СТАТЬИ

УДК 53.08

**ПРАКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ
ЕСТЕСТВЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН****Дубас Л.Г.***НИЦ «Курчатовский институт», Москва, e-mail: sudarih@gmail.com*

Для базисной системы единиц физических величин число фиксируемых фундаментальных констант соответствует: постоянной вакуумной скорости света, постоянной волнового сопротивления вакуума, постоянной единице физического действия и постоянной массы покоя электрона в вакууме. Для введения основной естественной единицы массы будет использована величина, пропорциональная массе покоя электрона. Масса покоя электрона вычисляется на основе измерений постоянных величин тонкой структуры, Джозефсона и Клитцинга при заданных постоянных величинах вакуумной скорости света и волнового сопротивления вакуума. Неопределенность условного истинного значения обозначается погрешностями рабочих калибровок, методическими погрешностями, статистикой наблюдаемых результатов. Если в качестве истинного значения принять среднее взвешенное значение исправленных результатов при многократных наблюдениях, неопределенность условного истинного значения будет также обусловлена методической, аппаратной погрешностью и статистической погрешностью обработки результатов многократных наблюдений. Предполагаемое истинное значение определяется по некоторой модели, и тогда возникает неопределенность условного истинного значения относительно истинного значения, установленного по модели высокого уровня. Оценка этой неопределенности может быть произведена путем сравнения функций неопределенности для адекватных моделей разного уровня по определенным критериям неопределенности и погрешности результата измерения. В основу практической системы положен принцип простоты описания электромагнитных полей.

Ключевые слова: скорость света, волновое сопротивление, квант действия, масса электрона, электромагнитная масса, тонкая структура, постоянная Джозефсона и постоянная Клитцинга

PRACTICAL SYSTEM OF UNITS OF NATURAL PHYSICAL QUANTITIES**Dubas L.G.***RNC «Kurchatovsky Institute», Moscow, e-mail: sudarih@gmail.com*

For basic system of units of physical quantities the number of fixed fundamental constants corresponds to: a constant vacuum velocity of light, constant wave resistance of vacuum, constant unit of physical action and constant rest mass of an electron in vacuum. For introduction of the basic natural mass unit the quantity proportional to a rest mass of an electron will be used. The electron rest mass is calculated on the basis of measurements of constant of thin structure, Josephson and Klitzing constants at the given constants of a vacuum velocity of light and wave impedance of vacuum. Uncertainty of conditional true value is defined by errors of working calibrations, methodical errors and statistics of observable results. If to accept the average weighed value of the corrected results as true value at repeated supervision, uncertainty of conditional true value also will be caused as methodical, an instrument error and a statistical error of processing results of repeated supervision. Prospective true value is determined on some model and then there is an uncertainty of conditional true value concerning the true value established on model of high level. The estimation of this uncertainty can be made by comparison of functions of uncertainty for adequate models of different level by certain criteria of uncertainty and an error of measurement result. At the heart of practical system the principle of simplicity of the description of electromagnetic fields is put.

Keywords: velocity of light, wave impedance, a quantum action, electron mass, electromagnetic mass, the thin structure, Josephson constant and Klitzing constant

*Введение в представление о системе
единиц физических величин*

Закономерности окружающей человека природы выражаются в виде соотношений количественных характеристик тех или иных явлений. Эти количественные характеристики называют физическими величинами. Значение физической величины есть оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Естественные системы единиц физических величин имеют значение для представления физических явлений в микроскопической области пространства. Применительно к разным сферам физических представле-

ний возможно построение различных естественных систем единиц. Применительно к физике пучков заряженных частиц автором была предложена базисная натуральная единица эмиттансного импульса, для описания яркости пучка [1].

Цель исследования заключается в предложении дальнейшего обобщения представлений о естественной системе единиц для физики движения заряженных частиц, в связи с современными точными измерениями: массы электрона, постоянной тонкой структуры, постоянной Джозефсона и постоянной Клитцинга. Для введения основной естественной единицы массы будет использована величина, связанная с массой покоя

электрона. Коэффициент кратности назначен дробным числом $N = 15089,0688166$. Такой выбор может быть понятным из нижеследующего изложения, которое связано с концепцией электромагнитной массы [2].

Метод исследований и материал представлений в области создания эталонов физических величин базируется на создании единого стандарта на основе натуральных единиц физических величин. Кроме того, имеет значение универсальность стандарта, так как он охватывает все области науки и техники. В настоящее время все отрасли науки и техники так или иначе связаны между собой, и существование для тех же самых физических величин различных систем и внесистемных единиц в зависимости от области применения приводит к значительным неудобствам. Наконец, система естественных единиц физических величин и возможный на ее основе стандарт упрощают формулы, так как освобождают их от части возможных коэффициентов.

Нужно также иметь в виду, что стандарт не является документом, охватывающим все возможные единицы физических величин. По мере развития науки и техники возникают новые понятия и новые физические величины, некоторые физические понятия и единицы физических величин дифференцируются. Это процесс непрерывный, и включение таких величин в терминологические и другие стандарты является, по сути, формальным закреплением того, что вытекает из существующей практики.

Естественная система единиц физических величин накладывает одно существенное ограничение – новые единицы должны определяться как производные из уже образованных ранее единиц по тем правилам, которые для этого предусмотрены в системе.

Одно из основных требований обобщений естественной системы единиц дополнительных физических величин – это когерентность, т.е. уравнения связи единиц с другими единицами системы, по отношению к которым они являются производными, могут содержать в качестве коэффициентов лишь целые степени десяти. Следует отметить, что это требование удается реализовать только в соотношениях между единицами физических величин. Формулы, связывающие физические величины, во многих случаях содержат коэффициенты, отличные от целых степеней десяти.

Если производная единица связана с другими единицами в системе уравнением, в котором числовой коэффициент равен единице (простая когерентность) или целой степени десяти (десятичная когерентность), то такая производная единица называется

когерентной по отношению к тем единицам, с которыми она связана. Системы единиц, все производные единицы которой когерентны, называются когерентными системами единиц физических величин. Когерентные производные единицы образуют с помощью уравнений связи между величинами. В этих уравнениях числовые коэффициенты могут быть равны единице или отличаться от нее. В простых системах числовые коэффициенты связей равны единице.

Естественная система единиц физических величин

Для формирования концептуальной системы взглядов на основе системного подхода необходимо учитывать взаимосвязи и взаимовлияние базисных физических единиц [3–6].

Рассмотрим натуральную систему (НС) базисных физических величин. Введем одну из натуральных физических единиц – единичное значение скорости, равное скорости света.

$U = 2,99792458 \cdot 10^8$ м/с, (точно); $U = c$, (1)
где c – значение постоянной скорости света в вакууме.

Кроме того, введем также натуральную физическую единицу – постоянное электромагнитное волновое сопротивление вакуума.

$$R = 40 \cdot \pi \cdot 2,99792458 \text{ Ом, (точно);}$$

$$R = R_0, \quad (2)$$

где R_0 – постоянное волновое сопротивление вакуума.

Введем ещё одну из натуральных физических единиц – квантовое постоянное единичное значение величины физического действия.

$$H = 4,135\ 667\ 696 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с},$$

где H – единица действия. Размерность действия в электрон-вольтах*секундах.

Для определения единичной величины массы и электрического тока и напряжения воспользуемся аналогом микроскопической единицей энергии в электрон-вольтах.

$$q \cdot V = M \cdot c^2; M = w \cdot m; w = 15089,0688166;$$

$$V = 931,494102 \text{ МВ}; I = 2,47257539 \text{ МА}, \quad (3)$$

где m , M – величины массы покоя электрона и естественной единицы массы; Q – единичная величина электрического заряда; I , $V = I \cdot R_0$ – единичная величина электрического тока и напряжения соответственно; w – дробное число, определяющее количество частей масс покоя электрона в единичном значении массы; q – единичный электрический заряд.

Аналогично введем единичную величину времени и электрического заряда.

$$q = 1,32621132 \cdot 10^{-18} \cdot \text{Кл}; T = q / I = 1 / (w \cdot f) / (86988521591) = 5.36368406 \cdot 10^{-25} \text{ с}; \quad (4)$$

$$Q = (\text{beta}) \cdot q; \text{beta} = \sqrt{(Q^2 R_0 / H)} = 1 / 8,277559999,$$

где Q – модуль заряда электрона как дополнительная натуральная единица; beta – зарядовый фактор, равный величине модуля заряда электрона в натуральных единицах электрического заряда; T – натуральная единица времени в квазиинерциальной системе координат; f – циклическая частота водородного стандарта частоты (водородного лазера).

Используя концепцию для электромагнитной массы [2] по отношению к единичной массе, введем дополнительную единицу количества вещества для атомной единицы массы.

$$W = \text{e.a.e.m.}-\text{молекула}; \text{e.a.e.m.} = w \cdot m \cdot \text{beta};$$

$$w = 15089,0688166, (\text{define}); \bar{w} = 15089,$$

где e.a.e.m. – конкретная аппроксимация для углеродной атомной единицы массы например; $\bar{w}$ – простая целочисленная аппроксимация ‘ w ’ для углеродной атомной единицы массы.

Здесь предполагается введение эталона из $24 \cdot W$ единиц вещества, содержащего 12 подобных атому дейтерия структурных элементов, находящихся в двухатомной молекуле углерода-12, определяемой количеством вещества $24 \cdot N^* \text{a.e.m.}$ -молекул.

Кроме того, можно ввести две дополнительные единицы измерения величины на основе массы покоя электрона, которые, например, могут быть использованы для обоснования единицы силы видимого света или силы инфракрасного лучистого тепла натуральной системы на платиновом или золотом раскаленном эталоне (при затвердении) соответственно.

$$Z = m^2 \cdot c^4 / (H \cdot 4 \cdot \pi^* \text{стерадиан}), \quad (5)$$

$$G = Z, S = Z, \quad (6)$$

где G – натуральная единица силы света, S – натуральная единица силы лучистого тепла.

Тоже можно ввести другую полуосновную единицу измерения величины эмиттансного импульса [1]. Эта единица может использоваться для описания яркости пучка частиц.

$$P = m \cdot c \cdot 79/2, \quad (7)$$

где P – полуосновная натуральная единица эмиттансного импульса для пучка частиц.

Введем натуральную единицу температуры равную внутренней энергии электрона.

$$K = m \cdot c^2, \quad (8)$$

где K – полуосновная натуральная единица температуры.

Тоже квадратный корень из одного сферического стерadianного угла полагается, как и радиан, полуосновной естественной единицей угла поворота [7].

Итак, получаем полный набор из четырех основных, четырех полуосновных и четырех дополнительных единиц натуральной системы и созданной ниже на ее основе практической системы единиц.

Практическая когерентная система единиц физических величин

То, что было рассмотрено выше для основных и полуосновных натуральных физических величин, относится к некоторым величинам в микроскопической области пространства. Для того чтобы расширить область применения в макроскопическую область пространства, необходимо, например, использовать дополнительные десятичные множители.

Большое значение для улучшения условий международного сотрудничества в области науки и техники имеет создание единого стандарта на основе практической системы единиц измерения физических величин в рамках международного сотрудничества. Кроме того, имеет значение универсальность стандарта, так как он охватывает все области науки и техники. В настоящее время все отрасли науки и техники так или иначе связаны между собой, и существование для тех же самых физических величин различных систем и внесистемных единиц в зависимости от области применения приводит к некоторым неудобствам. Наконец, практическая система единиц и утвержденный на ее основе стандарт упрощают формулы, так как освобождают их от части коэффициентов, отличных от целых степеней десяти.

Если производная единица связана с другими единицами в системе уравнением, в котором числовой коэффициент равен единице, то такая производная единица называется когерентной по отношению к тем единицам, с которыми она связана.

Системы единиц, все производные единицы которой когерентны, называются ко-

герентными системами единиц физических величин. Когерентные производные единицы образуют с помощью уравнений связи между величинами.

В уравнениях числовые коэффициенты могут быть равны единице или отличаться от нее. Если исходное уравнение связи содержит числовой коэффициент, отличный от единицы, получить когерентную единицу, возможно, после некоторого преобразования для величины.

Десятичные когерентные производные единицы образуют с помощью уравнений связи между величинами с числовыми коэффициентами, равными неким десятичным множителям.

Число фиксируемых фундаментальных констант соответствует: постоянной вакуумной скорости света, постоянной волнового сопротивления вакуума, постоянной единицы физического действия и постоянной вакуумной массы покоя электрона.

Здесь масса покоя электрона вычисляется на основе измерений постоянных величин тонкой структуры, Джозефсона и Клитцинга при заданных постоянных величинах вакуумной скорости света и волнового сопротивления вакуума.

Неопределенность условного истинного значения обозначается погрешностями рабочих калибровок, методическими погрешностями, статистикой наблюдаемых результатов. Если в качестве истинного значения принять среднее взвешенное значение исправленных результатов при многократных наблюдениях, неопределенность условного истинного значения будет также обусловлена методической, аппаратурной погрешностью и статистической погрешностью обработки результатов многократных наблюдений.

Предполагаемое истинное значение определяется по некоторой модели и тогда возникает неопределенность условного истинного значения относительно истинного значения, установленного по модели высокого уровня. Оценка этой неопределенности может быть произведена путем сравнения функций неопределенности для адекватных моделей разного уровня по определенным критериям неопределенности и погрешности результата измерения.

Предположим задание однопараметрической последовательности целочисленных параметров для семейства когерентных десятичных систем единиц физических величин. Тогда получим однопараметрическую последовательность различных систем единиц физических величин, среди которых можно найти ($n = 3$) наиболее близкую в логарифмическом

масштабе к рассматриваемой практической области естествознания.

$$T_n = T \cdot 10^{8n}; U_n = U \cdot 10^{-3n}; M_n = M \cdot 10^{9n}; \\ R_n = R \cdot 10^{-n}, \text{ (for basic system of units);}$$

$$K_n = K \cdot 10^{-3n}; P_n = P \cdot 10^{4n}; Q_n = Q \cdot 10^{6n}; \\ W_n = W \cdot 10^{8n}, \text{ (2 semi basic and 2 additional units),}$$

где n – целочисленный параметр в некоторой последовательности единиц физических величин. Для натуральной системы единиц $n = 0$. Для практической системы единиц $n = 3$.

Приведем предполагаемые названия для других дополнительных систем; для молекулярной системы $n = 2$ и для штатной системы $n = 4$.

Для $n = 3$ теоретически построим практическую систему физических единиц (ПС).

В основу (ПС) положен принцип простоты описания электромагнитных полей; принцип простого равенства напряженностей и индукций полей в частном случае вакуума.

Стандарт практической системы не ограничивает применение тех или иных дополнительных единиц в научных исследованиях и публикациях теоретического характера в области естествознания, в которых предполагается использование результатов аналитических расчетов и теоретического моделирования для физических величин.

Практическая система накладывает одно существенное ограничение – новые единицы должны определяться как производные из уже образованных ранее единиц по тем правилам, которые для этого предполагается предусмотреть в практической системе.

Одно из основных требований практической системы – это десятичная когерентность, т.е. уравнения связи единиц с другими единицами системы, по отношению к которым они являются производными, могут содержать в качестве коэффициентов лишь целые степени десяти. Следует отметить, что это требование удается реализовать только в соотношениях между единицами физических величин. Формулы, связывающие физические величины, во многих случаях содержат коэффициенты, отличные от целых степеней десяти.

Десятичные кратные и дольные единицы, а также их наименования и обозначения следует образовывать с помощью множителей и приставок.

Практическая система единиц состоит из четырех основных единиц, четырех полуосновных единиц, четырех дополнительных единиц и производных единиц, образованных из основных, полуосновных и дополнительных единиц. Некоторые производные единицы могут иметь специальные унифицированные наименования.

Величины электрических и магнитных полей, записанные в СИ и в ПС

Определение величины (закон)	Физические единицы	
	СИ	ПС
Сила напряженности электрического поля E	$F = q \cdot E$	
Связь между E и D	$D = \epsilon_0 \epsilon E$	$D = \epsilon E$
Сила индукции магнитного поля B	$F = q \cdot [u \times B]$	$F = \frac{q}{c} \cdot [u \times B]$
Связь между B и H	$B = \mu_0 \mu H$	$B = \mu H$
Уравнения Максвелла (в частных производных)		
Закон Фарадея	$rot E = -\frac{dB}{dt}$	$rot E = -\frac{dB}{cdt}$
Закон для плотности тока	$rot H = j + \frac{dD}{dt}$	$rot H = j \cdot R_0 + \frac{dD}{cdt}$
Теорема Гаусса	$div D = \rho$	$div D = \rho \cdot c \cdot R_0$
Нулевой источник магнитной индукции	$div B = 0$	

Здесь μ , ϵ , μ_0 , ϵ_0 – магнитная и диэлектрическая проницаемости среды и вакуума.

Производные единицы ПС, имеющие специальные наименования, также могут быть использованы для образования других производных единиц ПС. Существует ограниченная группа единиц, которые не во всех случаях можно заменить единицами ПС. Возможен дополнительный перечень единиц, допускаемых к применению наравне с единицами ПС без ограничения срока, приемлемых лишь в обоснованных случаях.

Результаты исследований для двух систем единиц физических величин

Размерность физической величины есть выражение, отражающее ее связь с основными величинами системы. Следует обратить внимание на то, что одинаковая размерность двух величин отнюдь не означает, что эти величины идентичны, так как они могут иметь различный физический смысл. Если в системах используются одни и те же значения с одинаковыми размерностями, то в общем случае физические величины могут быть разные.

В таблице представлены электромагнитные величины в двух системах единиц (СИ, ПС).

Результатирующее значение для улучшения условий международного сотрудничества в области науки и техники имеет создание единого стандарта на основе интернациональной или практической системы в рамках международного сотрудничества.

Основное отличие ПС от СИ заключается в том, что в вакууме происходит со-

впадение напряженностей электрического и магнитного полей с соответствующими индукциями соответствующих полей. Этот принцип простоты положен в основу построения практической системы единиц для электрических и магнитных полей.

Так же как в СИ, и в ПС используется рационализация законов электромагнитного поля.

Заключение

В области физики заряженных частиц возможно введение четырех основных и четырех полуосновных натуральных релятивистских квантовых единиц измерения величин, совместимых с традиционным использованием практических единиц измерения величин.

Такое введение четырех основных, двух полуосновных и двух дополнительных единиц для двух уровней микроскопического и макроскопического масштабов предполагает выбор новых единиц с целью представлений в конкретном диапазоне измерения величин.

В основу практической системы положен принцип простого равенства напряженностей и индукций для электрических и магнитных полей в частном случае вакуумной среды.

Список литературы

1. Dubas L.G. Quark mass unit. European journal of natural history. 2013. № 3. P. 77–78. [Electronic resource]. URL:

<http://world-science.ru/pdf/2013/3/38.pdf> (date of access: 20.08.2019).

2. Dubas L.G. Electromagnetic mass of an electron. *European Journal of Natural History*. 2014. № 2. P. 65–65. [Electronic resource]. URL: <http://world-science.ru/pdf/2014/2/25.pdf> (date of access: 20.08.2019).

3. Лукашов Ю.Е., Маликова Х.О., Сквородников В.А. Концептуальный подход к проблемам совершенствования метрологического обеспечения в РФ // *Законодательная и прикладная метрология*. 2013. № 3. С. 4–7.

4. Бронников К.А., Калинин М.И., Кононогов С.А., Мельников В.Н., Хрущёв В.В. Теоретические исследования

различных наборов фундаментальных физических констант, необходимых для новых определений основных единиц СИ // *Законодательная и прикладная метрология*. 2013. № 2. С. 2–14.

5. Каплан Б.Ю. Об основных терминах метрологии в учебниках // *Законодательная и прикладная метрология*. 2013. № 1. С. 52–55.

6. Лобанков В.М. О цели и результате измерений // *Законодательная и прикладная метрология*. 2010. № 6. С. 10–13.

7. Коган И.Ш. Угол поворота – основная физическая величина // *Законодательная и прикладная метрология*. 2011. № 6. С. 57–67.