

Аналитический метод для высокоточного определения значений фундаментальных физических констант

© В.Б. Смоленский 2014

В рамках созданной автором этой статьи Пи-Теории фундаментальных физических констант излагается принципиально новый аналитический метод для высокоточного определения значений фундаментальных физических констант. Представлены формулы и результаты аналитических расчетов. Представлены выборочные данные CODATA 2010 года и результаты их сравнения с расчетами. Приведен анализ проблем теоретического определения численного значения постоянной тонкой структуры.

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

$$z = x + y. \quad (1)$$

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

$$\alpha = a_e + y. \quad (2)$$

Из (2) следует, что

$$y = \alpha - a_e \quad (3)$$

и тогда (2) можно записать в виде

$$\alpha = a_e + (\alpha - a_e). \quad (4)$$

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

$$\alpha(a_e) = a_e + (\alpha - a_e) \quad (5)$$

или в виде

$$\alpha(a_e) = a_e + (\alpha - a_e). \quad (6)$$

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

$$\alpha(a_e) = a_e + \Delta, \quad (7)$$

тогда

$$\Delta = \alpha(a_e) - a_e. \quad (8)$$

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:

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

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

$$\lambda_C = \alpha^2 / 2 \cdot R_\infty. \quad (10)$$

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

Запишем (9) относительно h :

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

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

$$h = m_e \cdot (\lambda_C \cdot c). \quad (12)$$

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

$$a_{\pi e} = \kappa_{\pi e} - \Delta_{\pi a} \quad (13)$$

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 :

$$\kappa_x = a_e + \Delta_{\pi a}. \quad (14)$$

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

$$\alpha_x = 2\pi \cdot \kappa_x. \quad (15)$$

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

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

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)
<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 тонкой структуры	α_{π}	7,297 352 572 519 857 423 545 858 624 x 10 ⁻³
Аномалия магнитного момента электрона	$a_{\pi e}$	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	$r_{\pi ep}$	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
Отношение магнитных моментов протона и нейтрона	$r_{\pi \mu, pn}$	-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 $R_{\infty} = 1,097\,373\,156\,8539(55) \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$; (CODATA 2010); скорость света $c = 2,99792458 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$; поверхностная плотность массы электрона ρ_{Se} , численное значение 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 x 10 ⁻³	
Аномалия магнитного момента электрона	$a_{\pi e}$	$a_{\pi e} = \kappa_{\pi e} - \Delta_{\pi a}$	1,159 652 180 787 572 x 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 x 10 ⁻¹⁰	см
Классический радиус электрона	$r_{\pi e}$	$r_{\pi e} = \kappa_{\pi e} \cdot \lambda_{\pi C}$	2,817 940 329 8407 x 10 ⁻¹³	см
Радиус Бора	$a_{\pi 0}$	$a_{\pi 0} = \lambda_{\pi C} / 2\pi \cdot \alpha_{\pi}$	0,529 177 211 1187 x 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 x 10 ⁻²⁸	г
Отношение масс электрона и протона	$r_{\pi ep}$	$r_{\pi ep} = m_e / m_p$	5,446 170 218 699 091 x 10 ⁻⁴	
Масса протона	$m_{\pi p}$	$m_{\pi p} = m_{\pi e} / r_{\pi ep}$	1,672 621 669 8229 x 10 ⁻²⁴	г
Комптоновская длина волны протона	$\lambda_{\pi C, p}$	$\lambda_{\pi C, p} = r_{\pi ep} \cdot \lambda_{\pi C}$	1,321 409 857 4420 x 10 ⁻¹³	см
Отношение масс электрона и нейтрона	$r_{\pi en}$	$r_{\pi en} = m_e / m_n$	5,438 673 446 906 119 x 10 ⁻⁴	
Масса нейтрона	$m_{\pi n}$	$m_{\pi n} = m_{\pi e} / r_{\pi en}$	1,674 927 243 6135 x 10 ⁻²⁴	г
Комптоновская длина волны нейтрона	$\lambda_{\pi C, n}$	$\lambda_{\pi C, n} = r_{\pi en} \cdot \lambda_{\pi C}$	1,319 590 908 0246 x 10 ⁻¹³	см
Отношение масс нейтрона и протона	$r_{\pi np}$	$r_{\pi np} = r_{\pi ep} / r_{\pi en}$	1,001 378 419 179 999	

Наименование	Символ	Формула (Пи-Теория)	Значение (СГС)	Ед. СГС
1	2	3	4	5
Отношение магнитных моментов протона и нейтрона	$r_{\mu, \text{pn}}$	$r_{\mu, \text{pn}} = \mu_p / \mu_n$	-1,459 898 124 622 978	
Постоянная масштабной инвариантности	ψ_π	$\psi_\pi = \kappa_{\pi e}^6 \cdot f_{\pi s}^3 \cdot 8\pi^6 / \sqrt{\pi}$	$1,669\ 642\ 831\ 928\ 814 \times 10^{-23}$	
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	$h_\pi = m_{\pi e} \cdot \lambda_{\pi C} \cdot c$	$6,626\ 069\ 154\ 6014 \times 10^{-27}$	$\text{г см}^2 \text{с}^{-1}$
Элементарный заряд	e_π	$e_\pi = (\kappa_{\pi e} \cdot h_\pi \cdot c)^{1/2}$	$4,803\ 204\ 354\ 1649 \times 10^{-10}$	$\frac{\text{г}^{1/2} \text{см}^{3/2}}{\text{с}^{-1}}$
Гравитационная постоянная Ньютона	G_π	$G_\pi = \hbar_\pi \cdot c / m_{\pi P}^2$	$6,673\ 381\ 632\ 9142 \times 10^{-8}$	$\text{г}^{-1} \text{см}^3 \text{с}^{-2}$
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 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	$7,297\ 352\ 5698(24) \times 10^{-3}$	$3,2 \times 10^{-10}$	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)	$2,4 \times 10^{-7}$	$r_{\mu, \text{pn}}$	-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	$4,803\ 204\ 354\ 1649 \times 10^{-10}$	$-1,7 \times 10^{-8}$

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
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	$6,022\ 141\ 29(27) \times 10^{23}$	$4,4 \times 10^{-8}$	$N_{\pi A}$	$6,022\ 140\ 379\ 0140 \times 10^{23}$	$15,1 \times 10^{-8}$

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