

О точности взаимных расчётов физических постоянных

(Вспомогательная работа к работе «Фундаментальная симметрия мира
в соотношениях между физическими постоянными»)

Введение

Одной из возможностей получения новых научных данных является увеличение точности расчётов, опирающихся на физические постоянные. Физические постоянные, в свою очередь, определяются со всё более высокой точностью, однако их уточнение сопряжено с использованием значительных ресурсов, поскольку оборудование, на котором производятся такие работы, находится на пределе технологических возможностей.

В отдельных случаях, например, в работе [«Высокоточная фундаментальная симметрия мира в соотношениях между физическими постоянными»](#), от точности взаимных расчётов физических постоянных зависит, какая концепция симметрии мира имеет место: примерная или высокоточная (абсолютная).

Для того, чтобы оценить, можно увеличить точность взаимных расчётов физических постоянных, необходимо проверить, насколько самосогласованы значения набора постоянных, даваемых CODATA за 2010 г.

Будем исходить из того, что за прошедшее с момента опубликования гипотезы больших чисел Дирака время так и не появилось абсолютно надёжных данных, говорящих о зависимости величин физических постоянных от времени, а, следовательно, нет достаточных оснований считать физические формулы, связывающие все известные постоянные друг с другом, неточными.

Расчёт относительной точности постоянных CODATA

Проведём анализ следующим образом. Каждая табличная постоянная CODATA имеет допустимое абсолютное отклонение (неопределённость), также определяемую CODATA. Например, значение, даваемое для постоянной тонкой структуры α таково: $7,2973525698 \cdot 10^{-3}$, а возможное отклонение: $2,4 \cdot 10^{-12}$, т.е. 24 единицы последнего разряда.

Возьмём постоянные, даваемые CODATA, и формулы для этих же самых постоянных, где они выражены через другие постоянные. Подставим в формулы постоянные CODATA и сравним значения вычисленных постоянных с табличными значениями этих же постоянных, даваемых CODATA. Анализ, проведённый по целому ряду ключевых постоянных, даст нам возможность оценить общую картину совпадения расчётных результатов с табличными данными CODATA.

Все расчёты производились в приложении MS Excel, которое в явном виде поддерживает мантиссу числа длиной 15 разрядов, плюс минимум один скрытый разряд. Достигнутая в этих и последующих расчётах относительная точность на уровне порядка 10^{-16} объясняется и ограничена именно этим. CODATA в 2010 году даёт следующие значения и их возможные отклонения (неопределённость) для физических постоянных:

Таблица 1

Значения физических постоянных, даваемых CODATA в 2010 году

Физическая постоянная	Значение	Неопределённость (допуск)
Заряд электрона e , Кл	$1,602176565 \cdot 10^{-19}$	$0,000000035 \cdot 10^{-19}$
Масса электрона m_e , кг	$9,10938291 \cdot 10^{-31}$	$0,000000040 \cdot 10^{-31}$
Радиус электрона r_e , м	$2,8179403267 \cdot 10^{-15}$	$0,0000000027 \cdot 10^{-15}$
Скорость света c , м/с	$2,99792458 \cdot 10^8$	точно
Электрическая постоянная ϵ_0 , Ф/м	$8,854187817 \cdot 10^{-12}$	точно
Магнитная постоянная μ_0 , Н/А ²	$1,2566370614 \cdot 10^{-6}$	точно
Постоянная гравитации G , м ³ кг ⁻¹ с ⁻²	$6,67384 \cdot 10^{-11}$	$0,00080 \cdot 10^{-11}$
Постоянная тонкой структуры α	$7,2973525698 \cdot 10^{-3}$	$0,0000000024 \cdot 10^{-3}$
Постоянная Планка: h , Дж·с	$6,62606957 \cdot 10^{-34}$	$0,000000029 \cdot 10^{-34}$
Постоянная Планка / 2π : \hbar , Дж·с	$1,054571726 \cdot 10^{-34}$	$0,000000047 \cdot 10^{-34}$
Комптоновская длина волны электрона λ_c , м	$2,4263102389 \cdot 10^{-12}$	$0,0000000016 \cdot 10^{-12}$
Постоянная Ридберга R_∞ , м ⁻¹	$1,0973731568539 \cdot 10^7$	$0,0000000000055 \cdot 10^7$
Боровский радиус a_0 , м	$5,2917721092 \cdot 10^{-11}$	$0,0000000017 \cdot 10^{-11}$
Магнетон Бора μ_B , Дж/Тл	$9,27400968 \cdot 10^{-24}$	$0,000000020 \cdot 10^{-24}$
Планковская масса m_p , кг	$2,17651 \cdot 10^{-8}$	$0,00013 \cdot 10^{-8}$
Планковская длина l_p , м	$1,616199 \cdot 10^{-35}$	$0,000097 \cdot 10^{-35}$

Первое, что обращает на себя внимание, это то, что значения скорости света, электрической и магнитной постоянных заданы «точно». Это означает, что их значения определены конвенционально. Конвенция – несомненно, полезная вещь. Однако в отдельных случаях её применение приводит к нежелательным последствиям. Поясним, что имеется в виду.

Известно, что указанные выше как «точные», постоянные связаны между собой единой формулой и взаимно ею определяются:

$$c^2 = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}$$

Это означает, что если мы две постоянные из трёх определим как точные, третья постоянная, чтобы её точность была реальной, а не конвенциональной, должна определяться по формуле, связывающей эти три постоянные. Тогда точность и первых двух постоянных,

определяемых конвенционально, и третьей, вычисляемой по формуле, будет *реальной* и из трёх разрозненных постоянных получится *самосогласованная система постоянных*. В данном случае система из трёх постоянных. При этом было бы правильно, если бы количество разрядов третьей постоянной давалось бы с запасом, чтобы каждый мог самостоятельно ограничивать количество используемых в расчётах разрядов в соответствии с его потребностями.

Если же мы и третью постоянную определим как «точную» конвенционально, то таким образом мы не только сделаем её неточной на величину отброшенных разрядов, но и две первые «точные» постоянные неизбежно станут неточными, как только они будут вычислены по формуле с участием двух других постоянных. Т.е. значения этих постоянных, определяемые по формуле, и их табличные значения всегда будут отличаться на величину их истинной неопределённости, которая никуда не делась, а лишь стала неявной. Действительно, табличное значения $\mu_0 = 1,2566370614 \cdot 10^{-06}$ (точно).

$$\text{При этом вычисленное значение } \mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c^2} = 1,25663706152397\dots \cdot 10^{-06}$$

Абсолютная разница между табличным и вычисленным значением равна: $\Delta\mu_0 = 0,00000000012397 \cdot 10^{-06}$. Относительная точность – около $9,9 \cdot 10^{-11}$. Таким образом, относительная точность табличного значения магнитной постоянной по отношению к её значению, вычисленному по формуле, находится на уровне 10^{-10} . Много это или мало? Всё зависит от теории. Как уже было сказано выше, иногда такая неточность не позволяет сделать вывод о принадлежности теоретической модели той или иной концепции.

Мы живём в компьютерный век и высокая разрядность постоянных давно не является бременем. Поэтому, относительная неточность на уровне 10^{-10} – это немало, особенно, если учесть, что мы получаем её там, где она может быть на много порядков меньше.

Далее, магнитная постоянная имеет собственное определение, не зависящее от скорости света и электрической постоянной: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (точно). Откуда следует, что электрическая постоянная может быть выражена только через скорость света: $\epsilon_0 = \frac{1}{10^{-7}4\pi c^2}$. Таким образом, из трёх вышеуказанных постоянных, только скорость света, как и магнитная постоянная, может быть определена конвенционально без потери точности.

Теперь посмотрим на относительные точности, получаемые для других постоянных (Таблица 2). Порядок получаем примерно на том же уровне или хуже.

В последней колонке Таблицы 2 приведены результаты оценки соответствия расчётных значений постоянных с использованием в формулах значений CODATA с допуском на отклонение, даваемым CODATA. Доля от допуска (колонка б) показывает относительную величину отклонений расчётных значений от значений, даваемых CODATA в долях допуска,

даваемых CODATA. Доля от допуска, равная одной единице, говорит о том, что постоянная отличается от значения CODATA на величину допуска, даваемого CODATA.

Таблица 2

Соответствие между физическими постоянными, даваемыми CODATA, и вычисленными по формулам

1	2	3	4	5	6
Кон- стан- та	Значение постоянной CODATA	Формула для расчёта постоянной	Значение по формуле с постоянными CODATA	Относительная точность	Доля от допуска CODATA
e	$1,602176565 \cdot 10^{-19}$	$e = \sqrt{2h\alpha / \mu_0 c}$	$1,60217656439643 \cdot 10^{-19}$	$3,8 \cdot 10^{-10}$	0,02
m_e	$9,10938291 \cdot 10^{-31}$	$m_e = e^2 / 4\pi\epsilon_0 c^2 r_e$	$9,10938291096164 \cdot 10^{-31}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$	0,00
r_e	$2,8179403267 \cdot 10^{-15}$	$r_e = e^2 / 4\pi\epsilon_0 c^2 m_e$	$2,81794032680003 \cdot 10^{-15}$	$3,5 \cdot 10^{-11}$	0,04
c	$2,99792458 \cdot 10^8$	$c = \sqrt{1 / \mu_0 \epsilon_0}$	$2,99792458014787 \cdot 10^8$	$4,9 \cdot 10^{-11}$	–
ϵ_0	$8,854187817 \cdot 10^{-12}$	$\epsilon_0 = 1 / \mu_0 c^2$	$8,85418781787346 \cdot 10^{-12}$	$9,9 \cdot 10^{-11}$	–
μ_0	$1,2566370614 \cdot 10^{-6}$	$\mu_0 = 1 / \epsilon_0 c^2$	$1,25663706152397 \cdot 10^{-6}$	$9,9 \cdot 10^{-11}$	–
G	$6,67384 \cdot 10^{-11}$	$G = \hbar c / m_p^2$	$6,67383541974211 \cdot 10^{-11}$	$6,9 \cdot 10^{-7}$	0,01
α	$7,2973525698 \cdot 10^{-3}$	$\alpha = e^2 c \mu_0 / 2h$	$7,29735257531445 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-10}$	2,30
h	$6,62606957 \cdot 10^{-34}$	$h = e^2 \mu_0 c / 2\alpha$	$6,62606957542 \cdot 10^{-34}$	$8,2 \cdot 10^{-10}$	0,00
\hbar	$1,054571726 \cdot 10^{-34}$	$\hbar = e^2 / 4\pi\epsilon_0 \alpha c$	$1,05457172623724 \cdot 10^{-34}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$	0,01
λ_c	$2,4263102389 \cdot 10^{-12}$	$\lambda_c = 2\pi r_e / \alpha$	$2,42631023893038 \cdot 10^{-12}$	$1,3 \cdot 10^{-11}$	0,02
R_∞	$1,0973731568539 \cdot 10^7$	$R_\infty = \alpha^2 m_e c / 2h$	$1,09737315933014 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^{-9}$	450,23
a_0	$5,2917721092 \cdot 10^{-11}$	$a_0 = \hbar / m_e \alpha c$	$5,29177210860169 \cdot 10^{-11}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$	0,35
μ_B	$9,27400968 \cdot 10^{-24}$	$\mu_B = e\hbar / 2m_e$	$9,27400967882248 \cdot 10^{-24}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$	0,01
m_{pl}	$2,17651 \cdot 10^{-8}$	$m_p = \sqrt{\hbar c / G}$	$2,17650925313022 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	0,01
l_{pl}	$1,616199 \cdot 10^{-35}$	$l_p = \sqrt{\hbar G / c^3}$	$1,61619925621192 \cdot 10^{-35}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	0,00

Обращает на себя внимание тот факт, что доля от допуска CODATA для постоянной тонкой структуры и, особенно, для постоянной Ридберга, вычисленных по формулам, выходят за пределы, указанные CODATA. Для постоянной тонкой структуры отклонение больше рекомендованного в 2,3 раза, а для постоянной Ридберга – в 450 раз! Налицо не только очень низкая относительная точность гравитационной постоянной G , массы Планка m_{pl} и длины Планка l_{pl} на уровне 10^{-7} (колонка «Относительная точность»), что хорошо известно, но и выход расчётных значений двух ранее упомянутых постоянных далеко за рекомендованные пределы отклонений, даваемых CODATA.

Нельзя забывать и о том, что при использовании набора постоянных CODATA относительная точность одной и той же физической постоянной, вычисленной по различным формулам, будет различной. См. таблицу 3.

Зависимость относительной точности величины боровской орбиты от формулы

Постоянная	Значение постоянной по данным CODATA	Формула для расчёта постоянной	Значение по формуле с постоянными CODATA	Относительная точность
a_0	$5,2917721092 \cdot 10^{-11}$	$a_0 = r_e^2 / \alpha$	$5,29177210923352 \cdot 10^{11}$	$6,3 \cdot 10^{-12}$
a_0	$5,2917721092 \cdot 10^{-11}$	$a_0 = \hbar / m_e \alpha c$	$5,29177210860169 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$
a_0	$5,2917721092 \cdot 10^{-11}$	$\alpha_0 = 4\pi\epsilon_0 \hbar^2 / m_e e^2$	$5,29177210741124 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{-10}$

Выявленные несоответствия объясняются тем, что постоянные, даваемые CODATA, – это набор значений, полученных после обработки экспериментальных данных, который не представляет собой законченной системы. Такой подход оправдан в рамках гипотезы о непостоянстве физических постоянных во времени, т.е. если считать, что известные физические формулы, связывающие между собой все постоянные, могут быть неточными.

Разумеется, для большинства расчётов точности, даваемой CODATA вполне достаточно. Но есть и будут сферы исследований, где точности много не бывает. А в некоторых случаях она – залог возможности получения новых знаний о мире.

Настройка относительной точности постоянных CODATA

Метод увеличения точности взаимного расчёта постоянных лежит в направлении создания *самосогласованной системы постоянных*. При этом ожидается, что относительная точность полученных значений постоянных во взаимных расчётах будет на уровне, существенно превосходящем относительную точность постоянных CODATA.

Оставим максимальное количество ключевых постоянных равными значениям, даваемым CODATA. Такими постоянными могут быть, например, заряд электрона e , масса электрона m_e , скорость света c , постоянная гравитации G и постоянная Планка \hbar . Запишем их в колонку «Значение CODATA». Остальные постоянные запишем не в виде их значений CODATA, а в виде значений, полученных по формулам, использующим указанные выше постоянные, значения которых даны CODATA (колонка «Значение по формуле 1»).

В колонке «Значение по формуле 2» запишем формулы для всех постоянных. Для тех постоянных, которые в предыдущей колонке были рассчитаны по формулам, в этой колонке используем или другие формулы, или значения уже вычисленных постоянных, взятые из этой же колонки («Значение по формуле 2»). Этим самым мы получим комбинированную систему, когда значения постоянных могут быть получены как на основании данных CODATA, так и на основании расчётов по различным формулам, в том числе использующим результаты предыдущих расчётов.

На основании значений одной и той же постоянной, полученной различными способами, мы сможем сделать вывод об относительной точности постоянных, полученных комбинированным способом, когда базовая часть постоянных взята из CODATA, а остальные рассчитаны по известным формулам.

Как можно видеть из таблицы 4, относительная точность постоянных, полученных комбинированным способом, на 5-9 порядков выше, чем относительная точность постоянных CODATA в чистом виде.

Таблица 4

Относительная точность постоянных, полученных комбинированным способом

Постоянная	Значение постоянной по данным CODATA	Формулы для расчёта постоянной	Значение по формуле 1	Значение по формуле 2	Относительная точность
e	$1,602176565 \cdot 10^{-19}$	$e = \sqrt{2h\alpha / \mu_0 c}$		$1,60217656500000 \cdot 10^{-19}$	$< 10^{-16}$
m_e	$9,10938291 \cdot 10^{-31}$	$m_e = e^2 / 4\pi\epsilon_0 c^2 r_e$		$9,10938291000000 \cdot 10^{-31}$	$< 10^{-16}$
r_e		$r_e = e^2 / 4\pi\epsilon_0 c^2 m_e$ $r_e = \lambda_c \alpha / 2\pi$	$2,81794032680003 \cdot 10^{-15}$	$2,81794032680003 \cdot 10^{-15}$	$< 10^{-16}$
c	$2,99792458 \cdot 10^8$	$c = \sqrt{1 / \mu_0 \epsilon_0}$	$2,99792458000000 \cdot 10^8$		$< 10^{-16}$
ϵ_0		$\epsilon_0 = 1 / \mu_0 c^2$ $\epsilon_0 = e^2 / 4\pi\alpha\hbar c$	$8,85418781762040 \cdot 10^{-12}$	$8,85418781762040 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-16}$
μ_0		$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ $\mu_0 = 1 / \epsilon_0 c^2$	$1,25663706143592 \cdot 10^{-6}$	$1,25663706143592 \cdot 10^{-6}$	$< 10^{-16}$
G	$6,67384 \cdot 10^{-11}$	$G = \hbar c / m_p^2$		$6,67384000000000 \cdot 10^{-11}$	$< 10^{-16}$
α		$\alpha = e^2 c \mu_0 / 2h$ $\alpha = e^2 / 4\pi\epsilon_0 \hbar c$	$7,29735257552301 \cdot 10^{-3}$	$7,29735257552301 \cdot 10^{-3}$	$< 10^{-16}$
h	$6,62606957 \cdot 10^{-34}$	$h = e^2 \mu_0 c / 2\alpha$		$6,62606957000000 \cdot 10^{-34}$	$< 10^{-16}$
\hbar		$\hbar = e^2 / 4\pi\epsilon_0 \alpha c$ $\hbar = a_0 m_e c \alpha$	$1,05457172533629 \cdot 10^{-34}$	$1,05457172533629 \cdot 10^{-34}$	$2 \cdot 10^{-16}$
λ_c		$\lambda_c = h / m_e c$ $\lambda_c = 2\pi r_e / \alpha$	$2,42631023711908 \cdot 10^{-12}$	$2,42631023711908 \cdot 10^{-12}$	$< 10^{-16}$
R_∞		$R_\infty = \alpha^2 m_e c / 2h$ $R_\infty = m_e e^4 / 8\epsilon_0^2 h^3 c$	$1,09737315939287 \cdot 10^7$	$1,09737315939287 \cdot 10^7$	$< 10^{-16}$
a_0		$a_0 = \hbar^2 / k e^2 m_e$ $a_0 = \hbar / m_e \alpha c$	$5,29177210112112 \cdot 10^{-11}$	$5,29177210112112 \cdot 10^{-11}$	10^{-16}
μ_B		$\mu_B = e\hbar / 2m_e$	$9,27400967298575 \cdot 10^{-24}$	$9,27400967298575 \cdot 10^{-24}$	$3 \cdot 10^{-16}$
m_{pl}		$m_p = \sqrt{\hbar c / G}$	$2,17650925244531 \cdot 10^{-8}$	$2,17650925244531 \cdot 10^{-8}$	$< 10^{-16}$
l_{pl}		$l_p = \sqrt{\hbar G / c^3}$	$1,61619925570334 \cdot 10^{-35}$	$1,61619925570334 \cdot 10^{-35}$	$< 10^{-16}$

С целью преимущества результатов расчётов, полученных с применением данных CODATA и данных комбинированной системы, для новой системы желательно, чтобы значения её постоянных были как можно ближе к значениям, даваемым CODATA. Проверим, насколько постоянные комбинированной системы на этом этапе близки к значениям постоянных CODATA. Результат – в последней колонке Таблицы 5, значения которой показывают, выходят ли значения постоянных за пределы допуска, даваемого CODATA.

Таблица 5

Постоянная	Значение постоянной по данным CODATA	Значение постоянной в комбинированной системе	Абсолютное отклонение (разница)	Допуск по CODATA	Доля от допуска CODATA
e	$1,602176565 \cdot 10^{-19}$	$1,602176565 \cdot 10^{-19}$	$0,0 \cdot 10^0$	$3,5 \cdot 10^{-27}$	0,00
m_e	$9,10938291 \cdot 10^{-31}$	$9,10938291 \cdot 10^{-31}$	$0,0 \cdot 10^0$	$4,0 \cdot 10^{-38}$	0,00
r_e	$2,8179403267 \cdot 10^{-15}$	$2,81794032680003 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-25}$	$2,7 \cdot 10^{-24}$	0,04
c	$2,99792458 \cdot 10^8$	$2,99792458 \cdot 10^8$	$0,0 \cdot 10^0$	(exact)	
ϵ_0	$8,854187817 \cdot 10^{-12}$	$8,85418781762040 \cdot 10^{-12}$	$6,2 \cdot 10^{-22}$	(exact)	
μ_0	$1,2566370614 \cdot 10^{-6}$	$1,25663706143592 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-17}$	(exact)	
G	$6,67384 \cdot 10^{-11}$	$6,67384 \cdot 10^{-11}$	$0,0 \cdot 10^0$	$8,0 \cdot 10^{-15}$	0,00
α	$7,2973525698 \cdot 10^{-3}$	$7,29735257552301 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-12}$	$2,4 \cdot 10^{-12}$	2,38
h	$6,62606957 \cdot 10^{-34}$	$6,62606957 \cdot 10^{-34}$	$0,0 \cdot 10^0$	$2,9 \cdot 10^{-41}$	0,00
\hbar	$1,054571726 \cdot 10^{-34}$	$1,05457172533629 \cdot 10^{-34}$	$6,6 \cdot 10^{-44}$	$4,7 \cdot 10^{-42}$	0,01
λ_c	$2,4263102389 \cdot 10^{-12}$	$2,42631023711908 \cdot 10^{-12}$	$1,8 \cdot 10^{-21}$	$1,6 \cdot 10^{-21}$	1,11
R_∞	$1,0973731568539 \cdot 10^7$	$1,09737315939287 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	461,63
a_0	$5,2917721092 \cdot 10^{-11}$	$5,29177210112112 \cdot 10^{-11}$	$8,1 \cdot 10^{-20}$	$1,7 \cdot 10^{-20}$	4,75
μ_B	$9,27400968 \cdot 10^{-24}$	$9,27400967298575 \cdot 10^{-24}$	$7,0 \cdot 10^{-33}$	$2,0 \cdot 10^{-31}$	0,04
m_{pl}	$2,17651 \cdot 10^{-8}$	$2,17650925244531 \cdot 10^{-8}$	$7,5 \cdot 10^{-15}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$	0,01
l_{pl}	$1,616199 \cdot 10^{-35}$	$1,61619925570334 \cdot 10^{-35}$	$2,6 \cdot 10^{-42}$	$9,7 \cdot 10^{-40}$	0,00

Соответствие постоянных комбинированной системы постоянным CODATA

Как видно из таблицы, комбинированная система даёт постоянные, отклонения которых от постоянных CODATA примерно соответствуют отклонениям самих постоянных CODATA (см. соответствующую колонку Таблицы 2). Однако в предыдущем случае нас такая точность не устраивала. Не устраивает она нас и сейчас.

Попробуем найти постоянную из числа тех постоянных CODATA, которые мы оставили без изменения, коррекция которой в пределах её допустимого CODATA отклонения позволит сделать отклонения всех остальных постоянных допустимыми.

Такой постоянной оказывается постоянная Планка. Её изменение всего лишь на 0,02 (2%) от допустимого отклонения CODATA позволяет ввести все постоянные комбинированной системы в допуски, даваемые CODATA. При этом относительная точность постоянных

комбинированной системы с коррекцией постоянной Планка, полученных по различным формулам, находится на уровне 10^{-16} , что на 5-9 порядков лучше относительной точности постоянных CODATA. Результат представлен в Таблице 6.

Таблица 6

Соответствие постоянных комбинированной системы с коррекцией постоянной Планка постоянным CODATA 2010г.

1	2	3	4	5	6	7
Постоянная	Значение постоянной по данным CODATA	Значение постоянной в комбинированной системе с коррекцией постоянной Планка	Относительная точность постоянных комбинированной системы	Абсолютное отклонение постоянных системы от постоянных CODATA	Допуск на абсолютное отклонение постоянной по CODATA	Относительное отклонение постоянных системы от допуска CODATA
e	$1,602176565 \cdot 10^{-19}$	$1,602176565 \cdot 10^{-19}$	$< 10^{-16}$	$0,0 \cdot 10^0$	$3,5 \cdot 10^{-27}$	(точно)
m_e	$9,10938291 \cdot 10^{-31}$	$9,10938291 \cdot 10^{-31}$	$1,9 \cdot 10^{-16}$	$0,0 \cdot 10^0$	$4,0 \cdot 10^{-38}$	(точно)
r_e	$2,8179403267 \cdot 10^{-15}$	$2,81794032680003 \cdot 10^{-15}$	$1,4 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-25}$	$2,7 \cdot 10^{-24}$	0,04
c	$2,99792458 \cdot 10^8$	$2,99792458 \cdot 10^8$	$< 10^{-16}$	$0,0 \cdot 10^0$	(точно)	(точно)
ϵ_0	$8,854187817 \cdot 10^{-12}$	$8,85418781762040 \cdot 10^{-12}$	$1,8 \cdot 10^{-16}$	$6,2 \cdot 10^{-22}$	(точно)	
μ_0	$1,2566370614 \cdot 10^{-6}$	$1,25663706143592 \cdot 10^{-6}$	$< 10^{-16}$	$3,6 \cdot 10^{-17}$	(точно)	
G	$6,67384 \cdot 10^{-11}$	$6,67384 \cdot 10^{-11}$	$< 10^{-16}$	$0,0 \cdot 10^0$	$8,0 \cdot 10^{-15}$	(точно)
a	$7,2973525698 \cdot 10^{-3}$	$7,29735256989499 \cdot 10^{-3}$	$< 10^{-16}$	$9,5 \cdot 10^{-14}$	$2,4 \cdot 10^{-12}$	0,04
h	$6,62606957 \cdot 10^{-34}$	$6,62606957511030 \cdot 10^{-34}$	$< 10^{-16}$	$5,1 \cdot 10^{-43}$	$2,9 \cdot 10^{-41}$	0,02
\hbar	$1,054571726 \cdot 10^{-34}$	$1,05457172614962 \cdot 10^{-34}$	$< 10^{-16}$	$1,5 \cdot 10^{-44}$	$4,7 \cdot 10^{-42}$	0,00
λ_C	$2,4263102389 \cdot 10^{-12}$	$2,42631023899035 \cdot 10^{-12}$	$1,7 \cdot 10^{-16}$	$9,0 \cdot 10^{-23}$	$1,6 \cdot 10^{-21}$	0,06
R_∞	$1,0973731568539 \cdot 10^7$	$1,09737315685385 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^{-16}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	0,01
a_0	$5,2917721092 \cdot 10^{-11}$	$5,29177210928359 \cdot 10^{-11}$	$2,4 \cdot 10^{-16}$	$8,4 \cdot 10^{-22}$	$1,7 \cdot 10^{-20}$	0,05
μ_B	$9,27400968 \cdot 10^{-24}$	$9,27400968013825 \cdot 10^{-24}$	$1,6 \cdot 10^{-16}$	$1,4 \cdot 10^{-34}$	$2,0 \cdot 10^{-31}$	0,00
m_{pl}	$2,17651 \cdot 10^{-8}$	$2,17650925328462 \cdot 10^{-8}$	$< 10^{-16}$	$7,5 \cdot 10^{-15}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$	0,01
l_{pl}	$1,616199 \cdot 10^{-35}$	$1,61619925632658 \cdot 10^{-35}$	$< 10^{-16}$	$2,6 \cdot 10^{-42}$	$9,7 \cdot 10^{-40}$	0,00

Заключение

Таким образом, комбинированная система постоянных с коррекцией постоянной Планка представляет собой реализацию *системы постоянных*, обеспечивающую относительную точность расчётов на уровне полрядка 10^{-16} , и которая полностью отвечает требованиям к точности постоянных, даваемых CODATA.

Необходимо заметить, что подобный результат можно получить и с помощью коррекции других постоянных. Однако предложенный вариант вносит в сложившуюся практику минимальные изменения и позволяет использовать предложенную систему постоянных, не нарушая при этом совместности с результатами, полученными с помощью постоянных, даваемых CODATA. При этом точность и взаимная согласованность результатов, полученных с использованием постоянных предложенной системы, возрастает многократно.