

# Оценка соответствия. Аккредитация лабораторий Compliance verification. Laboratory accreditation

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-8-67-69>

## О ПЕРЕСМОТРЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ (SI)

### ON THE REVISION OF THE INTERNATIONAL SYSTEM OF UNITS (SI)

Международная система единиц (SI), принятая на XI Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ) в 1960 г., является естественным развитием метрической системы мер, родившейся в XVIII в.

Из реализаций семи основных единиц SI наиболее уязвимым является килограмм — артефакт в виде платино-иридиевого цилиндра, который может быть уничтожен при стихийном бедствии или испорчен. Неясен вопрос стабильности приписанного ему номинала, так как за 100 лет сличений с национальными прототипами (1889 – 1991 гг.) выявилось расхождение их масс со временем на 50 мкг. Именно поэтому XXI ГКМВ (1999 г.) приняла Резолюцию 7 о необходимости проведения экспериментов национальными метрологическими институтами стран – членов Метрической конвенции по привязке единицы массы к фундаментальным константам. Это важно еще и потому, что определения ампера, моля и канделы зависят от определения килограмма. Одновременно неопределенность оценки тройной точки воды из-за содержания примесей, изотопного состава воды и т.п. вызывала необходимость переопределения кельвина. Секунда и метр уже по определению были привязаны к физическим константам.

На 93-м заседании Международного Комитета мер и весов (МКМВ) (2004 г.) обсуждалась возможность переопределения килограмма, а на 94-м заседании в 2005 г. была принята Рекомендация о подготовительных мерах по переопределению килограмма, ампера, кельвина и моля с привязкой их к точно известным (т.е. имеющим нулевую неопределенность) значениям фундаментальных констант. Эта процедура была опробована в 1983 г. с введением нового определения метра при фиксированном значении скорости света. Теперь же надо было решить две задачи: во-первых, установить набор фундаментальных физических (определяющих) констант для переопределения четырех вышеозначенных единиц, а во-вторых, измерить (определить) выбранные константы, значения которых должны быть по-

том точно зафиксированы, с наивысшей доступной точностью, чтобы была гарантирована уже достигнутая точность эталонных значений обсуждаемых единиц величин. Набор для переопределений был установлен в составе постоянной Планка, элементарного заряда электрона, постоянной Больцмана и постоянной Авогадро соответственно. Для оценки этих констант значения относительных стандартных неопределенностей должны были составлять менее  $2 \cdot 10^{-8}$  для постоянной Планка и постоянной Авогадро, менее  $1 \cdot 10^{-8}$  для элементарного заряда электрона и менее  $1 \cdot 10^{-6}$  для постоянной Больцмана.

В 2017 г. международный Комитет по численным данным для науки и техники (CODATA) на основании результатов исследований, проведенных в метрологических институтах, подготовил и опубликовал согласованные значения этих констант, что позволило МКМВ принять решение о рекомендации к утверждению новых определений на XXVI ГКМВ и о реформировании всей Международной системы единиц. Такое историческое решение было принято 16 ноября 2018 г. в Версале с трансляцией этого события на весь мир. Теперь определения всех семи основных единиц сформулированы единообразно, связывая их с точными значениями выбранных определяющих констант.

Предполагается, что в реформированной Международной системе единиц не будут заданы конкретные методы реализации основных единиц. Важно, чтобы они обеспечивали необходимую точность и прослеживаемость к соответствующей константе.

Ниже приведен полный текст Резолюции 1 «О пересмотре Международной системы единиц», принятой XXVI ГКМВ.

#### Резолюция 1

Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) на своем 26-м заседании, **принимая во внимание**, что

существенными требованиями Международной системы единиц (SI) являются ее единообразие и доступность во всем мире для целей международной торговли, высокотехнологичного производства, защиты здоровья и безопасности населения, охраны окружающей среды, изучения глобальных изменений климата и фундаментальной науки;

единицы системы SI должны сохранять стабильность в течение длительного периода времени, быть внутренне непротиворечивыми и пригодными для практической реализации, опираясь на современное теоретическое описание природных явлений, выполненное на наивысшем доступном уровне;

пересмотр системы SI, призванный обеспечить выполнение этих требований, был инициирован в соответствии с Резолюцией 1, получившей единогласное одобрение на 24-м заседании ГКМВ (2011 г.) и подробно излагающей новые способы описания системы SI, которые основаны на использовании набора из семи определяющих констант, восходящих к фундаментальным физическим и другим природным постоянным, из которых могут быть выведены определения семи основных единиц измерений;

необходимые условия для утверждения такой пересмотренной версии SI, сформулированные на 24-м (2011 г.) и подтвержденные на 25-м заседании ГКМВ (2014 г.), к настоящему времени выполнены,

**постановляет**, что начиная с 20 мая 2019 г. Международная система единиц, SI, должна рассматриваться как система единиц, в которой:

значение частоты невозмущенного сверхтонкого перехода основного состояния атома цезия-133  $\Delta\nu_{Cs}$  составляет 9 192 631 770 Гц;

значение скорости света в вакууме  $c$  составляет 299 792 458 м/с;

значение постоянной Планка  $h$  составляет  $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$  Дж · с;

значение элементарного заряда  $e$  составляет  $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$  Кл;

значение постоянной Больцмана  $k$  составляет  $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

значение постоянной Авогадро  $N_A$  составляет  $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>;

световая эффективность монохроматического излучения с частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц  $K_{cd'}$  составляет 683 лм/Вт,

где герц, джоуль, кулон, люмен и ватт с обозначениями Гц, Дж, Кл, лм и Вт соответственно соотносятся с единицами: секундой, метром, килограммом, ампером, кельвином, моле и канделой с обозначениями с, м, кг, А, К, моль и кд соответственно таким образом, что Гц = с<sup>-1</sup>, Дж =

$$= \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}, \text{Кл} = \text{А} \cdot \text{с}, \text{лм} = \text{кд} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2} = \\ = \text{кд} \cdot \text{ср}, \text{а Вт} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3},$$

**учитывает** то, каким образом изменения согласно Резолюции 1, одобренной на 24-м заседании ГКМВ (2011 г.), должны повлиять на использование основных единиц системы SI, и подтверждает внесение таких изменений в приведенных далее Приложениях к настоящей Резолюции, имеющих с ней одинаковую силу;

**приглашает** Международный комитет мер и весов заняться подготовкой новой редакции публикуемой им брошюры под заголовком «Международная система единиц» и привести в ней полное описание пересмотренной системы SI.

### Приложение 1. Прекращение действия прежних определений основных единиц

Из нового определения SI, представленного выше, следует, что начиная с 20 мая 2019 г. прекращают свое действие:

определение секунды, введенное в обращение в 1967/68 гг. (13-е заседание ГКМВ, Резолюция 1);

определение метра, введенное в обращение в 1983 г. (17-е заседание ГКМВ, Резолюция 1);

определение килограмма, введенное в обращение в 1889 г. (1-е заседание ГКМВ, 1889 г., 3-е заседание ГКМВ, 1901 г.) и основанное на значении массы международного прототипа килограмма;

определение ампера, введенное в обращение в 1948 г. (9-е заседание ГКМВ) и основанное на определении, которое было предложено МКМВ (1946 г., Резолюция 2);

определение кельвина, введенное в обращение в 1967/68 гг. (13-е заседание ГКМВ, Резолюция 4);

определение моля, введенное в обращение в 1971 г. (14-е заседание ГКМВ, Резолюция 3);

определение канделы, введенное в обращение в 1979 г. (16-е заседание ГКМВ, Резолюция 3);

решение об утверждении условных значений постоянной Джозефсона  $K_{J-90}$  и постоянной фон Клитцинга  $R_{K-90}$ , принятое МКМВ (1988 г., Рекомендации 1 и 2) в соответствии с запросом ГКМВ (18-е заседание ГКМВ, 1987 г., Резолюция 6) о реализации представлений вольты и ома, устанавливаемых на основе эффекта Джозефсона и квантового эффекта Холла соответственно.

## Приложение 2.

### Статус констант, ранее использовавшихся в прежних определениях единиц

Из нового определения SI и рекомендованных значений в соответствии с материалами специального согласования значений физических величин за 2017 г., подготовленными Комитетом по данным для науки и техники (Committee on Data for Science and Technology — CODATA), на которых основываются значения определяющих констант, вступающие в силу 20 мая 2019 г., следует, что:

масса международного прототипа килограмма  $m(K)$  равняется 1 кг в пределах относительной стандартной неопределенности, соответствующей неопределенности рекомендованного значения  $h$  на момент принятия настоящей Резолюции, т.е.  $1,0 \cdot 10^{-8}$ , а в будущем ее значение будет определяться экспериментальным путем;

магнитная проницаемость вакуума  $\mu_0$  равняется  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн  $\cdot$  м<sup>-1</sup> в пределах относительной стандартной неопределенности, соответствующей неопределенности рекомендованного значения тонкоструктурной постоянной  $\alpha$  на момент принятия настоящей Резолюции, т.е.  $2,3 \cdot 10^{-10}$ , а в будущем ее значение будет определяться экспериментальным путем;

термодинамическая температура тройной точки воды  $T_{TPW}$  равняется 273,16 К в пределах относительной стандартной неопределенности, близко соответствующей неопределенности рекомендованного значения  $k$  на момент принятия настоящей Резолюции, т.е.  $3,7 \cdot 10^{-7}$ , а в будущем ее значение будет определяться экспериментальным путем;

молярная масса углерода-12,  $M(^{12}\text{C})$ , равняется 0,012 кг  $\cdot$  моль<sup>-1</sup> в пределах относительной стандартной неопределенности, соответствующей неопределенности рекомендованного значения  $N_A h$  на момент принятия настоящей Резолюции, т.е.  $4,5 \cdot 10^{-10}$ , а в будущем ее значение будет определяться экспериментальным путем.

## Приложение 3.

### Основные единицы системы SI

В соответствии с новым определением системы SI, представленным как набор фиксированных числовых значений определяющих констант, каждая из семи ее основных единиц может быть в зависимости от необходимости описана при помощи одной или нескольких таких констант для получения следующих определений, вступающих в силу 20 мая 2019 г.:

секунда (условное обозначение — с) — единица времени в системе SI, которая определяется путем принятия фиксированного числового значения частоты  $\Delta\nu_{Cs}$  невозмущенного сверхтонкого перехода основного состояния атома цезия-133 равным 9 192 631 770 в единицах Гц, где герц соответствует с<sup>-1</sup>;

метр (м) — единица длины в системе SI, которая определяется путем принятия фиксированного числового значения скорости света в вакууме  $c$  равным 299 792 458 в единицах м/с, где секунда определена через  $\Delta\nu_{Cs}$ ;

килограмм (кг) — единица массы в системе SI, которая определяется путем принятия фиксированного числового значения постоянной Планка  $h$  равным  $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$  в единицах Дж  $\cdot$  с, что соответствует кг  $\cdot$  м<sup>2</sup>  $\cdot$  с<sup>-1</sup>, где метр и секунда определены через  $c$  и  $\Delta\nu_{Cs}$ ;

ампер (А) — единица силы электрического тока в системе SI, которая определяется путем принятия фиксированного числового значения элементарного заряда  $e$  равным  $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$  в единицах Кл, что соответствует А  $\cdot$  с, где секунда определена через  $\Delta\nu_{Cs}$ ;

кельвин (К) — единица термодинамической температуры в системе SI, которая определяется путем принятия фиксированного числового значения постоянной Больцмана  $k$  равным  $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$  в единицах Дж  $\cdot$  К<sup>-1</sup>, что соответствует кг  $\cdot$  м<sup>2</sup>  $\cdot$  с<sup>-2</sup>  $\cdot$  К<sup>-1</sup>, где килограмм, метр и секунда определены через  $h$ ,  $c$  и  $\Delta\nu_{Cs}$  соответственно;

моль (моль) — единица количества вещества в системе SI: один моль содержит ровно  $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$  элементарных структурных единиц, что соответствует фиксированному числовому значению постоянной Авогадро  $N_A$  в единицах моль<sup>-1</sup> и называется числом Авогадро; количество вещества в некоторой системе, обозначаемое символом  $n$ , является мерой числа заданных элементарных структурных единиц, в качестве которых могут выступать атомы, молекулы, ионы, электроны, а также любые другие частицы или группы частиц;

кандела (кд) — единица силы света в заданном направлении в системе SI, которая определяется путем принятия фиксированного числового значения световой эффективности монохроматического излучения с частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц  $K_{cd}$  равным 683 в единицах лм  $\cdot$  Вт<sup>-1</sup>, что соответствует кд  $\cdot$  ср  $\cdot$  Вт<sup>-1</sup>, или кд  $\cdot$  ср  $\cdot$  кг<sup>-1</sup>  $\cdot$  м<sup>-2</sup>  $\cdot$  с<sup>3</sup>, где килограмм, метр и секунда определены через  $h$ ,  $c$  и  $\Delta\nu_{Cs}$  соответственно.