pi ep}$	$5,446\ 170\ 218\ 699\ 091 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-10}$
m_p	$1,672\ 621\ 777(74) \times 10^{-24}$	$4,4 \times 10^{-8}$	$m_{\pi p}$	$1,672\ 621\ 669\ 8229 \times 10^{-24}$	$-6,4 \times 10^{-8}$
$\lambda_{C,p}$	$1,321\ 409\ 856\ 23(94) \times 10^{-13}$	$7,1 \times 10^{-10}$	$\lambda_{\pi C,p}$	$1,321\ 409\ 857\ 4420 \times 10^{-13}$	$9,1 \times 10^{-10}$
m_e / m_n	$5,438\ 673\ 4461(32) \times 10^{-4}$	$5,8 \times 10^{-10}$	$r_{\pi en}$	$5,438\ 673\ 446\ 906\ 119 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-10}$
m_n	$1,674\ 927\ 351(74) \times 10^{-24}$	$4,4 \times 10^{-8}$	$m_{\pi n}$	$1,674\ 927\ 243\ 6135 \times 10^{-24}$	$-6,4 \times 10^{-8}$
$\lambda_{C,n}$	$1,319\ 590\ 9068(11) \times 10^{-13}$	$8,2 \times 10^{-10}$	$\lambda_{\pi C,n}$	$1,319\ 590\ 908\ 0246 \times 10^{-13}$	$9,2 \times 10^{-10}$
m_n / m_p	$1,001\ 378\ 419\ 17(45)$	$4,5 \times 10^{-10}$	$r_{\pi np}$	$1,001\ 378\ 419\ 179\ 999$	$0,1 \times 10^{-10}$
μ_p / μ_n	$-1,459\ 898\ 06(34)$	$2,4 \times 10^{-7}$	$r_{\pi \mu, pn}$	$-1,459\ 898\ 124\ 622\ 978$	$0,4 \times 10^{-7}$
l_p	$1,616\ 199(97) \times 10^{-33}$	$6,0 \times 10^{-5}$	$l_{\pi p}$	$1,616\ 143\ 702\ 8696 \times 10^{-33}$	$-3,4 \times 10^{-5}$
m_p	$2,176\ 51(13) \times 10^{-5}$	$6,0 \times 10^{-5}$	$m_{\pi p}$	$2,176\ 583\ 930\ 6611 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-5}$
t_p	$5,391\ 06(32) \times 10^{-44}$	$6,0 \times 10^{-5}$	$t_{\pi p}$	$5,390\ 875\ 119\ 5790 \times 10^{-44}$	$-3,4 \times 10^{-5}$
h / m_e	$7,273\ 895\ 1040(47)$	$6,5 \times 10^{-10}$	$q_{\pi c}$	$7,273\ 895\ 109\ 4073$	$7,4 \times 10^{-10}$
h	$6,626\ 069\ 57(29) \times 10^{-27}$	$4,4 \times 10^{-8}$	h_π	$6,626\ 069\ 154\ 6014 \times 10^{-27}$	$-6,2 \times 10^{-8}$
e	$4,803\ 204\ 27(12) \times 10^{-10}$	$2,5 \times 10^{-8}$	e_π	$4,803\ 204\ 354\ 1649 \times 10^{-10}$	$-1,7 \times 10^{-8}$
G	$6,673\ 84(80) \times 10^{-8}$	$1,2 \times 10^{-4}$	G_π	$6,673\ 381\ 632\ 9142 \times 10^{-8}$	$0,6 \times 10^{-4}$
N_A	$6,022\ 141\ 29(27) \times 10^{23}$	$4,4 \times 10^{-8}$	$N_{\pi A}$	$6,022\ 140\ 379\ 0140 \times 10^{23}$	$15,1 \times 10^{-8}$

Пояснения по поводу определения значений α и a_e

В виду того, что $\Delta_{\pi a}$ и $\kappa_{\pi e}$ – независимые друг от друга константы, то по условию

$$a_{\pi e} = \kappa_{\pi e} - \Delta_{\pi a} \quad (5)$$

Возможны следующие варианты:

1. Из условия (5) $\kappa_{\pi e}$ может быть записано как неизвестное κ_x , если $\Delta_{\pi a}$ и a_e известны:

$$\bar{\kappa}_x = \bar{a}_e + \Delta_{\pi a} \quad (6)$$

И тогда постоянная тонкой структуры α_x :

$$\bar{\alpha}_x = 2\pi \cdot \bar{\kappa}_x. \quad (7)$$

2. Из условия (5) $a_{\pi e}$ может быть записано как неизвестное a_{ex} , если $\Delta_{\pi a}$ и κ_e известны:

$$\bar{a}_{ex} = \bar{\kappa}_e - \Delta_{\pi a}, \quad \text{где } \bar{\kappa}_e = \bar{\alpha} / 2\pi. \quad (8)$$

Отметим, что:

– значения α_x и a_{ex} определяются путем прямого расчета, поэтому метод последовательных приближений теории возмущений квантовой электродинамики в Пи-Теории не используется.

– все упомянутые в этом комментарии размерные ФФК вычислены с точностью постоянной Ридберга.