

# **МЕТРОЛОГИЯ**

**ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ  
МЕТРОЛОГИИ**

## 1. Предмет и задачи метрологии

**Метрология** (от греч. μέτρον — мера, + др.-греч. λόγος — мысль, причина) — наука об измерениях, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Нормативная база для этого — метрологические стандарты.

### **Объекты метрологии:**

- 1) единицы измерения величин;
- 2) средства измерений;
- 3) методики, используемые для выполнения измерений и т. д.

### **Предмет метрологии:**

извлечение количественной информации о свойствах объектов с заданной точностью и достоверностью;

### **Основные задачи метрологии:**

- установление единиц физических величин, государственных эталонов и образцовых средств измерений;
- разработка теории, методов и средств измерений и контроля;
- обеспечение единства измерений;
- разработка методов оценки погрешностей, состояния средств измерений и контроля;
- разработка методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

## **Основные направления метрологии:**

- 1) общая теория измерений;
- 2) системы единиц физических величин;
- 3) методы и средства измерений;
- 4) методы определения точности измерений;
- 5) основы обеспечения единства измерений, а также основы единообразия средств измерения;
- 6) эталоны и образцовые средства измерений;
- 7) методы передачи размеров единиц от образцов средств измерения и от эталонов рабочим средствам измерения.

## **Исторически важные этапы в развитии метрологии:**

XVIII век — установление эталона метра (эталон хранится во Франции, в Музее мер и весов; в настоящее время является в большей степени историческим экспонатом, нежели научным инструментом);

1832 год — создание Карлом Гауссом абсолютных систем единиц;

1875 год — подписание международной Метрической конвенции;

1960 год — разработка и установление Международной системы единиц (СИ);

XX век — метрологические исследования отдельных стран координируются Международными метрологическими организациями.

## 2. Основные термины метрологии

**Физическая величина** – характеристика одного из свойств физического объекта:

- общая в качественном отношении многим физическим объектам; но
- индивидуальная в количественном отношении для каждого объекта.

Для физической величины определены два основных понятия:

1) *Значение физической величины* — одно или несколько (в случае тензорной физической величины) чисел, характеризующих эту физическую величину, с указанием единицы измерения, на основе которой они были получены.

2) *Размер физической величины* — значения чисел, фигурирующих в значении физической величины.

**Единица физической величины** - физическая величина, которой по условию присвоено числовое значение, равное единице.

**Измерение физических величин** - количественная и качественная оценка физического объекта с помощью средств измерения.



Физическая величина: **длина**

Значение физ.величины: **4500 мм**

Размер физ.величины: **4500**

Единица измерения физ.величины: **1 мм**

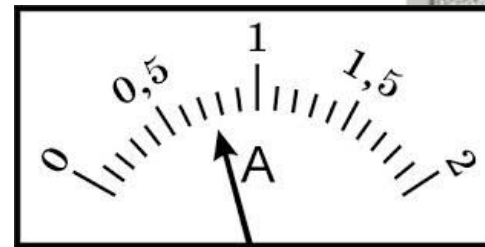
**Средство измерения**, представляющее собой техническое средство, имеющее нормированные метрологические характеристики. К ним относятся измерительный прибор, мера, измерительная система, измерительный преобразователь, совокупность измерительных систем.

**Измерительный прибор** - средство измерений, вырабатывающее информационный сигнал в такой форме, которая была бы понятна для непосредственного восприятия наблюдателем.

**Мера** – средство измерений, воспроизводящее физическую величину заданного размера. Например, если прибор аттестован как средство измерений, его шкала с оцифрованными отметками является мерой.

**Измерительная система** - совокупность средств измерений, которые соединяются друг с другом посредством каналов передачи информации для выполнения одной или нескольких функций.

**Измерительный преобразователь** – средство измерений, которое производит информационный измерительный сигнал в форме, удобной для хранения, просмотра и



**Принцип измерений** как совокупность физических явлений, на которых базируются измерения.

**Метод измерений** как совокупность приемов и принципов использования технических средств измерений.

**Методика измерений** как совокупность методов и правил, разработанных метрологическими научно—исследовательскими организациями, утвержденных в законодательном порядке.

**Погрешность измерений**, представляющую собой различие между истинными значениями физической величины и значениями, полученными в результате измерения.

**Основная единица измерения**, понимаемая как единица измерения, имеющая эталон, который официально утвержден; - например, единица массы – килограмм.

**Производная единица как единица измерения**, связанная с основными единицами на основе математических моделей через энергетические соотношения, не имеющая эталона; - например, грамм – одна тысячная килограмма.

**Эталон**, который имеет предназначение для хранения и воспроизведения единицы физической величины, для трансляции ее габаритных параметров нижестоящим по поверочной схеме средствам измерения. Существует понятие «первичный эталон», под которым понимается средство измерений, обладающее наивысшей в стране точностью. Есть понятие «эталон сравнений», трактуемое как средство для связи эталонов межгосударственных служб. И есть понятие «эталон-копия» как средство измерений для передачи размеров единиц образцовым средствам.

**Образцовое средство**, под которым понимается средство измерений, предназначенное только для трансляции габаритов единиц рабочим средствам измерений.

**Рабочее средство**, понимаемое как «средство измерений для оценки физического явления».

**Точность измерений**, трактуемая как числовое значение физической величины, обратное погрешности, определяет классификацию образцовых средств измерений. По показателю точности измерений средства измерения можно разделить на: наивысшие, высокие, средние, низкие.



### **3. Измерения Классификация измерений**

#### **1. По характеристике точности**

- равноточные
- неравноточные.

#### **2. По количеству испытаний**

- однократные
- многократные.

#### **3. По типу изменения величины**

- статические
- динамические.

#### **4. По назначению**

- технические
- метрологические.

#### **5. По способу представления результата**

- абсолютные
- относительные.

## 6. По методам получения результатов

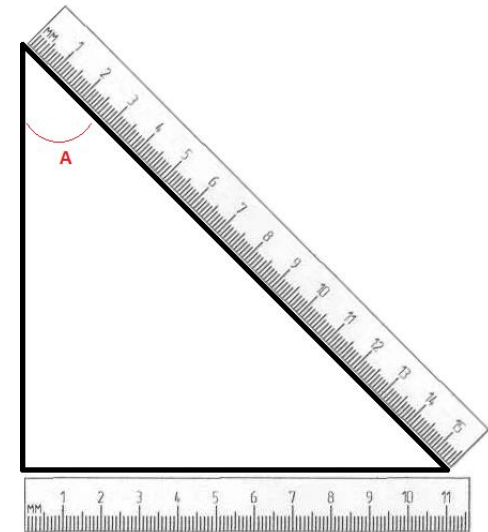
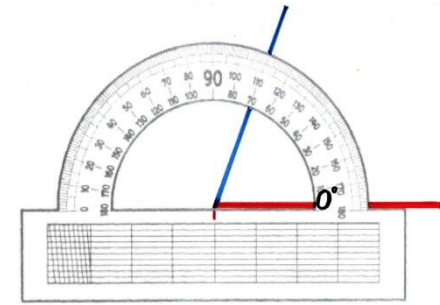
- прямые,
- косвенные,
- совокупные
- совместные.

**Прямые измерения** – это измерения, выполняемые при помощи мер.

**Косвенные измерения** – это измерения, при которых значение измеряемой величины вычисляется при помощи значений, полученных посредством прямых измерений, и некоторой известной зависимости между данными значениями и измеряемой величиной

**Совокупные измерения** – это измерения, результатом которых является решение некоторой системы уравнений, которая составлена из уравнений, полученных вследствие измерения возможных сочетаний измеряемых величин.

**Совместные измерения** – это измерения, в ходе которых измеряется минимум две неоднородные физические величины с целью установления существующей между ними зависимости.



## 4. Основные характеристики измерений

Выделяют следующие основные характеристики измерений:

- 1) метод, которым проводятся измерения;
- 2) принцип измерений;
- 3) погрешность измерений;
- 4) точность измерений;
- 5) правильность измерений;
- 6) достоверность измерений.

**1) Метод измерений** – это способ или комплекс способов, посредством которых производится измерение данной величины, т. е. сравнение измеряемой величины с ее мерой согласно принятому принципу измерения.

Можно выделить следующие методы измерений:

1. По способу получения значений измеряемых величин различают два основных метода измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

**Метод непосредственной оценки** – метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия.

**Метод сравнения с мерой** – метод измерения, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Существует несколько разновидностей метода сравнения:

- Метод противопоставления, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения;
- Дифференциальный метод, при котором измеряемую величину сравнивают с известной величиной, воспроизводимой мерой.
- Нулевой метод, при котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля.
- Метод совпадений, при котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов

2. При измерении линейных величин независимо от рассмотренных методов различают контактный и бесконтактный методы измерений.

3. В зависимости от измерительных средств, используемых в процессе измерения, различают инструментальный, экспертный, эвристический и органолептический методы измерений.

**Инструментальный метод** основан на использовании специальных технических средств, в том числе автоматизированных и автоматических.

**Экспертный метод оценки** основан на использовании данных нескольких специалистов. Широко применяется в квалиметрии, спорте, искусстве, медицине.

**Эвристические методы оценки** основаны на интуиции.

**Органолептические методы оценки** основаны на использовании органов чувств человека (осязания, обоняния, зрения, слуха и вкуса).

**2) Принцип измерений** – это некое физическое явление или их комплекс, на которых базируется измерение. Например, измерение температуры основано на явлении расширения жидкости при ее нагревании (ртуть в термометре).

**3) Погрешность измерения** – это разность между результатом измерения величины и настоящим (действительным) значением этой величины. Погрешность, как правило, возникает из-за недостаточной точности средств и методов измерения или из-за невозможности обеспечить идентичные условия при многократных наблюдениях.

**4) Точность измерений** – это характеристика, выражающая степень соответствия результатов измерения настоящему значению измеряемой величины. Количественно точность измерений равна величине относительной погрешности в минус первой степени, взятой по модулю.

**5) Правильность измерения** – это качественная характеристика измерения, которая определяется тем, насколько близка к нулю величина постоянной или фиксировано изменяющейся при многократных измерениях погрешности (систематическая погрешность). Данная характеристика зависит, как правило, от точности средств измерений.

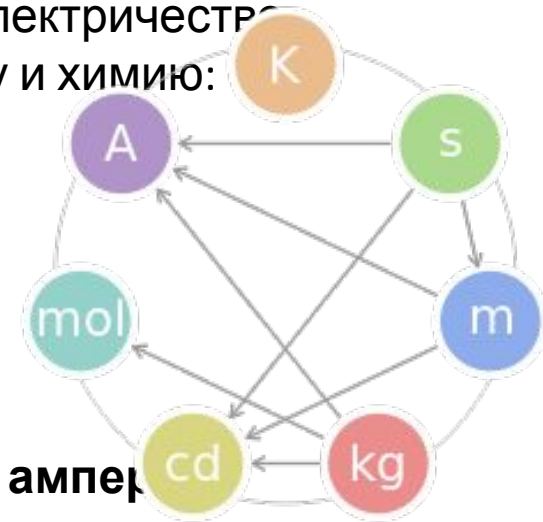
**6) Достоверность измерений** – это характеристика, определяющая степень доверия к полученным результатам измерений. По данной характеристике измерения делятся на достоверные и недостоверные.

## 5. Единицы измерения физических величин

В 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам была утверждена Международная система единиц (СИ).

В основе Международной системы единиц лежат семь единиц, охватывающих следующие области науки: механику, электричество, теплоту, оптику, молекулярную физику, термодинамику и химию:

- 1) единица длины (механика) – **метр**;
- 2) единица времени (механика) – **секунда**;
- 3) единица массы (механика) – **килограмм**;
- 4) единица силы электрического тока (электричество) – **ампер**;
- 5) единица термодинамической температуры (теплота) – **кельвин**;
- 6) единица силы света (оптика) – **кандела**;
- 7) единица количества вещества (молекулярная физика, термодинамика и химия) – **моль**.



В Международной системе единиц есть дополнительные единицы:

- 1) единица измерения плоского угла – **радиан**;
- 2) единица измерения телесного угла – **стерадиан**.

**1) Метр** - длина пути, который проходит свет в вакууме за 1/299 792 458 долю секунды.

### Определения метра с 1795 года

Основа	Дата	Абсолютная неопределённость	Относительная неопределённость
$\frac{1}{40\,000\,000}$ часть Парижского меридиана, измеренная Деламбром и Мешеном	1795	0.5-0.1 мм	$10^{-4}$
Первый эталон Metre des Archives из платины	1799	0.05-0.01 мм	$10^{-5}$
Платино-иридиевый профиль при температуре таяния льда	1889	0.2-0.1 <a href="#">МКМ</a>	$10^{-7}$
Платино-иридиевый профиль при температуре таяния льда и атмосферном давлении, поддерживаемый двумя роликами	1927	неизв.	неизв.
1 650 763,73 длин волн оранжевой линии спектра, излучаемого изотопом криптона в вакууме	1960	4 <a href="#">НМ</a>	$4 \cdot 10^{-9}$ <a href="#">[1]</a>



Международный эталон метра, использовавшийся с 1889 по 1960 годы.

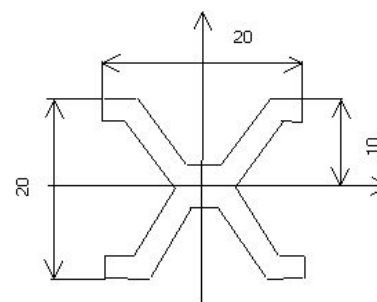


Рис. 1

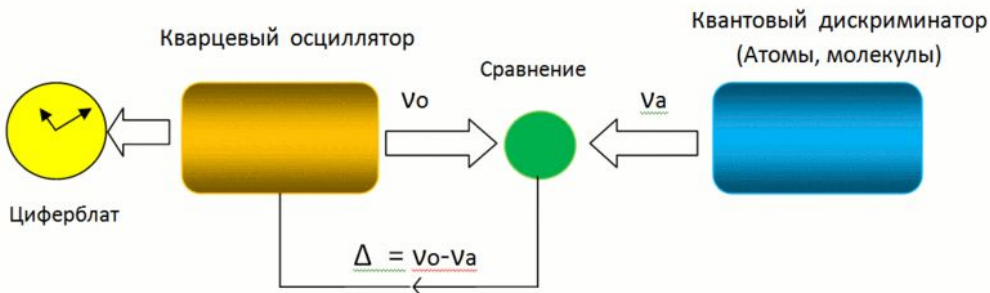
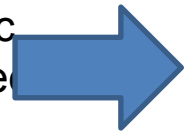
**2) Секунда** - время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Термин заимствован в XVIII веке из латыни, где «secunda» — сокращение выражения «pars minuta secunda» — «часть мелкая вторая» (часа), в отличие от «pars minuta prima» — «часть мелкая первая» (часа).

С изобретением атомных часов в начале 1960-х, было решено использовать международное атомное время как основу для определения секунды взамен обращения Земли вокруг Солнца.

**Международное атомное время** - время, в основу измерения которого положены электромагнитные колебания, излучаемые атомами или молекулами при переходе из одного энергетического состояния в другое.

FOCS 1, атомные часы в Швейцарии с погрешностью  $10^{-15}$ , то есть не более секунды за 30 миллионов лет





**3) Килограмм** - есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма. Прототип килограмма, хранится в штаб-квартире Международного бюро мер и весов в Севре.

Эталон килограмма почти 120 лет хранится во Франции. За это время его масса уменьшилась на немалую величину (до 0,1 мг). Это цилиндр из платиново-иридиевого сплава 3,9 см высотой и столько же в диаметре. Для ученых плавающая единица измерения — большая помеха, которая отражается на результатах точных работ.

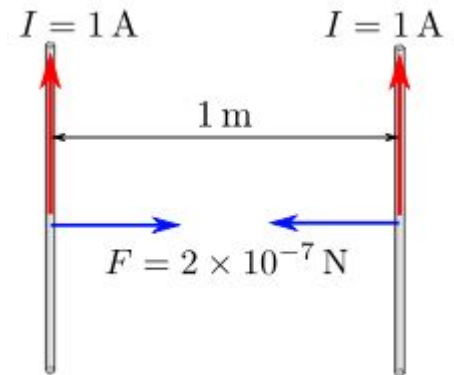


Один из претендентов на роль нового эталона килограмма — шар из кристалла изотопа кремния-28, созданный немецкими учеными из Института выращивания кристаллов.

Первоначально грамм был определён в 1795 году как масса одного кубического сантиметра дистиллированной воды при температуре 4 °C и стандартном атмосферном давлении на уровне моря.

4) **Кельвин** равен  $1/273,16$  части термодинамической температуры, так называемой тройной точки воды. *Тройная точка воды* – строго определенные значения температуры и давления, при которых вода может одновременно и равновесно существовать в виде трёх фаз – в твердом, жидком и газообразном состояниях. Тройная точка воды – температура  $273,16$  К и давление  $611,657$  Па.

5) **Ампер** есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 метр один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 метр силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  ньютона.

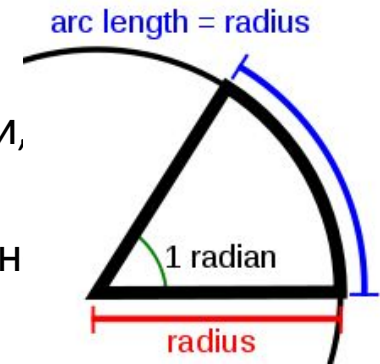


6) **Моль** равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой  $0,012$  кг. *Углерод-12* – нуклид химического элемента углерода с атомным номером 6 и массовым числом 12. Один из двух стабильных изотопов углерода.

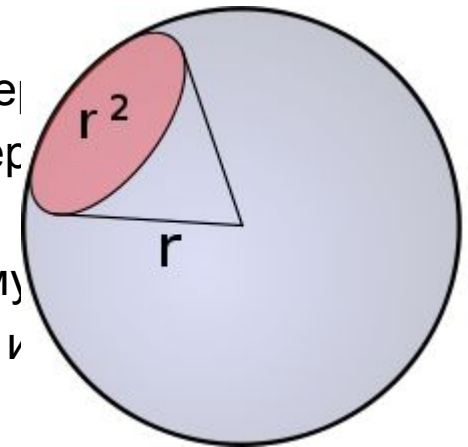
7) **Кандела** – сила света в заданном направлении от источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет  $1/683$  Ватт/Стерadian.

## Дополнительные единицы:

8) Единица плоского угла – это **радиан**, или сокращенно рад, представляющий собой угол между двух радиусов окружности, длина дуги между которыми равняется радиусу окружности. Если речь идет о градусах, то радиан равен  $57^{\circ}17'48''$ . Очевидно, что величина полного угла равна  $2\pi$  радиан.



9) **Стерadian**, или «ср», принимаемый за единицу телесного угла, представляет собой, соответственно, телесный угол, расположение вершины которого фиксируется в центре сферы, а площадь, вырезаемая данным углом на поверхности сферы, равна площади квадрата, сторона которого равна длине радиуса сферы. Или по другому: стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы радиусом  $r$ , вырезающему  $r^2$  площади сферы.



Фильм по измерениям, 1  
серия