

# Государственные первичные эталонны и их хранители как национальное достояние России.

*Подготовил:*

*Студент 2 курса БИРХ*

*Направление подготовки 16.03.03*

*Государственное БИРХ*

# Содержание

- ▣ **Введение**
- ▣ **1. Классификация эталонов**
- ▣ **2. Основные требования к государственным эталонам**
- ▣ **3. Структура и состав эталонной базы России**
- ▣ **4. Государственные эталоны основных единиц СИ**
  - 4.1 Государственный первичный эталон единицы массы
  - 4.2 Государственный первичный эталон единицы времени и частоты
  - 4.3 Государственный первичный эталон единицы длины
  - 4.4 Государственный первичный эталон единицы температуры
  - 4.5 Государственный первичный эталон единицы силы света
  - 4.6 Государственный первичный эталон единицы силы постоянного электрического тока
- ▣ **Заключение**
- ▣ **Список использованной литературы**

# Введение

**Одной из главных задач метрологии является обеспечение единства измерений. Решение этой задачи невозможно без создания эталонной базы измерений. Попытки решения задачи обеспечения единства измерений привели более двухсот лет назад во Франции к идее создания метрической системы, а затем – к подписанию рядом стран метрической конвенции в 1875 году. Именно с тех пор в метрологическую практику вошло слово «эталон».**

**В Законе Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» дано следующее определение эталона: «эталон единицы величины – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных, либо дольных значений единицы величины». В этом определении не учитывается, что эталоны воспроизводят и хранят не только единицы, но и шкалы измерений.**

**Наиболее удачным определением эталона следует признать выдвинутое рядом метрологов следующее понятие: «Эталон (шкалы или единицы измерений) – устройство, предназначенное и утвержденное для воспроизведения и (или) хранения и передачи шкалы или размера единицы измерений средствам измерений».**

# *Глава 1. Классификация эталонов*

**Чтобы разобраться в многообразии эталонов, следует рассмотреть как практически строятся и реализуются системы обеспечения единства измерений отдельных физических величин.**

**1. Очевидно, что достижению этой цели, прежде всего, будет способствовать применение одинаковых с точки зрения их определения единиц.**

- ▣ Очень важным этапом в решении обеспечения единства измерений явилась разработка международной системы единиц физических величин— СИ.**

**2. Однако одинаковости определения и наименования единиц какой-либо физической величины еще недостаточно.**

- ▣ Для обеспечения единства измерений этой физической величины важно, чтобы единицы были одинаковы в их вещественном выражении в тех образцах (эталонах), с которыми сравнивается измеряемая физическая величина.**

**Никакие два подобных образца не могут быть сделаны абсолютно одинаковыми**

**Отсюда следует, что среди таких образцов следует выбрать и узаконить какой-либо один, наилучшим образом соответствующий определению единицы, в качестве исходного эталона единицы, относительно которого затем определять и контролировать размер единицы для всех остальных образцов.**

**При наличии большого парка рабочих средств измерений различной точности возникает необходимость в создании системы образцов разной степени точности для данной измеряемой физической величины, и тем самым — к иерархической соподчиненности образцов единицы в такой системе. Именно по такому иерархическому принципу разрабатываются в нашей стране так называемые общероссийские поверочные схемы для средств измерений отдельных физических величин. Эти поверочные схемы являются нормативными документами (как правило, в виде ГОСТ), устанавливающими номенклатуру и соподчиненность средств измерений данной физической величины, обеспечивающих рациональную систему передачи размера единицы от единого исходного образца всем имеющимся в стране средствам измерений данной физической величины.**

# Первичные эталоны

- ▣ **Национальный эталон**
- ▣ **Международный эталон**
- ▣ **Специальный эталон**

# Вторичные эталоны

- ▣ **Эталон-копия**
- ▣ **Эталон сравнения**
- ▣ **Рабочий эталон**
- ▣ **Разрядный эталон**

**В зависимости от назначения и исполнения эталоны подразделяются следующим образом:**

- ▣ **одиночный эталон**
- ▣ **групповой эталон**
- ▣ **эталонный набор**
- ▣ **транспортируемый эталон**

## *Глава 2. Основные требования к государственным эталонам*



**Уникальность и исключительная значимость государственных эталонов в общероссийском масштабе предъявляют к ним ряд требований и правил организационного и юридического (правового) характера, таких как:**

- ▣ *Постоянство места хранения и применения государственных эталонов (в соответствующем метрологическом институте Госстандарта (Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии));*
- ▣ *Официальное назначение постоянных ученых — хранителей эталонов и их помощников из числа наиболее высококвалифицированных специалистов— метрологов в данной области измерений;*
- ▣ *Создание ряда вторичных эталонов для случаев особо массовых и прецизионных видов измерений.*

# *Глава 3. Структура и состав эталонной базы России*

**При построении любой системы единиц принципиально важными являются два момента: выбор основных единиц системы и выбор правил образования производных единиц. При построении СИ исходили из следующих соображений:**

- ▣ Система должна охватывать все области науки и техники;**
- ▣ Необходимо обеспечить максимальную преемственность удобных для практики размеров единиц (по крайней мере для основных);**
- ▣ Единицы основных величин должны быть воспроизведены с наибольшей точностью (при помощи эталонов);**
- ▣ Максимальная простота и однозначность образования производных единиц системы.**

**Эти четыре принципа привели к созданию системы, в которой в качестве основных единиц были выбраны метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела и моль, а все производные единицы являлись когерентными. Когерентные единицы образуют из уравнений связи между величинами, в которых числовые коэффициенты приняты равными 1 при подстановке единиц СИ.**

**Конструкция эталона, его физические свойства и способ воспроизведения единицы определяются физической величиной, единица которой воспроизводится, и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений. Эталон должен обладать по крайней мере тремя взаимосвязанными свойствами:**

- Неизменность – свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного интервала времени.**
- Воспроизводимость – возможность воспроизведения единицы физической величины на основе ее теоретического определения с наименьшей погрешностью для существующего уровня развития измерительной техники.**
- Сличаемость – возможность обеспечения сличения с эталоном других средств измерений, нижестоящих по поверочной схеме, в первую очередь вторичных эталонов, с наивысшей точностью для существующего уровня развития техники измерения.**

**Государственные эталоны России по своим метрологическим параметрам соответствуют международному уровню, а в отдельных случаях превосходят национальные эталоны некоторых высокоразвитых стран.**

Величина, значение или диапазон	СКО случайной погрешности	Неисключенная систематическая погрешность
Длина, 0-1 м	$2 \cdot 10^{-11}$	$10^{-9}$
Масса, 1 кг	$8 \cdot 10^{-9}$	
Время, с	$1 \cdot 10^{-14}$	$5 \cdot 10^{-14}$
Температура, К 0,8 – 273,16	0,001 К	0,003 К
Температура, °С 0– 2500	0,00005-1,4°С	0,00005-0,3°С
Сила постоянного электрического тока, А 1 $1 \cdot 10^{-3}$ $1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-16}$	$5 \cdot 10^{-8}$ $5 \cdot 10^{-8}$ $3 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-7}$ $2 \cdot 10^{-7}$ $5 \cdot 10^{-4} \dots 2,5 \cdot 10^{-2}$
Сила переменного (20 – $10^6$ Гц) электрического тока в диапазоне 1 мА – 20 А	$\leq 5 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$	$\leq 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-4}$
Сила переменного (0,1 – 300 МГц) электрического тока в диапазоне 0,04 – 300 А	$1 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$
Электродвижущая сила и электрическое напряжение, 1 В и 10 В	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$
Индуктивность 0,01 Гн $1 \cdot 10^3$ Гн	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Активное электрическое сопротивление, Ом 12906,4035 6453,20175 1	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-8}$
Электрическая емкость, пФ 0,2	$2 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$

# *Глава 4. Государственные эталоны основных единиц СИ*

*В соответствии с современными положениями СИ в качестве основных единиц приняты:*

- ▣ единица длины — метр (м);*
- ▣ единица массы — килограмм (кг);*
- ▣ единица времени — секунда (с);*
- ▣ единица силы электрического тока — ампер (А);*
- ▣ единица термодинамической температуры — кельвин (К);*
- ▣ единица силы света — кандела (кд);*
- ▣ единица количества вещества — моль (моль).*

*Каждая из основных единиц имеет строгое определение, выработанное в решениях Генеральной конференции мер и весов.*

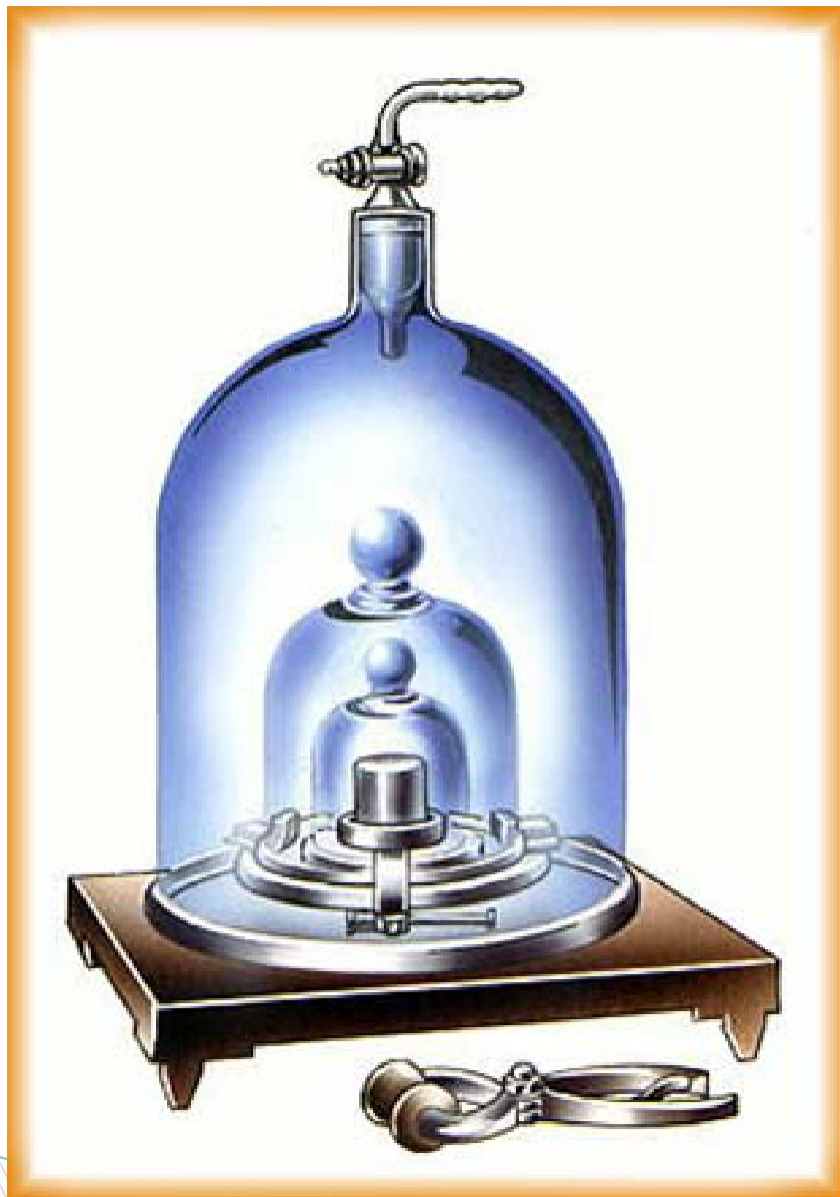
- ▣ **Метр** — длина пути, проходимого в вакууме светом за  $1/299792458$  доли секунды.*
- ▣ **Килограмм** — масса, равная массе международного прототипа килограмма, хранящегося в международном бюро мер и весов.*
- ▣ **Секунда** — интервал времени, равный  $9\,192\,631\,770$  периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 .*
- ▣ **Ампер** — сила неизменяющегося электрического тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии  $1$  м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной  $1$  м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.*
- ▣ **Кельвин** — интервал температуры, равный  $1/273,16$  части термодинамической температуры тройной точки воды.*
- ▣ **Кандела** — сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила излучения которого в этом направлении составляет  $1/683$  Вт · ср<sup>-1</sup>.*
- ▣ **Моль** — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в образце из углерода - 12 массой  $0,012$  кг.*



# *Глава 4.1 Государственный первичный эталон единицы массы*



- ▣ Государственный эталон единицы массы — килограмм — является самым древним из всех государственных эталонов**
- ▣ В 1878—83 гг. были изготовлены 43 новые килограммовые гири по образцу архивного килограмма из платиноиридиевого сплава. Одна из этих гирь, масса которой оказалась наиболее близкой к архивному килограмму, в 1899 г. на I ГКМВ была принята в качестве международного прототипа килограмма, который и определяет в настоящее время размер единицы массы для всех стран Метрической конвенции. Россия получила в 1889 году две копии (№12 и №26) международного килограмма.**



# **Государственный первичный эталон единицы массы**

- ▣ Масса прототипа №12 на 1889 г.  
составляла  $1\text{кг} + (0,068 \pm 0,002)\text{ мг}$ .**

## *Глава 4.2 Государственный первичный эталон единицы времени и частоты*

**Государственный первичный эталон единиц времени и частоты является самым сложным из всех эталонов. В его состав входит большой комплекс аппаратуры, каждое звено которого представляет весьма сложное техническое устройство.**

**Эталон в целом предназначен для воспроизведения и хранения:**

- 1) Единицы времени — "атомной" секунды (с);**
- 2) Единицы частоты — герца (Гц);**
- 3) Шкалы атомного времени — ТА ;**
- 4) Шкалы координированного времени — UTC .**

**Воспроизведение единицы времени (и частоты) в соответствии с ее определением осуществляет в эталоне специально созданная, уникальная по своим характеристикам установка— цезиевый репер частоты — реализующая с наивысшей точностью принцип цезиевой меры частоты**

Государственный эталон времени и частоты обеспечивает воспроизведение размеров единиц времени и частоты (секунды и герца) со средним квадратическим отклонением, не превышающим  $5 \cdot 10^{-14}$ , при не исключенной составляющей систематической погрешности менее  $10^{-14}$ .

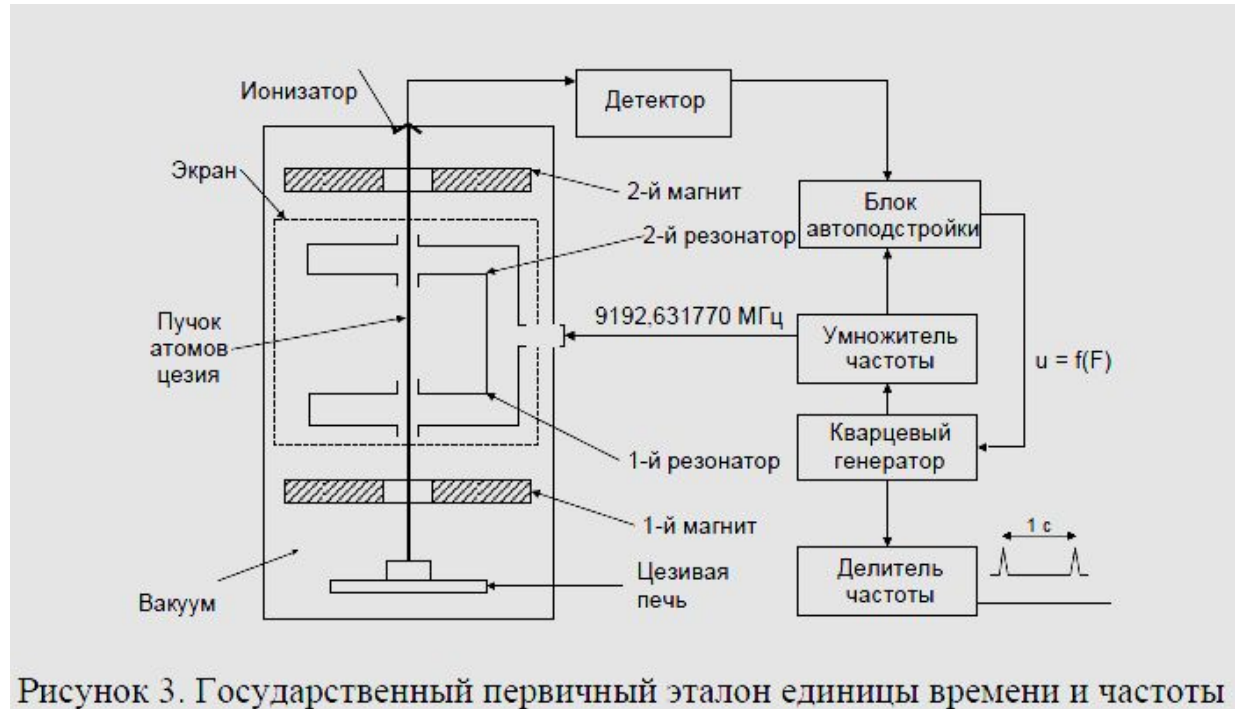


Рисунок 3. Государственный первичный эталон единицы времени и частоты

**Эталон соответствует определению единицы времени—секунды как интервала времени, в течение которого совершается 9192 631 770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями ( $F= 4, mF= 0$  и  $F= 3, mF = 0$ ) основного состояния атома цезия-133 в отсутствие внешних полей.**

## *Глава 4.3 Государственный первичный эталон единицы длины*

**В основе Государственного первичного эталона метра, как и в основе определения этой единицы, были заложены два фундаментальнейших свойства материи:**

- 1) Атомное "происхождение" оптического излучения, имеющего квантово-механический характер и**
- 2) Явление интерференции электромагнитных волн.**

**В 1983 г. XVII Генеральная конференция по мерам и весам приняла новое определение метра: "Метр – длина пути, проходимого в вакууме светом за  $1/299792458$  доли секунды". Новый эталон метра опирается на эталон единиц времени и частоты.**



На рисунке 4 приведена структурная схема единого эталона. В состав его входят: государственный первичный эталон единиц времени и частоты, включающий государственный эталон единиц времени и частоты (радиодиапазона), радиооптический частотный мост, лазеры ( $\lambda = 3,39$  мкм), а также государственный первичный эталон единицы длины (метра), включающий лазеры ( $\lambda = 0,633$  мкм), интерферометры 1 и 2 и установку для измерения отношения длин волн.



Рисунок 4. Государственный единый эталон единиц времени, частоты и длины

Этот эталон имеет погрешность воспроизведения в виде среднего квадратического отклонения результата измерений  $1 \cdot 10^{-11}$ .



# *Глава 4.4 Государственный первичный эталон единицы температуры*

**Специфика температурных измерений, связанная с неаддитивностью температуры, требует построения температурной шкалы, в которой единица должна быть определена фактически в каждой точке этой шкалы ( во всей области реализуемых температур). Сущность такой (термодинамической) температуры раскрывается при изучении обратимого цикла Карно, осуществляемого тепловой машиной, при котором поглощаемое количество теплоты  $Q_1$  при температуре  $T_1$  и отдаваемое количество теплоты  $Q_2$  при температуре  $T_2$  связаны однозначно между собой:  $Q_1 / Q_2 = T_1 / T_2$ . ( 1)**

**Это соотношение не зависит от свойств рабочего вещества, участвующего в цикле. Входящая в выражение температура  $T$  характеризует энергию внутреннего состояния и называется термодинамической температурой, а построенная на ее основе температурная шкала называется термодинамической температурной шкалой (ТТШ), или — шкалой Кельвина. Именно термодинамическая температура входит во все фундаментальные физические законы.**

**Для построения температурной шкалы необходимо выбрать начало отсчета и определить размер единицы. Естественным и удобным началом отсчета в ТТШ служит абсолютный нуль температуры; хотя он практически не реализуем, но этого и не требуется ввиду того, что существование  $T=0$  следует из самого понятия термодинамической температуры. Выбор единицы в ТТШ достигают фиксацией— $273,16\text{ К}$  — температурного интервала между абсолютным нулем и одной из наиболее точно реализуемых опорных (реперных) точек — температурой тройной точки воды.**

**Такой размер единицы для измерений температуры наиболее близок к размеру единицы шкалы Цельсия. Шкала Цельсия использует реперные точки, связанные с практически хорошо реализуемыми фазовыми состояниями системы молекул  $\text{H}_2\text{O}$ : точку таяния льда и точку кипения воды. Цельсий предложил интервал этих температур делить на 100 частей и тем самым ввел единицу для измерений температуры — градус Цельсия. Эта же единица была узаконена первой (I) ГКМВ в 1889 г., когда впервые принималась ТТШ для температурных измерений. Последующие точные измерения термодинамической температуры различных фазовых состояний позволили установить, что наиболее точно воспроизводится тройная точка воды, лежащая на  $0,01^\circ\text{C}$  выше точки таяния льда, и имеющая температуру  $273,16^\circ\text{K}$ . Десятая (X) ГКМВ в 1954 году установила ТТШ с одной реперной точкой— тройной точкой воды —и приписала ей точное значение  $T = 273,16\text{ К}$ . Поэтому связь между температурой в градусах Цельсия ( $t$ ) и термодинамической температурой ( $T$ ) определяется соотношением  $t = T - T_0$ , где  $T_0 = 273,15\text{ К}$ , а градус Цельсия ( $^\circ\text{C}$ ) равен Кельвину ( $\text{K}$ ).**

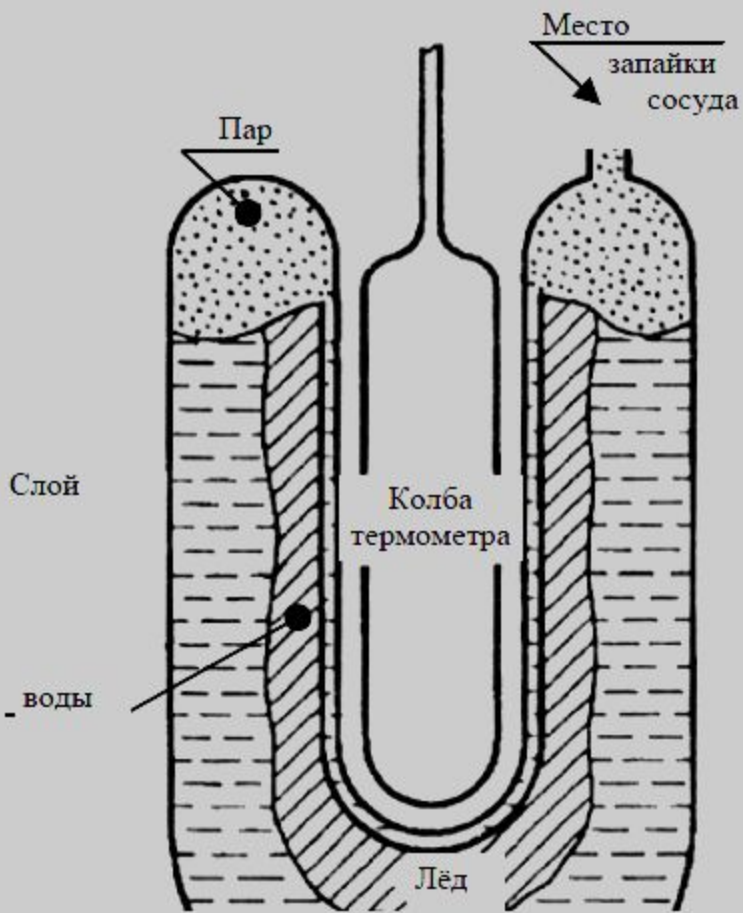


Рисунок 5. Эталон для воспроизведения единицы термодинамической температуры

На рисунке показана схема исходного эталона единицы температуры - кельвина. Внутри защищенной от внешних источников тепла камеры помещается сосуд (ампула) для образования тройной точки воды. В ампулу загружается лед (ледяная крошка). В результате длительного воздействия льда и воды в той области ампулы, которая соприкасается с ледяной крошкой, образуется слой льда, а на внутренней области ампулы, в центре которой имеется цилиндрическая полость для помещения термометра, остается очень тонкий слой воды. В верхней части ампулы вода находится в парообразном состоянии. Таким образом, воспроизводится тройная точка воды. В качестве термометра, регистрирующего состояние тройной точки воды, применяется газовый термометр, представляющий замкнутый объем, снабженный главным манометром и точным ртутным манометром для измерения давления газа. Температура с помощью газового термометра в первом приближении определяется по формуле  $PV=RT$  (для идеального газа), где  $P$  и  $V$  - давление и объем термометра с газом,  $R$  - газовая постоянная.

Тройная точка воды может быть воспроизведена с погрешностью не хуже  $0,0001^{\circ}\text{C}$ .

# *Глава 4.5 Государственный первичный эталон единицы силы света*

- ▣ **Размер единицы силы света (свечи), определенной на IX ГКМВ и уточненной на 20 ГКМВ (1967 г.) с присвоением наименования "кандела", определялся (кроме температур излучателя) площадью поперечного сечения полного излучателя и отличался от прежнего размера "международной свечи" на 0,5%.**
- ▣ **В 1979 году на XVI Генеральной конференции мер и весов было принято новое определение канделы, по которому она воспроизводится путем косвенных измерений.**
- ▣ **Кандела – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила излучения которого в этом направлении составляет  $1/683 \text{ Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$**
- ▣ **Современный государственный эталон канделы имеет диапазон номинальных значений 30 – 15000 кд, среднее квадратическое отклонение результата измерений -  $1 \cdot 10^{-3}$  кд ; неисключенная систематическая погрешность составляет  $2,5 \cdot 10^{-3}$  кд.**

***Глава 4.6 Государственный первичный  
эталон единицы силы постоянного  
электрического тока***



В соответствии с определением единицы силы тока эталон должен быть основан на измерении силы взаимодействия двух прямолинейных проводников бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенных на расстоянии 1 м один от другого в вакууме. При силе электрического тока в проводниках 1 А сила взаимодействия составляет  $2 \cdot 10^{-7}$  Н на каждый метр длины.

Эталон силы постоянного электрического тока в виде токовых весов включает в себя:

- электродинамическую систему, состоящую из подвижной катушки, имеющей две однослойные обмотки, и двух коаксиально расположенных неподвижных катушек с однослойными обмотками. Постоянная электродинамической системы составляет  $3860555 \cdot 10^{-8}$  Н/А<sup>2</sup>;
- рычажные весы с дистанционным управлением, к одному плечу которых присоединена подвижная катушка, к другому – «чашка» для установки добавочного груза;
- цилиндрическую гирю диаметром 5 мм и длиной 50 мм, имеющую массу 8,16044 г;
- аппаратуру для передачи размера ускорения свободного падения вторичному и рабочим эталонам силы электрического тока.

Погрешность воспроизведения данным эталоном единицы ампера, выраженная средним квадратическим отклонением результата измерений, составляет  $4 \cdot 10^{-6}$ , неисключённая составляющая систематической погрешности не превышает  $8 \cdot 10^{-6}$ . Этот эталон до 1992 года служил в качестве государственного эталона ампера.

Диапазон воспроизведения, А	Среднее квадратическое отклонение результата измерения, А	Неисключённая систематическая погрешность, А
1,0	$5 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$
$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$
$1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-16}$	$3 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4} \dots 2,5 \cdot 10^{-2}$
$1 \cdot 10^{-10} \dots 1 \cdot 10^{-16}$	$2 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3} \dots 2,5 \cdot 10^{-2}$
$1 \cdot 10^{-14}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
$1 \cdot 10^{-15}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$
$1 \cdot 10^{-16}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$

# Заключение

**Эталонная база России является, с одной стороны, самостоятельной и независимой, а с другой стороны, адаптированной к европейской и мировой системам обеспечения единства измерений.**

**Основными направлениями развития эталонной базы России в настоящее время являются:**

- ▣ Оптимизации эталонной базы по составу и структуре;**
- ▣ Создание системы взаимосвязи эталонов, в том числе "естественных", основанных на фундаментальных физических константах и статистических физических исследованиях в области воспроизведения основных и важнейших производных единиц;**
- ▣ Создание систем эталонов, в которой разумно сочетается централизованное и децентрализованное воспроизведение единиц;**
- ▣ Поисковое исследование и внедрение новых физических явлений и технологий, способных обеспечить научный прорыв при создании эталонов;**
- ▣ Разработка предельных по точности методов и средств измерений эталонного значения.**

**Эти направления конкретизованы в научно-технической программе "Эталоны России", главная цель которой – создание новых и совершенствование существующих государственных эталонов в таких важнейших областях науки и техники, как механика, электромагнетизм, термодинамика, оптикофизика, физикохимия, ядерная физика и др.**



## **Список литературы.**

- 1) Российская метрологическая энциклопедия. – Санкт-Петербург. Лики России, 2001.**
- 2) ГОСТ 8.057-80 ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения.**
- 3) Тарбеев Ю. В., Балалаев В. А. Государственные эталоны СССР. – М.: Машиностроение, 1981.**
- 4) Кузнецов В. А., Ялунина Г. В. Метрология (теоретические, прикладные и законодательные основы): Учеб. пособие. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.**
- 5) Сергеев А. Г., Крохин В. В. Метрология: Учебное пособие для вузов. – М.: Логос, 2000.**
- 6) Брянский Л. Н. Непричесанная метрология.- М.: ПОТОК – ТЕСТ, 2002.**

Спасибо за внимание

