Инженерам на заметку: утвердили новые эталоны ампера и килограмма

Участники 26-й Генеральной конференции по мерам и весам, проходившей с 13 по 16 ноября 2018 года в Версале (Франция), единогласно проголосовали за новое определение эталонов четырёх единиц Международной системы СИ – килограмма, ампера, кельвина и моля. На предыдущем этапе обновления системы SI были утверждены новые стандарты секунды (время), канделы (сила света) и метра (длина).

О существовании эталона килограмма в виде специально изготовленного с высокой точностью цилиндра из платино-иридиевого сплава мы впервые узнаём на школьных уроках физики. Этот эталон хранится во французском городе Севре, в Международном бюро мер и весов. Так же давно был изготовлен и эталон метра. Для практического применения в национальных органах стандартизации использовали откалиброванные копии эталонов метра и килограмма. Первые копии эталона килограмма были изготовлены в 1872 году.

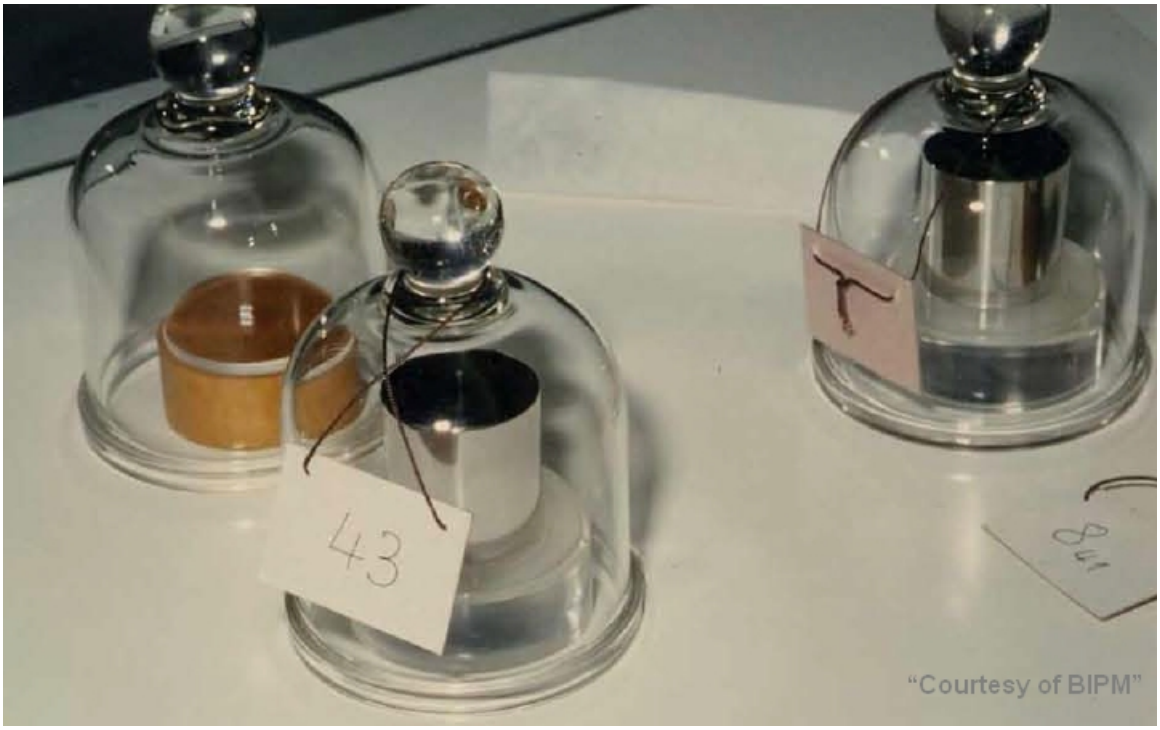
Как возникла система СИ

Формирование международной системы единиц измерений началось с 1799 года, когда появились стандарты веса и длины, изготовленные из платины. В 1889 году они были названы международными эталонами. До возникновения современной системы СИ несколько десятилетий базовыми единицами считали сантиметр, грамм, секунда (система СГС), потом в качестве базовых величин были выбраны метр, килограмм и секунда (МКС). В 1939 году предложили к ним добавить ампер и в 1946 году была утверждена система единиц МКСА. На конференции в 1954 году базовыми единицами в дополнение к метру, килограмму и секунде стали ампер, кельвин и кандел. В 1960 году появилось название International System of Units (SI). В результате споров и дискуссий между физиками и химиками 14-я конференция проголосовала за базовую единицу количества вещества и в 1971 году моль вошёл в систему СИ, став седьмой базовой единицей.

Переопределение эталонов

"Изобретение" эталонов и договорённости между многими странами мира об их применении имели огромное значение и влияние на развитие международной торговли, сыграли важную роль в науке и в производстве. Но постепенно у учёных накопились претензии к выбранным в качестве эталонов физическим объектам. Нужна большая точность и стабильность эталонов как единиц измерения.

Например, обнаружили изменение массы у эталона килограмма. Несмотря на принятые строгие условия хранения и меры предосторожности, за прошедшее время после изготовления цилиндра-эталона, его вес изменился на 50 микрограмм. Определение секунды как 1/86400 суток тоже оказалось непостоянной величиной. Первое определение эталона метра как часть диаметра Земли существовало, но перестали использовать.



Одна из копий эталона килограмма (43-я)

В качестве эталона должно быть что-то абсолютно неизменное, желательно общедоступное и чтобы

не нужно было его хранить в сейфе. Поэтому начались поиски и выбор иных объектов и процессов, которые можно было бы использовать при определении эталонов для базовых единиц. В 1983 году впервые определили базовую единицу СИ (метр) через фундаментальную константу – скорость света в вакууме.



Метр с секундой были переопределены через скорость света (свет проходит точно 299 792 458 метров за секунду) и излучение охлажденного атома цезия (строго 9 192 631 770 периодов излучения за секунду)

Новый эталон килограмма

С 20 мая 2019 года килограммом будет считаться не вес эталонного цилиндра, килограмм в соответствии с новым подходом отказа от физических артефактов, используемых длительное время в качестве образцов, эталонов единиц измерения, теперь определяется через постоянную Планка, фундаментальную константу.

Килограмм был последней мерой, эталоном которой служил физический прототип, отметил руководитель Национальной лаборатории метрологии и испытаний Франции Тома Гренон. Теперь килограмм будет определяться не весом эталона, а количеством энергии, необходимой для того, чтобы сдвинуть с места объект весом в килограмм.

Новый эталон массы можно реализовать с помощью весов Киббла. Эталоном является груз, который уравновешивает силу отталкивания между постоянным магнитом и катушкой, по которой пропускают ток. Таким образом, массу объекта можно найти за счёт равенства электрической и механической сил. Об устройстве и о том, что такое ватт-баланс можно прочитать здесь.

Новое определение ампера

Эталон ампера был утверждён в 1948 г. Он основывался на измерении силы, действующей на параллельные проводники с током. Теперь учёные решили зафиксировать численное значение электрического заряда и использовать его в определении ампера.

Информация об изменениях в определении базовых единиц в системе СИ

Ниже скриншоты из документа (ссылка на PDF) с информацией об изменениях в Международной системе СИ. Несколько лет, предшествующие голосованию на 26-й конференции, были потрачены на перепроверку и на измерения значений фундаментальных постоянных с максимальной точностью. Значения фундаментальных постоянных, через которые определены все базовые единицы:

On the revision of the International System of Units (SI)

The General Conference on Weights and Measures (CGPM), at its 26th meeting,

decides that, effective from 20 May 2019, the International System of Units, the SI, is the system of units in which:

- the unperturbed ground state hyperfine transition frequency of the caesium 133 atom $\Delta\nu_{Cs}$ is 9 192 631 770 Hz,
- the speed of light in vacuum c is 299 792 458 m/s,
- the Planck constant h is $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J s,
- the elementary charge e is $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C,
- the Boltzmann constant k is $1.380\,649 \times 10^{-23}$ J/K,
- the Avogadro constant N_A is $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ mol^{-1},
- the luminous efficacy of monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} Hz, K_{cd}, is 683 lm/W,

where the hertz, joule, coulomb, lumen, and watt, with unit symbols Hz, J, C, lm, and W, respectively, are related to the units second, metre, kilogram, ampere, kelvin, mole, and candela, with unit symbols s, m, kg, A, K, mol, and cd, respectively, according to $Hz = s^{-1}$, $J = m^2\ kg\ s^{-2}$, $C = A\ s$, $lm = cd\ m^2\ m^{-2} = cd\ sr$, and $W = m^2\ kg\ s^{-3}$.

Определения семи базовых единиц СИ: новые – для килограмма, ампера, кельвина и моля:

Appendix 3. The base units of the SI

Starting from the new definition of the SI described above in terms of fixed numerical values of the defining constants, definitions of each of the seven base units are deduced by taking, as appropriate, one or more of these defining constants to give the following set of definitions, effective from 20 May 2019:

- The second, symbol s, is the SI unit of time. It is defined by taking the fixed numerical value of the caesium frequency $\Delta\nu_{Cs}$, the unperturbed ground-state hyperfine transition frequency of the caesium 133 atom, to be 9 192 631 770 when expressed in the unit Hz, which is equal to s^{-1}.

- The metre, symbol m, is the SI unit of length. It is defined by taking the fixed numerical value of the speed of light in vacuum c to be 299 792 458 when expressed in the unit m/s, where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{Cs}$.

- The kilogram, symbol kg, is the SI unit of mass. It is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant h to be $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ when expressed in the unit J s, which is equal to kg m^2 s^{-1}, where the metre and the second are defined in terms of c and $\Delta\nu_{Cs}$.

- The ampere, symbol A, is the SI unit of electric current. It is defined by taking the fixed numerical value of the elementary charge e to be $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ when expressed in the unit C, which is equal to A s, where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{Cs}$.

- The kelvin, symbol K, is the SI unit of thermodynamic temperature. It is defined by taking the fixed numerical value of the Boltzmann constant k to be $1.380\ 649 \times 10^{-23}$ when expressed in the unit J K^{-1}, which is equal to kg m^2 s^{-2} K^{-1}, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h, c and $\Delta\nu_{Cs}$.

- The mole, symbol mol, is the SI unit of amount of substance. One mole contains exactly $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ elementary entities. This number is the fixed numerical value of the Avogadro constant, N_A, when expressed in the unit mol^{-1} and is called the Avogadro number.

  The amount of substance, symbol n, of a system is a measure of the number of specified elementary entities. An elementary entity may be an atom, a molecule, an ion, an electron, any other particle or specified group of particles.

- The candela, symbol cd, is the SI unit of luminous intensity in a given direction. It is defined by taking the fixed numerical value of the luminous efficacy of monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} Hz, K_{cd}, to be 683 when expressed in the unit lm W^{-1}, which is equal to cd sr W^{-1}, or cd sr kg^{-1} m^{-2} s^3, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h, c and $\Delta\nu_{Cs}$.

Директор Международного бюро мер и весов Мартин Милтон назвал итоги голосования 16-го ноября "исторической вехой", сравнив его с принятием в 1875 году Метрической конвенции. Теперь взаимосвязи в системе СИ выглядят более гармонично:

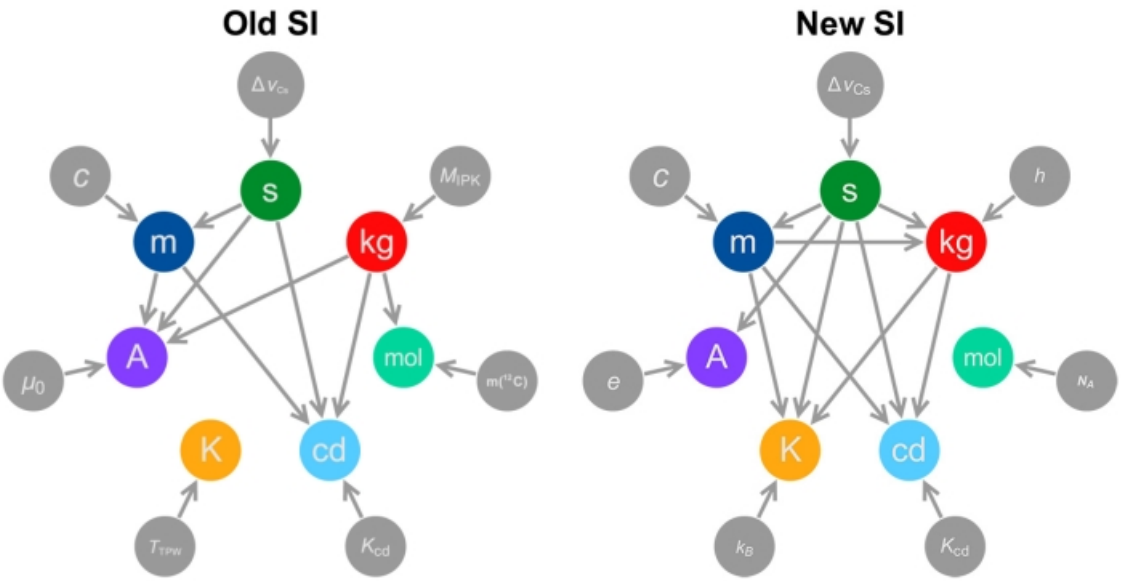


Иллюстрация из статьи "Килограмм стал нематериальным"