

## О реформировании Международной системы единиц

Международная система единиц (SI) принята на 11-м заседании Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ) в 1960 г. и является естественным развитием метрической системы мер, зародившейся в XVIII в. На первом этапе SI включала шесть основных единиц: **килограмм, метр, секунда, ампер, кельвин и кандела**, а в 1971 г. введена ещё одна основная единица – **моль**.

Метрологи всегда стремились перейти в определениях единиц от искусственно созданных артефактов к природным объектам. В этой связи в 1967 г. секунда была определена с привязкой к свойствам атомов – к периоду перехода в атоме цезия-133. В 1983 г. впервые единица SI – единица длины *метр* – была определена путём фиксации точного значения физической константы – скорости света в вакууме. Хотя изначально (1960 г.) определение единицы силы электрического тока *ампер* неявно предполагало точное значение магнитной постоянной  $\mu_0$ .

К концу XX в. сложилась ситуация, при которой единственной величиной, определяемой искусственным артефактом, осталась единица массы – *килограмм*. Международный прототип килограмма (МПК) был изготовлен в 1889 г. в виде платиноиридиевого цилиндра и передан на хранение в Международное бюро мер и весов (МБМВ). Так как *килограмм* не связан ни с каким природным инвариантом, то МПК мог быть утрачен при стихийном бедствии или испорчен без возможности восстановления. Кроме этого, за 100 лет сличений МПК с его копиями (которые хранятся в нескольких метрологических институтах стран-подписантов Метрической конвенции) появилось постепенно увеличивающееся расхождение на уровне 50 мкг. Именно поэтому, а также учитывая потребность современной науки и техники в проведении измерений массы с высокой точностью, на 21-м заседании ГКМВ (1999 г.) была принята Резолюция 7 о необходимости проведения национальными метрологическими институтами стран-членов Метрической конвенции экспериментов по выражению единицы массы через фундаментальные константы.

Одновременно работы по снижению неопределённости воспроизведения температуры тройной точки воды, значение которой входит в определение единицы кельвина, привели к необходимости контроля содержания примесей и установления требований к изотопному составу воды, используемой при экспериментальном воспроизведении.

Также успехи второй половины XX в. в изучении квантовых электрических эффектов, в частности эффекта Джозефсона и квантового эффекта Холла, привели к тому, что с 1990 г. практические рекомендации по точному воспроизведению величины вольта и ома основаны на указанных выше квантовых эф-

фектах, а основная величина SI – *ампер* – воспроизводится косвенным образом.

Таким образом, в связи с развитием фундаментальной науки и экспериментальной техники в 2005 г. на 94-м заседании Международного комитета по мерам и весам (МКМВ) была принята Рекомендация о подготовительных мерах по переопределению килограмма, ампера, кельвина и моля с их привязкой к точно известным (фиксированным, т. е. имеющим нулевую неопределённость) значениям фундаментальных констант. Для решения поставленных задач было необходимо, во-первых, установить набор фундаментальных физических (определяющих) констант для переопределения четырёх вышеуказанных единиц, а во-вторых, измерить (определить) выбранные константы с наивысшей доступной точностью. Набор констант для переопределений был установлен в составе постоянной Планка, элементарного электрического заряда, постоянной Больцмана и постоянной Авогадро. В соответствии с рекомендациями консультативных комитетов по четырём вышеуказанным единицам условием фиксации точных значений этих констант должно было стать достижение относительных стандартных неопределённостей их измерений на уровне не более чем  $2 \cdot 10^{-8}$  для постоянной Планка и постоянной Авогадро,  $1 \cdot 10^{-8}$  для элементарного электрического заряда и  $1 \cdot 10^{-6}$  для постоянной Больцмана.

В 2017 г. международный Комитет по численным данным для науки и техники (CODATA) на основании результатов исследований, проведённых в метрологических институтах, подготовил и опубликовал согласованные значения этих констант<sup>1</sup>. Логичным завершением этой длительной и кропотливой работы стало принятие 16 ноября 2018 года на 26-м заседании ГКМВ (Версаль, Франция) нового определения системы SI. Теперь определение всех семи основных единиц сформулированы единообразно путём принятия точных значений (с нулевой неопределённостью) семи определяющих констант.

Новое определение системы SI не налагает каких-либо ограничений на конкретный экспериментальный способ воспроизведения значений единиц. Может применяться любой способ, который, опираясь на принятые значения констант, позволяет воспроизвести единицу с требуемой потребителю точностью. Тем не менее, проекты рекомендации по практической реализации основных единиц SI (в том числе с наивысшей на настоящий момент точностью) подготовлены соответствующими консультативными комитетами и с ними уже сейчас можно ознакомиться на сайте МБМВ <https://www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/>.

Далее приведён полный текст Резолюции 1 «О пересмотре Международной системы единиц», принятой на 26-м заседании ГКМВ.

<sup>1</sup> Newell D.B. et al. The CODATA 2017 values of  $h$ ,  $e$ ,  $k$  and  $N_A$  for the revision of the SI, Metrologia, 2018, 55(1), L13–L16.