

Историческая справка по основным единицам (из пресс-кита BIPM).

Единица времени – секунда

До 1960 года единица времени, секунда, определялась как $1/86\,400$ часть средней продолжительности солнечных суток. Точное определение «средних солнечных суток» было оставлено для астрономов. Однако измерения показали, что неоднородности вращения Земли сделали это определение неудовлетворительным. Чтобы точнее определить единицу времени, 11-я ГКМВ, CGPM, (1960, Resolution 9, CR, 86) приняла определение, данное Международным астрономическим союзом на основе тропического года 1900 г.

Однако эксперименты уже показали, что атомный эталон времени, основанный на переходе между двумя энергетическими уровнями атома или молекулы, может быть реализован и воспроизведен гораздо точнее. Учитывая, что очень точное определение единицы времени является незаменимым для науки и техники, 13-я ГКМВ (1967-1968, Resolution 1, CR, 103 и *Metrologia*, 1968, 4, 43) выбрала новое определение секунды, которое основано на частоте сверхтонкого перехода основного состояния атома цезия 133. В настоящее время пересмотренная, более точная формулировка этого же определения на основании фиксированного численного значения невозмущенной фазы сверхтонкого перехода основного состояния атома цезия 133, $\Delta\nu_{Cs}$, одобрена в Резолюции 1 26-ой ГКМВ (2018).

Единица длины – метр

Определение метра 1889 года, а именно длина международного платиноиридиевого прототипа, было заменено 11-й ГКМВ (1960), используя определение, основанное на длине волны излучения, соответствующей конкретному переходу в криптоне 86. Данное изменение было принято с целью повышения точности, с которой может быть реализовано определение метра, что достигается с помощью интерферометра с передвижным микроскопом для измерения оптической разности хода при подсчете полос. В свою очередь, это определение было заменено в 1983 году на 17-ой ГКМВ (Resolution 1, CR, 97 и *Metrologia*, 1984, 20, 25) определением, основанном на расстоянии, на которое свет перемещается в вакууме за определенный промежуток времени, как представлено 2.2. Оригинальный международный прототип метра, который был утвержден 1-ой ГКМВ в 1889 году (CR, 34-38), по-прежнему хранится в МБМВ, BIPM, в условиях, определенных в 1889 году. Для уточнения его зависимости от фиксированного численного значения скорости света, c , формулировка определения была изменена в Резолюции 1 26-ой ГКМВ (2018).

Единица массы – килограмм

По определению 1889 года килограмм - это просто масса международного прототипа килограмма, артефакта из платины-иридия. Он хранился и до сих пор хранится в МБМВ (BIPM) в условиях, определенных 1-ой ГКМВ (1889, CR, 34-38),

когда она утвердила прототип и заявила, что «этот прототип впредь будет считаться единицей массы». Примерно в то же время были сделаны сорок аналогичных прототипов, и все они были обработаны и отшлифованы так, чтобы иметь ту же массу, что и международный прототип. На 1-й ГКМВ (1889 г.) после калибровки по международному прототипу большинство этих «национальных прототипов» были индивидуально приписаны государствам-членам Метрического Конвенции, а несколько также МБМВ.

3-я ГКМВ (1901, CR, 70) в заявлении, направленном на то, чтобы положить конец неоднозначности общего использования в отношении термина «вес, weight», подтвердила, что «килограмм является единицей массы; он равен массе международного прототипа килограмма». Ко времени второго сличения национальных прототипов в 1946 году было установлено, что в среднем массы этих прототипов отличаются от массы международного прототипа. Это было подтверждено третьим сличением, проведенным с 1989 по 1991 год, причем средняя разность составила около 25 микрограмм для набора первичных прототипов, утвержденных 1-й ГКМВ (1889). Для обеспечения долгосрочной стабильности единицы массы, для того, чтобы в полной мере использовать квантовые электрические эталоны и быть полезнее для современной науки, было принято решение принять новое определение килограмма, основанное на значении фундаментальной константы, в качестве которой по Резолюции 1 26-ой ГКМВ (2018) была выбрана постоянная Планка h .

Единица электрического тока – ампер

Электрические единицы, называемые «международными единицами», для тока и сопротивления введены Международным электротехническим конгрессом, состоявшимся в Чикаго в 1893 году, а определения «международного ампера» и «международного ома» были подтверждены Международной конференцией в Лондоне в 1908 году.

Ко времени 8-ой ГКМВ (1933) проявилось единодушное желание заменить «международные единицы» так называемыми «абсолютными единицами». Однако из-за того, что некоторые лаборатории еще не завершили эксперименты, необходимые для определения соотношений между международными и абсолютными единицами, ГКМВ предоставила полномочия МКМВ (CIPM) принять решение в соответствующее время, как об этих соотношениях, так и о дате вступления в силу новых абсолютных единиц. МКМВ сделал это в 1946 году (1946, Resolution 2, PV, 20, 129-137), когда он решил, что новые единицы вступят в силу с 1 января 1948 года. В октябре 1948 года 9-я ГКМВ одобрила решения, принятые МКМВ. Определение ампера, выбранное МКМВ, было основано на силе между параллельными проводниками, несущими электрический ток, и оно имело эффект фиксации численного значения магнитной проницаемости в вакууме, μ_0 (также называемой магнитной постоянной). Численное значение диэлектрической проницаемости в вакууме, ϵ_0 (также называемое электрической постоянной) стало затем фиксированным в результате нового определения метра, принятого в 1983 году.

Однако определение ампера 1948 года оказалось трудным для реализации. И почти повсеместно в качестве практической реализации ампера через закон Ома стали применяться практические квантовые эталоны (основанные на эффекте Джозефсона и квантовом эффекте Холла), привязывающие как вольт, так и ом к конкретным комбинациям постоянной Планка h и элементарному заряду e (18-я ГКМВ (1987), Resolution 6, CR 100). В результате, стало естественным не только зафиксировать численное значение h для переопределения килограмма, но и зафиксировать численное значение e для переопределения ампера, чтобы привести практические квантовые электрические эталоны в точное соответствие с СИ. Настоящее определение, основанное на фиксированном численном значении элементарного заряда, e , было принято в Резолюции 1 26-ой ГКМВ (2018).

Единица термодинамической температуры – кельвин

Определение единицы термодинамической температуры было дано на 10-ой ГКМВ (1954, Resolution 3, CR 79), которая выбрала тройную точку воды, TTPW, в качестве фундаментальной фиксированной точки и приписала ей температуру 273,16 K, тем самым определяя кельвин. На 13-ой ГКМВ (1967-1968 гг., Resolution 3, CR, 104 и *Metrologia*, 1968, 4, 43) для единицы, определенной таким образом, вместо названия «градус кельвина, degree kelvin», обозначение °K, было дано название «кельвин, kelvin», обозначение K. Однако практические трудности в реализации этого определения, требующие образца чистой воды с четко определенным изотопным составом, и разработка новых первичных методов термометрии, привели к принятию нового определения кельвина основанного на фиксированном численном значении постоянной Больцмана k . Настоящее определение, в котором устранены оба эти ограничения, было принято в Резолюции 1 26-ой КГПМ (2018 год).

Единица количества вещества – моль

После открытия основных законов химии для определения количеств химических элементов или соединений использовались единицы, называемые, например, «грамм-атом» и «грамм-молекула». Эти единицы имели непосредственную связь с «атомными весами» и «молекулярными весами», которые в действительности являются относительными атомными и молекулярными массами. Первоначально, первые компиляции «атомных весов» были привязаны к атомному весу кислорода, который, по общему соглашению, принимался равным 16. В то время как физики разделяли изотопы в масс-спектрометре и присваивали значение 16 одному из изотопов кислорода, химики приписывали такое же значение (слегка изменчивой) смеси изотопов 16, 17 и 18, которая для них составляла существующий в природе простой элемент кислород. В 1959-1960 годах эту двойственность привело к концу соглашение между Международным союзом чистой и прикладной физики (ИЮПАП, IUPAP) и Международным союзом чистой и прикладной химии (ИЮПАК, IUPAC). Физики и химики согласились присвоить значение точно 12 так называемому атомному весу, правильно именуемому относительной атомной массой A_r , изотопу углерода с массовым числом 12 (углерод 12, ^{12}C). Таким образом, полученная унифицированная шкала дает относительные атомные и молекулярные массы,

также известные как атомные и молекулярные веса, соответственно. Данное соглашение не влияет на переопределение моля.

Величина, используемая химиками для определения количества химических элементов или соединений, называется «количеством вещества». Количество вещества, обозначение n , определяется как пропорциональное числу указанных элементарных элементов N в образце, причем константа пропорциональности является универсальной константой, одинаковой для всех химических элементов. Константа пропорциональности представляет собой величину, обратную константе Авогадро N_A , так что $n = N/N_A$. Единица количества вещества называется *моль*, обозначение моль, mol. В 1967 году, в соответствии с предложениями IUPAP, IUPAC и ISO, МКМВ (CIPM) сформулировал определение моля и подтвердил его в 1969 году, указав, что молярная масса углерода 12 должна составлять ровно 0,012 кг/моль. Это позволило определять $nS(X)$, количество вещества любого чистого образца S элемента X , непосредственно из массы образца mS и молярной массы $M(X)$ химического элемента X . Причем при использовании соотношения $nS(X) = mS/M(X)$ и $M(X) = A_r(X)$ г/моль, молярная масса определяется из ее относительной атомной массы A_r (атомного или молекулярного веса) без необходимости точного знания постоянной Авогадро.

Таким образом, данное определение моля зависело от определения артефакта килограмма. Определенное таким способом, численное значение постоянной Авогадро было равно числу атомов в 12 г углерода 12. Однако благодаря последним научно-техническим достижениям это число теперь известно с такой точностью, что стало возможным более простое и универсальное определение моля, а именно, точно указывая количество химических элементов (entities) в одном моле любого вещества, тем самым фиксируя численное значение постоянной Авогадро. Это привело к тому, что новое определение моля и значение постоянной Авогадро больше не зависят от определения килограмма. Таким образом, подчеркивается принципиальное различие между величинами «количество вещества» и «масса». Настоящее определение моля, основанное на фиксированном численном значении постоянной Авогадро, N_A , было принято в Резолюции 1 26-ой ГКМВ (2018).

Единица силы света - кандела

Единицы силы света, основанные на пламенном эталоне или эталоне с нитью накала, применяемые в разных странах до 1948 года, сначала были заменены «новой свечой, канделой, new candle», основанной на яркости излучателя Планка (абсолютно черного тела) при температуре замерзания платины. Данное изменение было подготовлено Международной комиссией по освещению (CIE) и МКМВ до 1937 года, и решение по нему было объявлено МКМВ в 1946 году. Затем в 1948 году оно было ратифицировано 9-ой ГКМВ, которая установила новое международное название для этой единицы, *кандела*, обозначение кд (cd); в 1954 году 10-я ГКМВ учредила канделу в качестве основной единицы. В 1967 году 13-я ГКМВ (Resolution 5, CR, 104 и *Metrologia*, 1968, **4**, 43-44) внесла поправки в это определение. В 1979 году из-за трудностей с реализацией излучателя Планка при высоких температурах и с учетом новых возможностей радиометрии, то есть измерения мощности оптического излучения, 16-я ГКМВ

(1979, Resolution 3, CR, 100 и *Metrologia*, 1980, **16**, 56) приняли новое определение канделы.

Настоящее определение канделы, использующее фиксированное численное значение для световой эффективности монохроматического излучения с частотой 540×10^{12} Гц, *Kcd*, принято в Резолюции 1 26-ой ГКМВ (2018).