

- **О возможности пересмотра в будущем Международной системы единиц (SI)**

Резолюция 1

Генеральная конференция мер и весов (ГКМВ) на 24-м заседании,

принимая во внимание

- международный консенсус в отношении важности, значимости и потенциальных преимуществ переопределения некоторых единиц Международной системы единиц (SI);
- тот факт, что в течение многих лет Национальные метрологические институты (НМИ), а также Международное бюро мер и весов (МБМВ) прилагали значительные усилия, направленные на развитие и усовершенствование Международной системы единиц (SI) посредством расширения границ метрологии, чтобы основные единицы SI могли определяться в терминах природных инвариантов – фундаментальных физических постоянных или свойств атомов;
- тот факт, что ярким примером успешности данных усилий является текущее определение единицы длины, метра (17 заседание ГКМВ, 1983 год, Резолюция 1) в тесной связи с точным значением скорости света в вакууме, c , а именно 299 792 458 м в секунду;
- тот факт, что из семи основных единиц SI только килограмм еще определяется в терминах материального артефакта – международного прототипа килограмма (1-я Генеральная конференция мер и весов (1889), 3-я Генеральная конференция мер и весов (1901), а также что определения ампера, моля и канделы зависят от килограмма;
- тот факт, что несмотря на то, что международный прототип прекрасно служил науке после своего утверждения на 1-м заседании ГКМВ в 1889 году, он характеризуется значительными ограничениями, одним из самых существенных среди которых является то, что его масса непосредственно не связана с природным инвариантом, и как следствие, его долговременная стабильность не гарантируется;
- тот факт, что ГКМВ на своем 21-м заседании в 1999 году приняла Резолюцию 7, в которой предоставила рекомендации, согласно которым “национальные лаборатории должны продолжать прилагать максимальные усилия по усовершенствованию экспериментов, которые связывают единицу массы с фундаментальными или атомными постоянными в целях последующего переопределения килограмма”;
- тот факт, что за последние годы удалось добиться значительного прогресса в связывании массы международного прототипа с постоянной Планка, h , с использованием методов, которые включают применение ватт-весов, а также измерение массы атома кремния;

- тот факт, что неопределенности всех электрических единиц SI, реализованных непосредственно либо косвенно посредством совместного применения эффектов Джозефсона и квантового эффекта Холла вместе со значениями SI для постоянных Джозефсона и фон Клитцинга K_J и R_K , можно значительно снизить, если переопределить килограмм таким образом, чтобы он был связан с точным числовым значением h , а также если переопределить ампер таким образом, чтобы он был связан с точным числовым значением элементарного заряда e ;
- тот факт, что кельвин в настоящее время определяется в терминах внутренних свойств воды, хотя и является природным инвариантом, и на практике зависит от чистоты и изотопного состава используемой воды;
- тот факт, что существует возможность переопределения кельвина таким образом, чтобы он был связан с точным числовым значением постоянной Больцмана, k ;
- тот факт, что также существует возможность переопределения моля таким образом, чтобы он был связан с точным числовым значением постоянной Авогадро, N_A , и, таким образом, больше не зависел от определения килограмма, даже когда килограмм определяется таким образом, что связывается с точным числовым значением h , что подчеркивает разницу между количеством вещества и массой;
- тот факт, что неопределенности значений многих прочих важных фундаментальных постоянных, а также коэффициенты конверсии энергии будут устранены или значительно снижены, если h , e , k и N_A будут иметь точные числовые значения при выражении в единицах SI;
- тот факт, что Генеральная конференция на своем 23-м заседании в 2007 году приняла Резолюцию 12, в которой определяется деятельность, которую должны осуществлять НМИ, МБМВ, а также Международный комитет мер и весов (МКМВ) вместе со своими консультативными комитетами, чтобы можно было принять новое определение килограмма, ампера, кельвина и моля в терминах фундаментальных постоянных;
- тот факт, что несмотря на значительный прогресс в работе, не все требования, установленные в Резолюции 12, принятой Генеральной конференцией на 23-м заседании в 2007 году, были выполнены, вследствие чего Международный комитет мер и весов пока не готов вынести окончательное предложение;
- тот факт, что тем не менее, в настоящее время может быть представлено четкое и детальное пояснение по грядущему предложению.

Примечание: Международный комитет мер и весов предлагает пересмотр SI следующим образом:

- Международная система единиц (SI) будет представлять собой систему единиц, в которой:
 - сверхточная частота разделения атома цезия $133 \Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ в квантовом состоянии составляет точно 9 192 631 770 Герц,
 - скорость света в вакууме c составляет точно 299 792 458 метров в секунду,
 - постоянная Планка h составляет точно $6,626\ 06X \times 10^{-34}$ джоуль-сек.,
 - элементарный заряд e составляет точно $1,602\ 17X \times 10^{-19}$ кулон,
 - постоянная Больцмана k составляет точно $1,380\ 6X \times 10^{-23}$ джоулей на кельвин,
 - постоянная Авогадро N_A составляет точно $6,022\ 14X \times 10^{23}$ моля,
 - световая эффективность K_{cd} монохроматического излучения с частотой 540×10^{12} Гц составляет точно 683 люмена на ватт,

где

(i) герц, джоуль, кулон, люмен и ватт с их соответствующими обозначениями Гц, Дж, Кл, лм и Вт соответственно относятся к единицам секунды, метра, килограмма, ампера, кельвина, моля и канделы с символами единиц с, м, кг, А, К, моль и кд, соответственно, где $\text{Гц} = \text{с}^{-1}$, $\text{Дж} = \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$, $\text{Кл} = \text{с} \cdot \text{А}$, $\text{лм} = \text{кд} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2} = \text{кд} \cdot \text{ср}$, $\text{Вт} = \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$,

(ii) Символ X в данном проекте резолюции представляет собой одну или несколько дополнительных цифр, которые нужно добавить к числовым значениям h , e , k и N_A с использованием значений, основанных на самой последней корректировке CODATA, на основании которой SI будет располагать семью базовыми единицами, в частности:

- килограмм будет продолжать являться единицей массы, но его величина будет устанавливаться посредством фиксации числового значения постоянной Планка, чтобы получалось точное значение $6,626\ 06X \times 10^{-34}$ при выражении в единице SI $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$, что равняется Дж·с,
- ампер будет продолжать являться единицей электрического тока, но его величина будет устанавливаться посредством фиксации числового значения элементарного заряда, чтобы получалось точное значение $1,602\ 17X \times 10^{-19}$ при выражении в единице SI $\text{с} \cdot \text{А}$, что составляет Кл,
- кельвин будет продолжать являться термодинамической температурой, но его величина будет устанавливаться посредством фиксации числового значения постоянной Больцмана, чтобы получалось точное значение $1,380\ 6X \times 10^{-23}$ при выражении в единице SI $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$, что равняется Дж·К⁻¹,
- моль будет продолжать являться единицей количества вещества определенной элементарной частицы, например, атома, молекулы, иона, электрона, а также прочих частиц или групп частиц, но его величина будет устанавливаться посредством фиксации числового

значения постоянной Авогадро, чтобы получалось точное значение $6,022 14 \times 10^{23}$ при выражении в единице SI моль⁻¹.

Генеральная конференция мер и весов

дополнительные примечания (с момента внедрения)

- новые определения килограмма, ампера, кельвина и моля должны будут иметь характер постоянных, т.е. это будут определения, в которых единица определяется косвенно, посредством указания точного значения признанной фундаментальной постоянной;
- существующее определение метра связано с точным значением скорости света в вакууме, которая также является общепризнанной фундаментальной постоянной;
- существующее определение секунды связано с точным значением четко определенного свойства атома цезия, которое также является природным инвариантом;
- хотя существующее определение канделы не связано с фундаментальной постоянной, его можно рассматривать как связанное с точным значением природного инварианта;
- будет совершенствоваться понимание Международной системы, если все ее базовые единицы будут выражаться в сходных терминах.

Международная конференция мер и весов, также предложит переформулировку существующих определений секунды, метра и канделы в абсолютно идентичных формах, в частности:

- секунда, символ с, является единицей времени; ее величина устанавливается посредством фиксации числового значения сверхточной частоты разделения атома цезия ¹³³ в спокойном состоянии и при температуре 0 К, чтобы получалось точное значение 9 192 631 770 при выражении в единице SI с⁻¹, что эквивалентно Гц;
- метр, символ м, является единицей длины; ее величина устанавливается посредством фиксации числового значения скорости света в вакууме, чтобы получалось точное значение 299 792 458 при выражении в единице SI м·с⁻¹;
- кандела, символ кд, является единицей силы света в определенном направлении; ее величина устанавливается посредством фиксации числового значения световой эффективности монохромного излучения с частотой 540×10^{12} Гц, чтобы получалось точное значение 683 при выражении в единице SI м⁻²·кг⁻¹·с³·кд·ср или кд·ср·Вт⁻¹, что эквивалентно лм·Вт⁻¹.

Таким образом, определения всех семи базовых единиц будут естественным образом вытекать из семи постоянных, приведенных выше.

Как следствие, на дату, выбранную для внедрения пересмотра SI:

- определение килограмма, действующее с 1889 года и основанное на массе международного прототипа килограмма (1 заседание ГКМВ, 1889 г., 3 заседание ГКМВ, 1901 г.) будет аннулировано;
- определение ампера, действующее с 1948 года (9 заседание ГКМВ, 1948 г.) и основанное на определении, предложенном Международным комитетом (МКМВ, 1946 г., Резолюция 2) будет аннулировано;
- условные значения постоянной Джозефсона K_{J-90} и постоянной фон Клитцинга R_{K-90} , принятые Международным комитетом (МКМВ, 1988 г., Рекомендации 1 и 2) по запросу Генеральной конференции (18 заседание ГКМВ, 1987 г., Резолюция 6) по внедрению представлений вольта и ома с использованием эффекта Джозефсона и квантового эффекта Холла, соответственно, будут аннулированы;
- определение кельвина, действующее с 1967/1968 гг. (13 заседание ГКМВ, 1967/68 г., Резолюция 4) и основанное на менее точном предыдущем определении (10 заседание ГКМВ, 1954 г., Резолюция 3) будет аннулировано;
- определение моля, действующее с 1971 г. (14 заседание ГКМВ, 1971 г., Резолюция 3) и основанное на определении, согласно которому молярная масса углерода имеет точное значение $0,012 \text{ кг моль}^{-1}$, будет аннулировано;
- существующие определения метра, секунды и канделы, действующие с момента их принятия ГКМВ на 17-м (1983 г., Резолюция 1), 13-м (1967/68 гг., Резолюция 1) и 16-м (1979 г., Резолюция 3) заседаниях, соответственно, будут аннулированы.

Генеральная конференция мер и весов

дополнительные примечания (с той же даты)

- масса международного прототипа килограмма, $m(K)$, будет составлять точно 1 кг , но с относительной неопределенностью, равной рекомендуемому значению h непосредственно перед переопределением, и соответственно, в дальнейшем ее значение будет определяться экспериментальным образом;
- магнитная постоянная (проницаемость в вакууме) μ_0 будет составлять точно $4\pi \times 10^{-7} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$, но с относительной неопределенностью, равной рекомендуемому значению точной структурной постоянной α , и соответственно, ее значение будет определяться экспериментальным способом;
- термодинамическая температура тройной точки воды T_{TPW} будет составлять точно $273,16 \text{ К}$, но с относительной неопределенностью, равной рекомендуемому значению k непосредственно перед

переопределением, и соответственно, ее значение будет определяться экспериментальным способом;

- молярная масса углерода $12 M(^{12}\text{C})$ будет составлять точно $0,012 \text{ кг моль}^{-1}$, но с относительной неопределенностью, равной рекомендуемому значению $N_A h$ непосредственно перед переопределением, и соответственно, ее значение будет определяться экспериментальным способом.

Генеральная конференция мер и весов

призывает

- исследователей в национальных метрологических институтах, МБМВ и академических учреждениях продолжать работу и довести до сведения научного сообщества в целом и CODATA в частности результаты своей работы в области определения постоянных h , e , k , и N_A ,
- МБМВ продолжать свою работу в области прослеживаемости прототипов в отношении международного прототипа килограмма, а также в области разработки серии эталонов в целях упрощения распространения единицы массы после ее переопределения,

приглашает

- CODATA продолжать предоставлять скорректированные значения фундаментальных физических постоянных на основании всей доступной соответствующей информации, а также предоставлять результаты работы Международному комитету через его консультативный комитет по единицам, поскольку данные значения и неопределенности CODATA будут использоваться для переопределенной SI,
- МКМВ внести предложение по пересмотру SI в максимально короткие сроки после выполнения рекомендаций Резолюции 12 23-го заседания Генеральной конференции, в частности, по подготовке *практических мер* для нового определения килограмма, ампера, кельвина и моля,
- МКМВ продолжать работу над усовершенствованными формулировками определений базовых единиц SI в терминах фундаментальных постоянных с максимальным упрощением их описания для пользователей, а также с обеспечением четкости и ясности с научной точки зрения,
- МКМВ, консультативные комитеты, МБМВ и национальные метрологические институты значительно активизировать свою работу по инициированию информационных кампаний, направленных на информирование пользовательских сообществ и широкой общественности о намерении переопределить различные единицы SI, а также по стимулированию практического, технического и законодательного применения подобных переопределений в целях получения соответствующих комментариев и предложений от научных сообществ и сообществ потребителей.