Метод теоретического определения значений фундаментальных физических констант

В рамках созданной автором этой статьи Пи-Теории фундаментальных физических констант излагается принципиально новый аналитический метод высокоточного определения значений фундаментальных физических констант. Представлены формулы и результаты аналитических расчетов. Представлены выборочные данные CODATA 2010 года и результаты их сравнения с расчетами.

В журнале *УФН* **183** 935–962 (2013) 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 определением значений фундаментальных физических констант (далее – ФФК).

Исходя из содержания обзора, автором этой статьи сделан вывод о том, что в физике практически отсутствуют аналитические методы теоретического определения значений ФФК. Далее излагается аналитический метод высокоточного определения значений ФФК.

Необходимое пояснение: если в тексте статьи обозначение параметра имеет нижний индекс “ π ”, то это, во-первых, означает, что это параметр Пи-Теории фундаментальных физических констант (далее – Пи-Теория), а во-вторых, что этот параметр имеет теоретическое значение, которое может использоваться вместо истинного значения параметра.

Постоянная тонкой структуры α и аномалия магнитного момента электрона a_e

Приведем цитату из упомянутой 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”.

Иными словами, для теоретического определения постоянной тонкой структуры $\alpha(a_e)$ методом теории возмущений квантовой электродинамики в качестве входного параметра используется экспериментальное значение аномалии магнитного момента электрона a_e.

Основными недостатками этого метода являются:

1. Параметр $\alpha(a_e)$ определяется с точностью не выше точности экспериментального значения a_e. В полной мере это справедливо и для зависимости вида $a_e(\alpha)$.

2. В Пи-Теории α и a_e *не зависящие от времени* фундаментальные константы природы и, следовательно, имеют уникальные значения, независимо от каких-либо физических измерений. Очевидно, что их разность $\Delta = \alpha - a_e$ также есть уникальная константа. Не зная истинного значения Δ, мы не сможем правильно определить α, потому что α – константа природы и абсолютно не зависит от a_e. Поэтому, когда используется любой из методов определения α, не зная истинного значения Δ абсолютно невозможно определить истинное значение α, даже если истинное значение a_e каким-то образом стало нам известно.

Для пояснения вышесказанного, рассмотрим две проблемы, возникающие от теоретического определения $\alpha(a_e)$.

Запишем уравнение

$$z = x + y. \tag{1}$$

Обозначим $x = a_e$, $z = \alpha$, тогда (1) можно записать в виде

$$\alpha = a_e + y. \tag{2}$$

Из (2) следует, что

$$y = \alpha - a_e \tag{3}$$

и тогда (2) можно записать в виде

$$\alpha = a_e + (\alpha - a_e). \tag{4}$$

Для варианта $\alpha = f(a_e)$, (4) можно записать в виде

$$\alpha(a_e) = a_e + (\alpha - a_e) \tag{5}$$

или в виде

$$\alpha = a_e + \left[\alpha(a_e) - a_e\right]. \tag{6}$$

Первая проблема заключается в том, что из (5) и (6) следует, что для *любого* числового значения аргумента a_e равенства (5) и (6) выполняются. Непонятно, как это может быть установлено, что найденное число $\alpha(a_e)$ соответствует истинной величине α.

Учитывая, что $\Delta = \alpha - a_e$, (5) можно записать в виде

$$\alpha(a_e) = a_e + \Delta, \tag{7}$$

тогда

$$\Delta = \alpha(a_e) - a_e. \tag{8}$$

Вторая проблема заключается в том, что из (8) следует, что, не зная истинного значения Δ, можно получить, найдя коэффициенты ряда $\alpha(a_e)$, при известном значении a_e, *любые* значения α.

Комптоновская длина волны λ_C и постоянная Планка h

Пусть мы знаем истинное значение α. В этом случае, с какой точностью можно определить λ_C?
Мы обращаемся к известной формуле:

$$\alpha^2 = R_\infty \frac{2h}{m_e c}. \tag{9}$$

Учитывая, что $\lambda_C = h / m_e c$, (9) можно записать в виде

$$\lambda_C = \alpha^2 / 2 \cdot R_\infty. \tag{10}$$

Из (10) λ_C определяется с точностью постоянной Ридберга R_∞, потому что ошибка α равна нулю.
Запишем (9) относительно h:

$$h = \frac{\alpha^2 \cdot m_e c}{2 \cdot R_\infty}. \tag{11}$$

Учитывая (10), (11) может быть записано в виде

$$h = m_e \cdot (\lambda_C \cdot c). \tag{12}$$

Из (12) следует, что невозможно определить h, не зная величину массы электрона m_e.

Варианты определения значений α и a_e

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

$$a_{\pi e} = \kappa_{\pi e} - \Delta_{\pi a} \tag{13}$$

возможны следующие варианты:

1. Из условия (13), $\kappa_{\pi e}$ можно записать в виде неизвестного κ_x, если известны $\Delta_{\pi a}$ и a_e:

$$\kappa_x = a_e + \Delta_{\pi a}. \tag{14}$$

С учетом (14), постоянная тонкой структуры α_x может быть представлена в виде:

$$\alpha_x = 2\pi \cdot \kappa_x. \tag{15}$$

2. Из условия (13), $a_{\pi e}$ можно записать в виде неизвестного a_{ex}, если известны $\Delta_{\pi a}$ и κ_e:

$$a_{ex} = \kappa_e - \Delta_{\pi a}, \text{ где } \kappa_e = \alpha / 2\pi. \tag{16}$$

Отметим, что все упомянутые в тексте размерные ФФК рассчитываются с точностью постоянной Ридберга.

Теоретическое определение значений ФФК

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

Наименование	Символ	Значение (Пи-Теория)
	Элементарные константы	
*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}
	Составные константы	
Постоянная тонкой структуры	α_{π}	7,297 352 572 519 857 423 545 858 624 x 10^{-3}
Аномалия магнитного момента электрона	$a_{\pi\mathrm{e}}$	1,159 652 180 787 571 998 623 049 923 x 10^{-3}
Постоянная масштабной инвариантности	ψ_{π}	1,669 642 831 928 813 892 580 472 149 x 10^{-23}
Отношение масс электрона и протона	$r_{\pi\mathrm{ep}}$	5,446 170 218 699 090 667 403 109 650 x 10^{-4}
Отношение масс электрона и нейтрона	$r_{\pi\mathrm{en}}$	5,438 673 446 906 118 561 918 007 850 x 10^{-4}
Отношение масс нейтрона и протона	$r_{\pi\mathrm{np}}$	1,001 378 419 180 000 000 000 000 000
Отношение магнитных моментов протона и нейтрона	$r_{\pi\mu,\mathrm{pn}}$	-1,459 898 124 622 977 783 495 815 120

Таблица 1: константы, отмеченные *, являются базовыми, т.е. независимые друг от друга константы, и которые, соответственно, являются решениями *независимых* уравнений Пи-Теории. Все остальные ФФК таблицы 1 не являются элементарными, т.е. они являются комбинациями элементарных констант, но также являются решениями уравнений Пи-Теории.

Таблица 2. Представлены результаты аналитических вычислений значений ФФК. В расчетах использованы: данные табл. 1; постоянная Ридберга $R_{\infty} = 1{,}097\ 373\ 156\ 8539(55)\cdot 10^{5}$ см$^{-1}$; (CODATA 2010); скорость света $c = 2{,}99792458\cdot 10^{10}$ см $\cdot$ с$^{-1}$; поверхностная плотность массы электрона ρ_{Se}, численное значение которой в Пи-Теории принимается равной единице: $\rho_{\mathrm{Se}} = 1$ г $\cdot$ 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 x 10^{-3}	
Аномалия магнитного момента электрона	$a_{\pi\mathrm{e}}$	$a_{\pi\mathrm{e}} = \kappa_{\pi e} - \Delta_{\pi a}$	1,159 652 180 787 572 x 10^{-3}	
Комптоновская длина волны	$\lambda_{\pi\mathrm{C}}$	$\lambda_{\pi\mathrm{C}} = 2\pi^{2}\cdot\kappa_{\pi e}^{2} / \bar{R}_{\infty}$	2,426 310 240 7357 x 10^{-10}	см
Классический радиус электрона	$r_{\pi\mathrm{e}}$	$r_{\pi\mathrm{e}} = \kappa_{\pi e}\cdot\lambda_{\pi\mathrm{C}}$	2,817 940 329 8407 x 10^{-13}	см
Радиус Бора	$a_{\pi 0}$	$a_{\pi 0} = \lambda_{\pi\mathrm{C}} / 2\pi\cdot\alpha_{\pi}$	0,529 177 211 1187 x 10^{-8}	см
Масса электрона	$m_{\pi\mathrm{e}}$	$m_{\pi\mathrm{e}} = \pi^{2}\cdot f_{\pi s}^{3}\cdot\lambda_{\pi\mathrm{C}}^{2}\cdot\rho_{\mathrm{Se}}$	9,109 382 325 3402 x 10^{-28}	г
Отношение масс электрона и протона	$r_{\pi\mathrm{ep}}$	$r_{\pi\mathrm{ep}} = m_{\mathrm{e}} / m_{\mathrm{p}}$	5,446 170 218 699 091 x 10^{-4}	
Масса протона	$m_{\pi\mathrm{p}}$	$m_{\pi\mathrm{p}} = m_{\pi\mathrm{e}} / r_{\mathrm{ep}}$	1,672 621 669 8229 x 10^{-24}	г
Комптоновская длина волны протона	$\lambda_{\pi\mathrm{C,p}}$	$\lambda_{\pi\mathrm{C,p}} = r_{\mathrm{ep}}\cdot\lambda_{\pi\mathrm{C}}$	1,321 409 857 4420 x 10^{-13}	см
Отношение масс электрона и нейтрона	$r_{\pi\mathrm{en}}$	$r_{\pi\mathrm{en}} = m_{\mathrm{e}} / m_{\mathrm{n}}$	5,438 673 446 906 119 x 10^{-4}	
Масса нейтрона	$m_{\pi\mathrm{n}}$	$m_{\pi\mathrm{n}} = m_{\pi\mathrm{e}} / r_{\mathrm{en}}$	1,674 927 243 6135 x 10^{-24}	г
Комптоновская длина волны нейтрона	$\lambda_{\pi\mathrm{C,n}}$	$\lambda_{\pi\mathrm{C,n}} = r_{\mathrm{en}}\cdot\lambda_{\pi\mathrm{C}}$	1,319 590 908 0246 x 10^{-13}	см
Отношение масс нейтрона и протона	$r_{\pi\mathrm{np}}$	$r_{\pi\mathrm{np}} = r_{\pi\mathrm{ep}} / r_{\pi\mathrm{en}}$	1,001 378 419 179 999	
Отношение магнитных моментов протона и нейтрона	$r_{\pi\mu,\mathrm{pn}}$	$r_{\pi\mu,\mathrm{pn}} = \mu_{\mathrm{p}} / \mu_{\mathrm{n}}$	-1,459 898 124 622 978	
Постоянная масштабной инвариантности	ψ_{π}	$\psi_{\pi} = \kappa_{\pi e}^{6}\cdot f_{\pi s}^{3}\cdot 8\pi^{6} / \sqrt{\pi}$	1,669 642 831 928 814 x 10^{-23}	

Наименование	Символ	Формула (Пи-Теория)	Значение (СГС)	Ед. СГС
1	2	3	4	5
Планковская длина	$l_{\pi\mathrm{P}}$	$l_{\pi\mathrm{P}} = \lambda_{\pi\mathrm{C}} \cdot \psi_\pi / \sqrt{2\pi}$	1,616 143 702 8696 x 10^{-33}	см
Планковская масса	$m_{\pi\mathrm{P}}$	$m_{\pi\mathrm{P}} = m_{\pi\mathrm{e}} / \sqrt{2\pi} \cdot \psi_\pi$	2,176 583 930 6611 x 10^{-5}	г
Планковское время	$t_{\pi\mathrm{P}}$	$t_{\pi\mathrm{P}} = l_{\pi\mathrm{P}} / c$	5,390 875 119 5790 x 10^{-44}	с
Квант циркуляции	$q_{\pi c}$	$q_{\pi c} = \lambda_{\pi\mathrm{C}} \cdot c$	7,273 895 109 4073	см^2 с$^{-1}$
Постоянная Планка	h_π	$h_\pi = m_{\pi\mathrm{e}} \cdot \lambda_{\pi\mathrm{C}} \cdot c$	6,626 069 154 6014 x 10^{-27}	г см^2 с$^{-1}$
Элементарный заряд	e_π	$e_\pi = \left(\kappa_{\pi e} \cdot h_\pi \cdot c\right)^{1/2}$	4,803 204 354 1649 x 10^{-10}	г$^{1/2}$ см$^{3/2}$ с$^{-1}$
Гравитационная постоянная Ньютона	G_π	$G_\pi = \hbar_\pi \cdot c / m_{\pi\mathrm{P}}^2$	6,673 381 632 9142 x 10^{-8}	г$^{-1}$ см^3 с$^{-2}$
Постоянная Авогадро	$N_{\pi\mathrm{A}}$	$N_{\pi\mathrm{A}} = 1 / m_{\pi u}$	6,022 140 379 0140 x 10^{23}	г$^{-1}$

Таблица 3. В соответствии с перечнем данных табл. 2 приведены значения ФФК, рекомендованных CODATA (2010) для международного использования - публикация на сайте NIST по адресу: http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html; результаты расчетов из табл. 2; результаты сравнения данных представлены в столбце (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
α	7,297 352 5698(24) x 10^{-3}	3,2 x 10^{-10}	α_π	7,297 352 572 519 857 x 10^{-3}	3,7 x 10^{-10}
a_e	1,159 652 180 76(27) x 10^{-3}	2,3 x 10^{-10}	$a_{\pi\mathrm{e}}$	1,159 652 180 787 572 x 10^{-3}	0,2 x 10^{-10}
λ_C	2,426 310 2389(16) x 10^{-10}	6,5 x 10^{-10}	$\lambda_{\pi\mathrm{C}}$	2,426 310 240 7357 x 10^{-10}	7,5 x 10^{-10}
r_e	2,817 940 3267(27) x 10^{-13}	9,7 x 10^{-10}	$r_{\pi\mathrm{e}}$	2,817 940 329 8407 x 10^{-13}	11,1 x 10^{-10}
a_0	0,529 177 210 92(17) x 10^{-8}	3,2 x 10^{-10}	$a_{\pi 0}$	0,529 177 211 1187 x 10^{-8}	3,7 x 10^{-10}
m_e	9,109 382 91(40) x 10^{-28}	4,4 x 10^{-8}	$m_{\pi\mathrm{e}}$	9,109 382 325 3402 x 10^{-28}	–6,4 x 10^{-8}
$m_\mathrm{e} / m_\mathrm{p}$	5,446 170 2178(22) x 10^{-4}	4,1 x 10^{-10}	$r_{\pi\mathrm{ep}}$	5,446 170 218 699 091 x 10^{-4}	1,6 x 10^{-10}
m_p	1,672 621 777(74) x 10^{-24}	4,4 x 10^{-8}	$m_{\pi\mathrm{p}}$	1,672 621 669 8229 x 10^{-24}	–6,4 x 10^{-8}
$\lambda_{\mathrm{C,p}}$	1,321 409 856 23(94) x 10^{-13}	7,1 x 10^{-10}	$\lambda_{\pi\mathrm{C,p}}$	1,321 409 857 4420 x 10^{-13}	9,1 x 10^{-10}
$m_\mathrm{e} / m_\mathrm{n}$	5,438 673 4461(32) x 10^{-4}	5,8 x 10^{-10}	$r_{\pi\mathrm{en}}$	5,438 673 446 906 119 x 10^{-4}	1,4 x 10^{-10}
m_n	1,674 927 351(74) x 10^{-24}	4,4 x 10^{-8}	$m_{\pi\mathrm{n}}$	1,674 927 243 6135 x 10^{-24}	–6,4 x 10^{-8}
$\lambda_{\mathrm{C,n}}$	1,319 590 9068(11) x 10^{-13}	8,2 x 10^{-10}	$\lambda_{\pi\mathrm{C,n}}$	1,319 590 908 0246 x 10^{-13}	9,2 x 10^{-10}
$m_\mathrm{n} / m_\mathrm{p}$	1,001 378 419 17(45)	4,5 x 10^{-10}	$r_{\pi\mathrm{np}}$	1,001 378 419 179 999	0,1 x 10^{-10}
$\mu_\mathrm{p} / \mu_\mathrm{n}$	–1,459 898 06(34)	2,4 x 10^{-7}	$r_{\pi\mu,\mathrm{pn}}$	–1,459 898 124 622 978	0,4 x 10^{-7}
l_P	1,616 199(97) x 10^{-33}	6,0 x 10^{-5}	$l_{\pi\mathrm{P}}$	1,616 143 702 8696 x 10^{-33}	–3,4 x 10^{-5}
m_P	2,176 51(13) x 10^{-5}	6,0 x 10^{-5}	$m_{\pi\mathrm{P}}$	2,176 583 930 6611 x 10^{-5}	3,4 x 10^{-5}
t_P	5,391 06(32) x 10^{-44}	6,0 x 10^{-5}	$t_{\pi\mathrm{P}}$	5,390 875 119 5790 x 10^{-44}	–3,4 x 10^{-5}
h / m_e	7,273 895 1040(47)	6,5 x 10^{-10}	$q_{\pi c}$	7,273 895 109 4073	7,4 x 10^{-10}
h	6,626 069 57(29) x 10^{-27}	4,4 x 10^{-8}	h_π	6,626 069 154 6014 x 10^{-27}	–6,2 x 10^{-8}
e	4,803 204 27(12) x 10^{-10}	2,5 x 10^{-8}	e_π	4,803 204 354 1649 x 10^{-10}	–1,7 x 10^{-8}
G	6,673 84(80) x 10^{-8}	1,2 x 10^{-4}	G_π	6,673 381 632 9142 x 10^{-8}	0,6 x 10^{-4}
N_A	6,022 141 29(27) x 10^{23}	4,4 x 10^{-8}	$N_{\pi\mathrm{A}}$	6,022 140 379 0140 x 10^{23}	15,1 x 10^{-8}

На основании вышеизложенного, представляется верным предположить, что предлагаемый аналитический метод высокоточного определения значений фундаментальных физических констант позволит выйти из теоретического тупика в области фундаментальной метрологии.