


## Лекция № 2

# Международная система единиц



# Единство измерений

## Система единиц физических величин

- Совокупность **основных и производных единиц физических величин**, образованная в соответствии с принятыми принципами называется **системой единиц физических величин**. 
- Единица основной физической величины является основной единицей данной системы.
- **Систему единиц** как совокупность основных и производных единиц впервые в 1832 г. предложил немецкий ученый К.Гаусс, в ней за основу были приняты: единицы длины (*миллиметр*), массы (*миллиграмм*) и времени (*секунда*), она называется **системой LMT**.

## Рождение СИ (СИ)


- Некоторое время практические единицы существовали в стороне от метрических.
- Но в 1901 году итальянский инженер Джованни Джорджи показал, что любую из них можно добавить к метру, килограмму и секунде и получить **новую систему**, имеющую безупречную логическую структуру и приспособленную для нужд техники.
- Идеи Джорджи обсуждались без малого полвека и были окончательно приняты Международным комитетом мер и весов лишь в 1946 году. В качестве четвертой опоры (основной единицы) новой системы была выбрана практическая единица силы тока, ампер, определенная резолюцией 9-й Генеральной конференции по мерам и весам (1948).
- В соответствии с традицией эту **систему называли MKSA (метр, килограмм, секунда, ампер)**.

## Рождение SI (СИ)

- Чуть позднее в МКСА решили добавить единицы температуры и силы света. В принципе для этого достаточно энергетических единиц (физики с равным успехом выражают энергию частиц и в электрон вольтах, и в градусах), но для метрологии нужны реализуемые на практике эталоны.
- В 1954 году 10-я Генеральная конференция по мерам и весам утвердила в этом качестве кельвин и канделу.
- Эта пара плюс еще четыре основные единицы МКСА и стали фундаментом системы ***Systeme International d'Unites (SI или СИ)***, наследницы Метрической конвенции 1875 года, официально утвержденной в 1960 году на 11-й Генеральной конференции по мерам и весам в Париже.
- В 1971 году к этой шестерке добавили еще и единицу количества вещества — моль. Кроме того, в SI вошли дополнительные безразмерные единицы для измерения плоских и телесных углов — радиан и стерadian.

# Международная система единиц



- Единая **Международная система единиц**, сокращенно **СИ** (**SI - System International**), утверждена XI Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960г. 
- На территории нашей страны система единиц СИ действует с 1 января 1982 г. (ГОСТ 8.417-81).
- В качестве *основных единиц* приняты **метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль, канделла (LMTIQNJ)**.

## Достоинства системы СИ



1. Универсальность, т.е. охват всех областей науки и техники.
2. Унификация всех областей и видов измерений.
3. Когерентность (согласованность) величин.
4. Возможность воспроизведения единиц с высокой точностью.
5. Упрощение записей формул.
6. Уменьшение числа допускаемых единиц.
7. Единая система образования кратных и дольных единиц.
8. Облегчение педагогического процесса.
9. Лучшее взаимопонимание при развитии научно-технических и экономических связей между различными странами.

# Основные единицы физических величин системы СИ



Величина		Единица СИ		
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	
			русское	международное
<b>Основные</b>				
Длина	L	метр	м	m
Масса	M	килограмм	кг	kg
Время	T	секунда	с	s
Сила тока	I	ампер	А	A
Термодинамическая температура	Q	Кельвин	К	K
Количество вещества	N	моль	моль	mol
Сила света	J	кандела	кд	cd

## Дополнительные единицы физических величин системы СИ

Величина		Единица		
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	
			русское	международное
<b>Плоский угол</b>	-	<b>радиан</b>	рад	rad
<b>Телесный угол</b>	-	<b>стерадиан</b>	ср	sr



# Основные единицы СИ

## 1. Единица длины – метр

– длина пути, проходимого светом в вакууме за  $1/299\,792\,458$  долю секунды.

## 2. Единица массы – килограмм

– масса, равная массе международного прототипа килограмма.

## 3. Единица времени – секунда

– продолжительность  $9\,192\,631\,770$  периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния цезия – 133.

#### 4. Единица силы тока – ампер

- это сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным на расстоянии **1 м** один от другого в вакууме, вызывает между проводниками силу взаимодействия, равную  **$2 \cdot 10^{-7}$  Н** на каждый метр длины.



## 5. Единица термодинамической температуры – Кельвин

–  $1/273,16$  часть термодинамической температуры тройной точки воды.  
Допускается использовать шкалу Цельсия.



## 6. Единица силы света – канделла

– сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой –  $540 \cdot 10^{12}$  Гц,  
энергетическая сила света которого в этом направлении составляет  $1/683$  Вт/ср.



## 7. Единица количества вещества – **моль**

– количество веществ системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в углероде - **12** массой **0,012** кг.



Основные единицы Международной системы имеют удобные для практических целей размеры и широко применяются в соответствующих областях измерений.

# Дополнительные единицы СИ



- **1. Радиан (рад)** – это единица измерения плоского угла, равная углу между двумя радиусами окружности, длина дуги которой равна радиусу.

- На практике используется :

- градус ( $1^\circ = 2\pi/360$  рад = 0,017453 рад),
- минута ( $1' = 1^\circ/60 = 2,9088 \cdot 10^{-4}$ ),
- секунда ( $1'' = 1'/60 = 4,8481 \cdot 10^{-6}$  рад).

- **В градусном исчислении 1 рад =  $57^\circ 17' 44,8''$ .**



Дополнительные единицы используются только для теоретических расчетов и образования производных единиц (угловой скорости, углового ускорения).

Для измерения углов применяют градусы, минуты и секунды.

- **2. Стерadian (ср)** – это единица измерения телесного угла с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.



- Телесному углу 1 ср соответствует плоский угол, равный  $65^{\circ}32'$ , углу  $\pi$  ср – плоский угол  $120^{\circ}$ , углу  $2\pi$  ср – плоский угол  $180^{\circ}$ .
- Во всех системах единиц плоский  $\varphi$  и телесный  $\Omega$  углы вводятся посредством уравнений

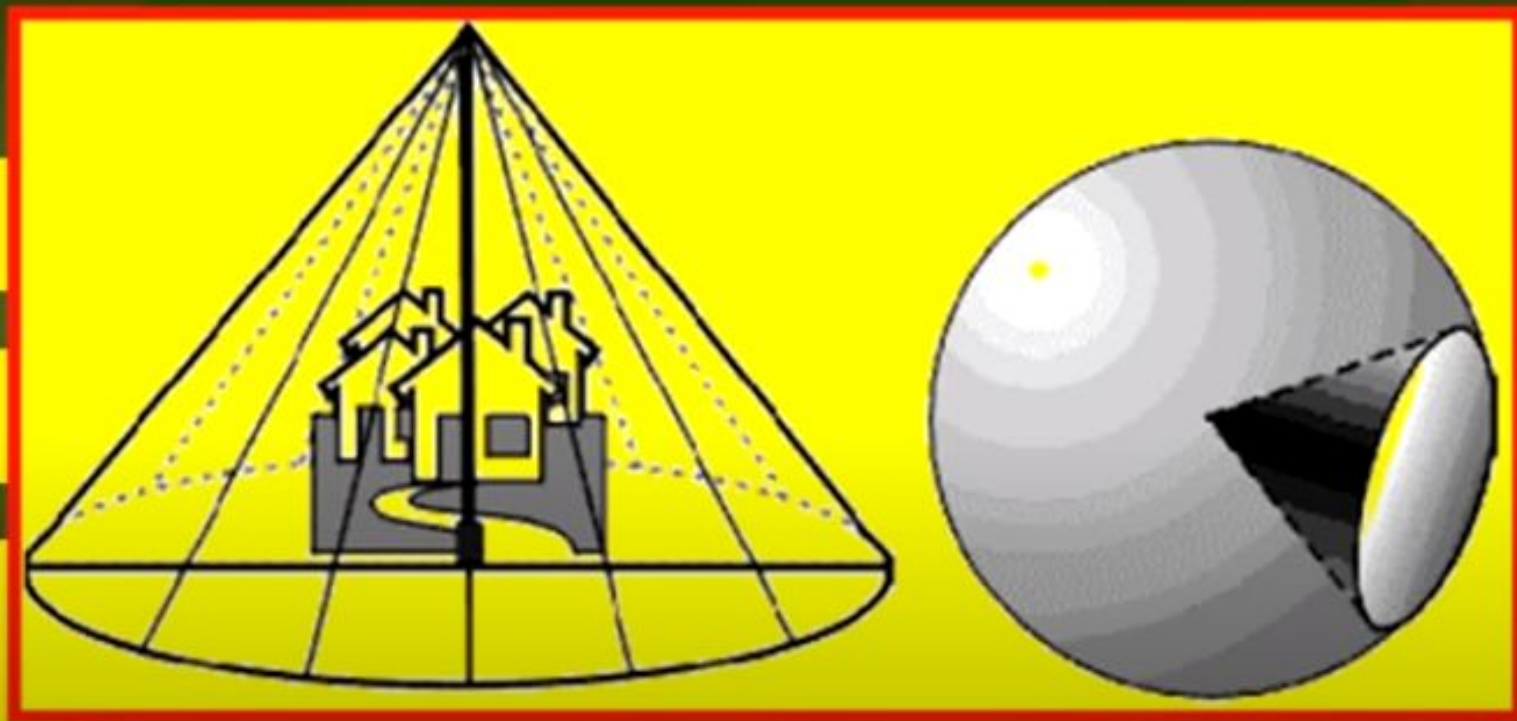
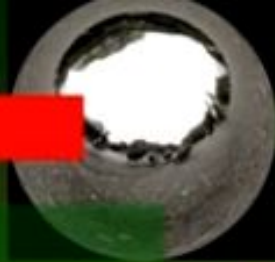
$$\varphi = l / R; \quad \Omega = S / R^2,$$

где  $l$  – длина дуги, вырезаемой центральным плоским углом  $j$  на окружности радиуса  $R$ ;


$S$  – площадь, вырезаемая центральным телесным углом на шаре с радиусом  $R$ .

К понятию:

«стерадиан»



## Производные единицы СИ

- **Производная единица** – это единица производной физической величины системы единиц, образованная в соответствии с **уравнениями, связывающими ее с основными единицами** или с основными и уже определенными производными. 

**В Международной системе единиц даны 33 производных единицы.**



## Производные единицы СИ, имеющие собственные наименования.

Величина	Единица		Выражение производной единицы	
	Наименование	Обозначение	через другие единицы СИ	через основные
1	2	3	4	5
Частота	<i>Герц</i>	<i>Гц</i>	-	$s^{-1}$
Сила	<i>Ньютон</i>	<i>Н</i>	-	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление	<i>Паскаль</i>	<i>Па</i>	$N/m^2$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Энергия, работа, колич. теплоты	<i>Джоуль</i>	<i>Дж</i>	<i>Н·м</i>	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Мощность	<i>Ватт</i>	<i>Вт</i>	<i>Дж/с</i>	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Количество электричества	<i>кулон</i>	<i>Кл</i>	<i>А·с</i>	$s \cdot A$
Электрическое напряжение	<i>вольт</i>	<i>В</i>	<i>Вт/а</i>	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$

1	2	3	4	5
Электрическая емкость	<i>фарада</i>	$\Phi$	<i>Кл/В</i>	$\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Электрическое сопротивление	<i>ом</i>	<i>Ом</i>	<i>В/А</i>	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Электрическая проводимость	<i>сименс</i>	<i>См</i>	<i>А/В</i>	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^2$
Поток магнитной индукции	<i>вебер</i>	<i>Вб</i>	<i>В.с</i>	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитная индукция	<i>тесла</i>	<i>Т</i>	<i>Вб/м<sup>2</sup></i>	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Индуктивность	<i>генри</i>	<i>Гн</i>	<i>Вб/А</i>	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Световой поток	<i>люмен</i>	<i>лм</i>	-	<i>кд · ср</i>
Освещенность	<i>люкс</i>	<i>лк</i>	-	$\text{м}^2 \cdot \text{кд} \cdot \text{ср}$
Активность нуклида	<i>беккерель</i>	<i>Бк</i>	<i>Вг</i>	$\text{с}^{-1}$
Поглощенная доза ионизир. излучения	<i>грей</i>	<i>Гр</i>	<i>Гу</i>	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
Эквивалентная доза излучения	<i>зиверт</i>	<i>Зв</i>	-	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$

## Когерентность СИ



- Важный принцип, который соблюден в Международной системе единиц, является её **когерентность (согласованность)**. 
- Выбор основных единиц системы обеспечил полную согласованность механических и электрических единиц.
- Например, **ватт** – единица механической мощности (равна джоулю в секунду) равняется мощности, выделяемой электрическим током силой **1 ампер** при напряжении **1 вольт**.
- В СИ коэффициенты пропорциональности в физических уравнениях, определяющих производные единицы, равны безразмерной величине.

# Системные и внесистемные единицы



- **Системная единица** – это единица физической величины, входящая в одну из принятых систем.

Все основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными.

- **Внесистемная единица** – это единица физической величины, не входящая ни в одну из принятых систем единиц.

Внесистемные единицы по отношению к единицам СИ разделяются на четыре вида:

- допускаемые наравне с единицами СИ (тонна, градус, литр и др.);
- допускаемые к применению в специальных областях (в астрономии – парсек, световой год, в оптике – диоптрия и т.д.);
- временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ (морская миля, карат и др.);
- изъятые из употребления, например миллиметр ртутного столба, лошадиная сила.

# Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ



Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
1	2	3	4
<b>Масса</b>	тонна	Т	$10^3 \text{ кг}$
	атомная единица массы	а.е.м.	$1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ (приблизительно)
<b>Время</b>	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86 400 с
<b>Плоский угол</b>	градус	°	$(\pi/180) \text{ рад} = 1,745329 \dots \times 10^{-2} \text{ рад}$
	минута	'	$(\pi/10800) \text{ рад} = 2,908882 \dots \times 10^{-4} \text{ рад}$
	секунда	"	$(\pi/648000) \text{ рад} = 4,848137 \dots \times 10^{-6} \text{ рад}$
	град	град	$(\pi/200) \text{ рад}$

1	2	3	4
<b>Объем</b>	Литр	л	$10^{-3} \text{ м}^3$
<b>Длина</b>	Астрономическая единица	а.е.	$1,45589 \cdot 10^{11} \text{ м}$ приблизит.
	Световой год	св.год	$9,4605 \cdot 10^{15} \text{ м}$ приблизит.
	парсек	пк	$3,0857 \cdot 10^{16} \text{ м}$ приблизит.
<b>Оптическая сила</b>	диоптрия	дптр	$1 \text{ м}^{-1}$
<b>Площадь</b>	гектар	га	$10^4 \text{ м}^2$
<b>Энергия</b>	электрон-вольт	эВ	$1,60219 \cdot 10^{19} \text{ Дж}$ приблизительно
<b>Полная мощность</b>	вольт-ампер	В·А	-
<b>Реактивная мощность</b>	вар	вар	-

## Кратные и дольные единицы СИ



- Различают кратные и дольные единицы физической величины.



- **Кратная единица** – это единица физической величины, в целое число раз превышающая системную или внесистемную единицу.

Например, единица длины километр равна  $10^3$  м, т.е. кратна метру.

- **Дольная единица** – это единица физической величины, значение которой в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы.

## Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка	Обозначение		Множитель	Приставка	Обозначение	
		международное	русское			международное	русское
$10^{18}$	экса	E	Э	$10^{-1}$	деци	D	д
$10^{15}$	пета	P	П	$10^{-2}$	санتي	c	с
$10^{12}$	тера	T	Т	$10^{-3}$	милли	m	м
$10^9$	гига	G	Г	$10^{-6}$	микро	$\mu$	мк
$10^6$	мега	M	М	$10^{-9}$	нано	n	н
$10^3$	кило	k	к	$10^{-12}$	пико	p	п
$10^2$	гекто	h	г	$10^{-15}$	фемто	f	ф
$10^1$	дека	da	да	$10^{-18}$	атто	a	а



# Единство измерений



- **Единство измерений** - состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.
- Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все существующие средства измерения (СИ) одной и той же величины.
- Это достигается путем точного воспроизведения и хранения в специализированных учреждениях установленных единиц ФВ и передачи их размеров применяемым СИ.
- **Воспроизведение единицы физической величины** – это совокупность операций по материализации единицы ФВ с наивысшей точностью посредством **государственного эталона** или **исходного образцового средства измерения**.
- Различают воспроизведение **основной** и **производной** единиц.

## Воспроизведение основной и производной единицы





- **Воспроизведение основной единицы** – это воспроизведение единицы путем создания фиксированной по размеру ФВ в соответствии с определением единицы.
- Оно осуществляется с помощью **государственных первичных эталонов**.
- **Воспроизведение производной единицы** – это определение значения ФВ в указанных единицах на основании косвенных измерений других величин.
  - Пример. Воспроизведение единицы силы – ньютон – осуществляется на основании известного уравнения механики:

$$F = mg,$$

- где  $m$  – масса,  
 $g$  – ускорение свободного падения.

# Передача размера и хранение единицы

- **Передача размера единицы** – это приведение размера единицы, хранимой поверяемым средством измерений, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при **поверке** или **калибровке**. 
- Размер единицы передается от более точных средств измерения к менее точным.
- **Хранение единицы** – это совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени размера единицы, присущего данному средству измерения. 
- При хранении первичного эталона выполняются регулярные его исследования, включая сличение с национальными эталонами других стран с целью повышения точности воспроизведения единицы и совершенствования методов передачи ее размера.

# Эталон



■ **Эталон** – это средство измерения (или комплекс СИ), предназначенное для воспроизведения или хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средству измерения и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

■ Эталон должен обладать **неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.**

■ Различают эталоны:

- **первичный,**
- **международный,**
- **государственный** или **национальный,**
- **вторичный,**
- **эталон сравнения,**
- **рабочий эталон.**



## Поверочная схема



- Обеспечение правильности передачи размера единиц ФВ во всех звеньях метрологической цепи осуществляется посредством **поверочных схем**.

- **Поверочная схема** – это нормативный документ, который устанавливает соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона к рабочим средствам измерения с указанием методов и погрешности, и утвержденный в установленном порядке.



## Государственная и локальная поверочные схемы



### ■ Государственная поверочная схема

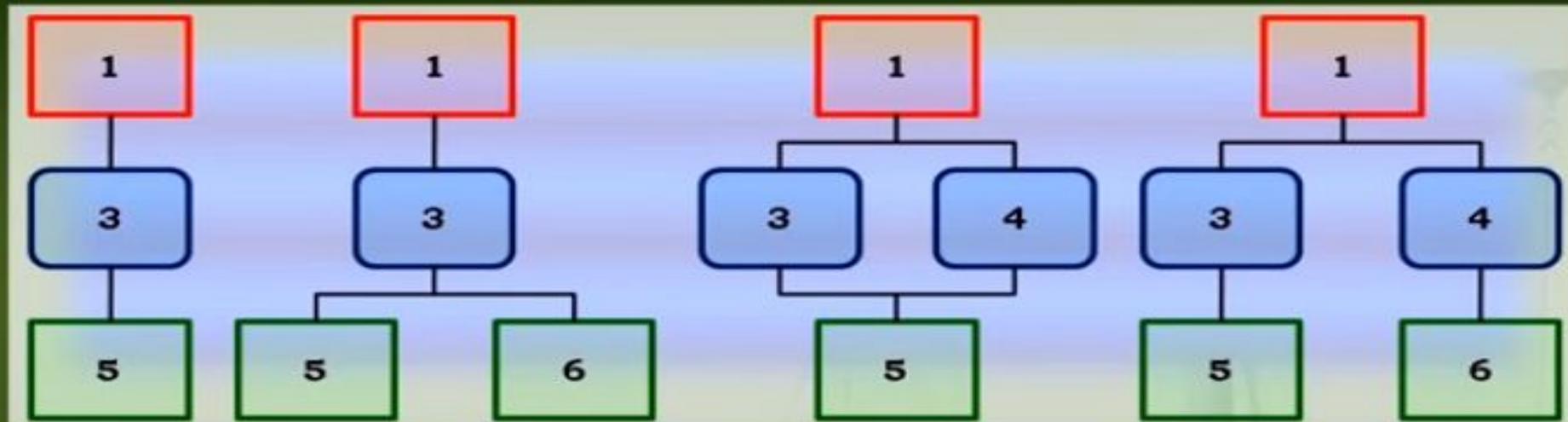
распространяется на все СИ данной ФВ, имеющиеся в стране.

- Она разрабатывается в виде государственного стандарта, состоящего из чертежа поверочной схемы и текстовой части, содержащей пояснения к чертежу.

### ■ Локальная поверочная схема

распространяется на средства измерения данной ФВ, применяемые в данном регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии.

# Элементы графического изображения поверочных схем при передаче размера



от эталона 1  
к объекту 5  
методом 3

от эталона 1 к  
объектам поверки  
5 и 6 методом 3

от эталона 1 к  
объекту поверки 5  
методом 3 или 4

от эталона 1 к  
объекту поверки 5  
методом 3 и  
объекту поверки 6  
методом 4

# Поверка



- **Поверка** – это операция, производимая уполномоченным органом и заключающаяся в установлении пригодности средства измерения к применению на основании экспериментально определенных метрологических характеристик и контроля их соответствия предъявляемым требованиям.
- **Основной метрологической характеристикой при поверке СИ, является его погрешность**, она находится сравнением поверяемого СИ с более точным СИ – рабочим эталоном.



Различают поверки:

первичную;  
периодическую;  
внеочередную;  
инспекторскую;  
комплексную;  
поэлементную;  
выборочную.

- **Поверка** выполняется метрологическими службами, СИ признанное годным **оформляется выдачей свидетельства о поверке и нанесением поверочного клейма.**



# Калибровка



- **Калибровка** – это совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерения, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона.

## Эталоны единиц системы СИ



- **Эталонная база России** имеет в своем составе **150** государственных и более **250** вторичных эталонов единиц физических величин:
  - из них **53** находятся во «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в Санкт-Петербурге, в том числе **эталон метра, килограмма, ампера, кельвина и радиана**;
  - **45** – во «ВНИИФТРИ» в Москве, в том числе **эталон времени и частоты**;
  - **23** – во «Всероссийском научно-исследовательском институте оптико-физических измерений», в том числе эталон **канделлы**;
  - **9** и **5** в Уральском и Сибирском научно-исследовательских институтах метрологии.
- В области **механики** используются **38** государственных эталонов, в том числе **первичные эталоны метра, килограмма и секунды**, точность которых имеет чрезвычайно большое значение, поскольку эти единицы участвуют в образовании производных единиц всех научных направлений.

# Национальный (государственный) эталон массы - килограмм



- Платиноиридиевая цилиндрическая гиря высотой 39 мм храниться на кварцевой подставке под двумя стеклянными колпаками в стальном сейфе с температурой воздуха  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  и влажностью 65%.
- Один раз в 10 лет с ним сличают два вторичных эталона.
- При сличении с международным эталоном массы наш получил значение **1,0000000877** кг.



*Государственный эталон единицы массы храниться в НПО «ВНИИМ им Д. И. Менделеева» в Санкт-Петербурге*



# Национальный (государственный) эталон массы - килограмм

*В состав Государственного  
Первичного Эталона  
единицы массы (килограмма)  
входит  
набор компараторов для  
передачи размера единицы  
массы в диапазоне от 1 мг  
до 20 кг.*

*Автоматический  
компаратор CC1000S-L*



# Международный эталон килограмма



- 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. Единственный оставшийся «механический» эталон — это килограмм.
- Для ученых плавающая единица измерения — большая помеха, которая отражается на результатах точных работ.
- Многие эталоны (в частности, метр) со временем были усовершенствованы.
- Один из претендентов на роль нового эталона килограмма — шар из кристалла изотопа кремния-28, созданный немецкими учеными из Института выращивания кристаллов. Такой эталон включал бы атомы одного типа и имел фиксированную массу.

# Эталон метра

- За **первый эталон метра** была принята одна десятимиллионная часть четверти длины Парижского меридиана. Название «метр» (от греческого *metron* — мера) в 1790 году придумал парижский преподаватель математики Леблон.
- В 1799 г. на основе ее измерения изготовили эталон метра в виде **платиновой концевой меры (метр Архива)**, представляющий собой линейку шириной 25 мм, толщиной около 4 мм с расстоянием между концами 1 м.
- Дальнейшие исследования позволили создать более точный **эталон метра, основанный на длине волны в вакууме монохроматического излучения, генерируемого стабилизированным лазером.**
- В 1983 г. за **эталон метра** было принято расстояние, проходимое светом в вакууме за  **$1/299\,792\,458$  долю секунды.**
- Данное определение метра было законодательно закреплено в 1985 г. после утверждения единых **эталонов времени, частоты и длины.**

## Государственный эталон единицы длины

Эталон состоит из комплекса следующих средств измерений:

- источник эталонного излучения - He-Ne/I<sub>2</sub> лазер, стабилизированный по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде 127;
- установка для измерений разности частот источников лазерного излучения;
- компаратор универсальный интерференционный метровый;
- компаратор лазерный интерференционный для измерений длины в субмикронном и нанодиапазоне;
- интерферометр гетеродинный;
- компаратор лазерный интерференционный тридцатиметровый.

# Государственный эталон единицы длины

(составляющие комплекса)

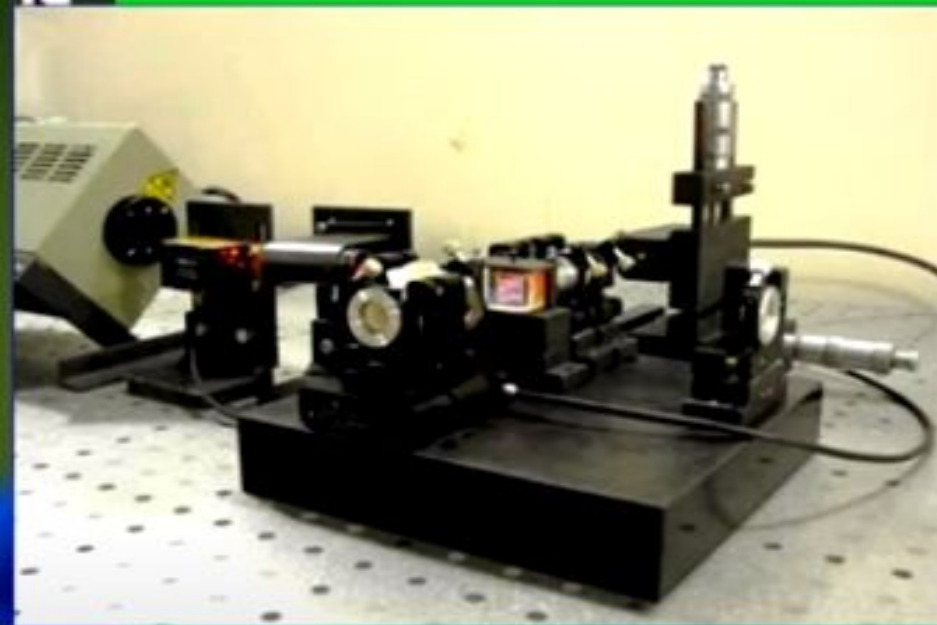


Компаратор лазерный интерференционный тридцатиметровый

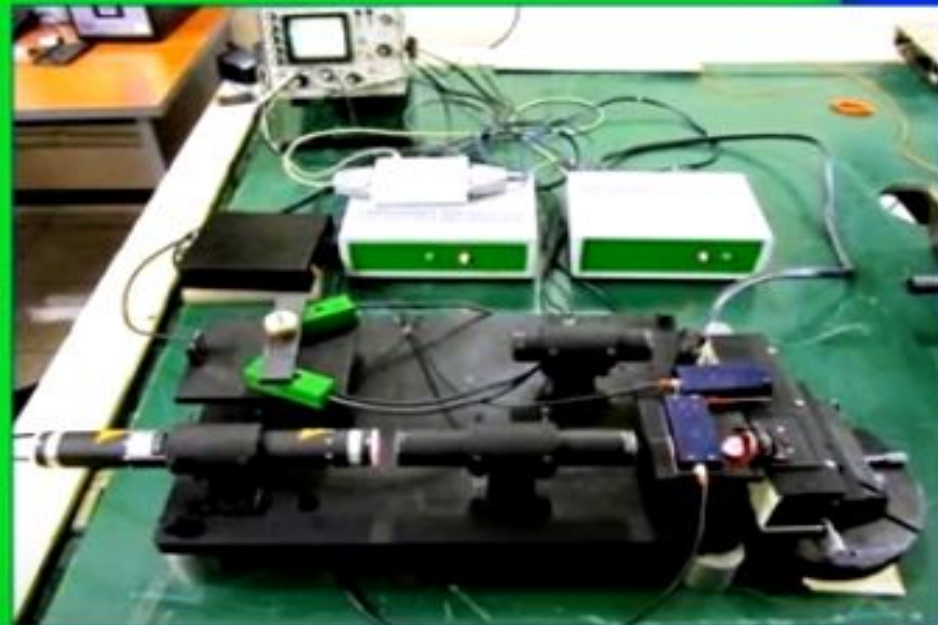


# Государственный эталон единицы длины

(составляющие комплекса)



Компаратор лазерный  
интерференционный для измерений  
длины в субмикронном и  
нанодиапазоне



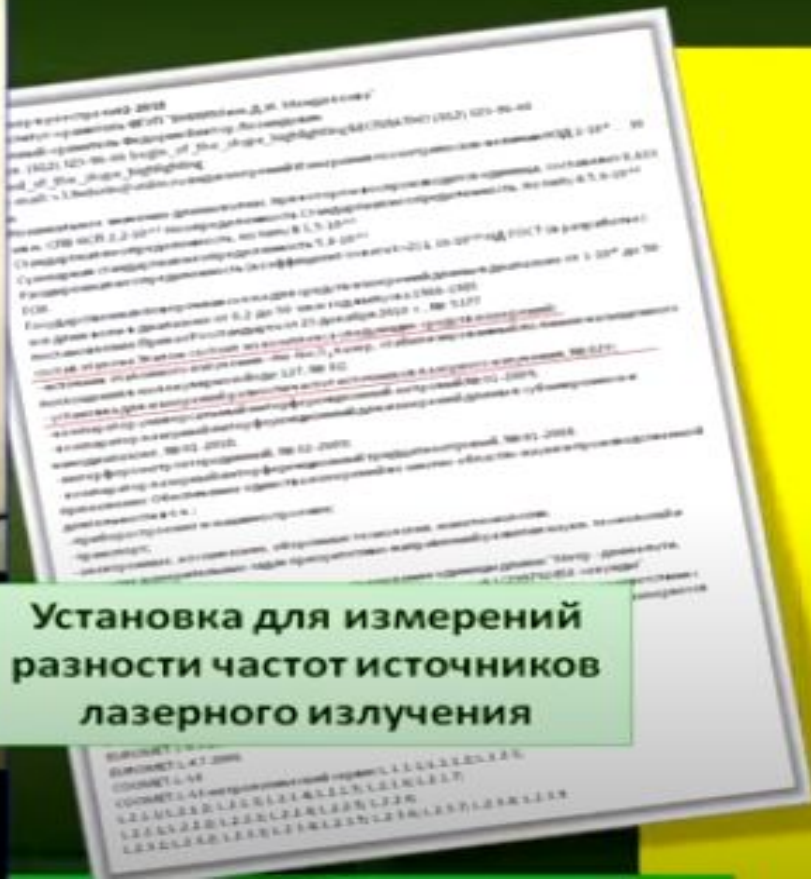
Интерферометр гетеродинный

# Государственный эталон единицы длины

(составляющие комплекса)



Установка для измерений  
разности частот источников  
лазерного излучения



# Государственный первичный эталон единицы времени

## Состоит из комплекса средств измерений:

- метрологических цезиевых реперов частоты, для воспроизведения размеров единицы времени и частоты в международной системе единиц;
- водородных стандартов частоты, для хранения размеров единиц времени и частоты;
- группы квантовых часов, для хранения шкал времени.
  - **Квантовые часы** - это устройство для измерения времени, содержащие генератор, частота которого стабилизирована кварцевым резонатором, и управляемое квантовыми стандартами частоты;
- аппаратуры для передачи размера единицы частоты в оптический диапазон, состоящих из синхронизированных лазеров и сверхвысокочастотных генераторов;
- аппаратуры внутренних и внешних сличений, включающей перевозимые квантовые часы и перевозимые лазеры;
- аппаратуры средств обеспечения.

Цезиевый репер частоты



Аппаратный зал



Водородные генераторы



АИС 2

АИС 1

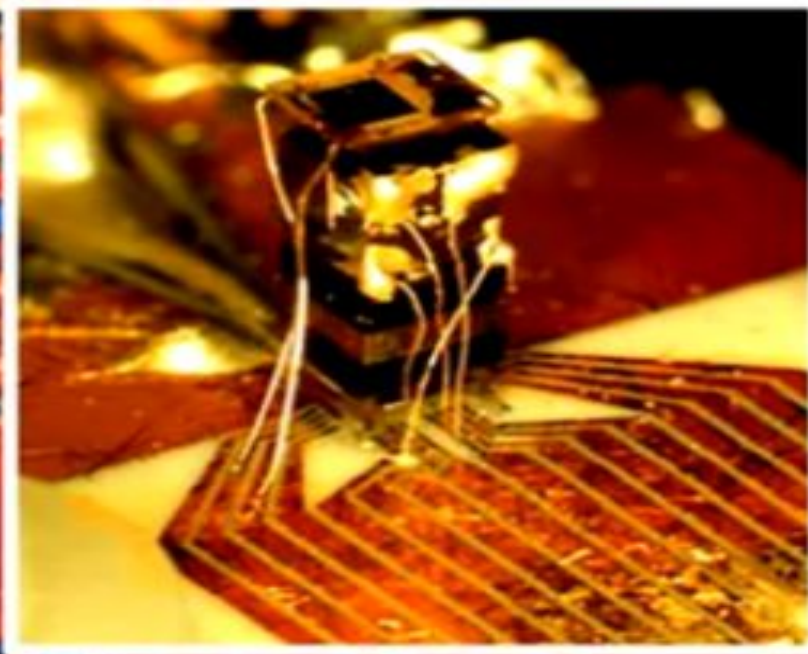


## Точность воспроизведения единицы времени

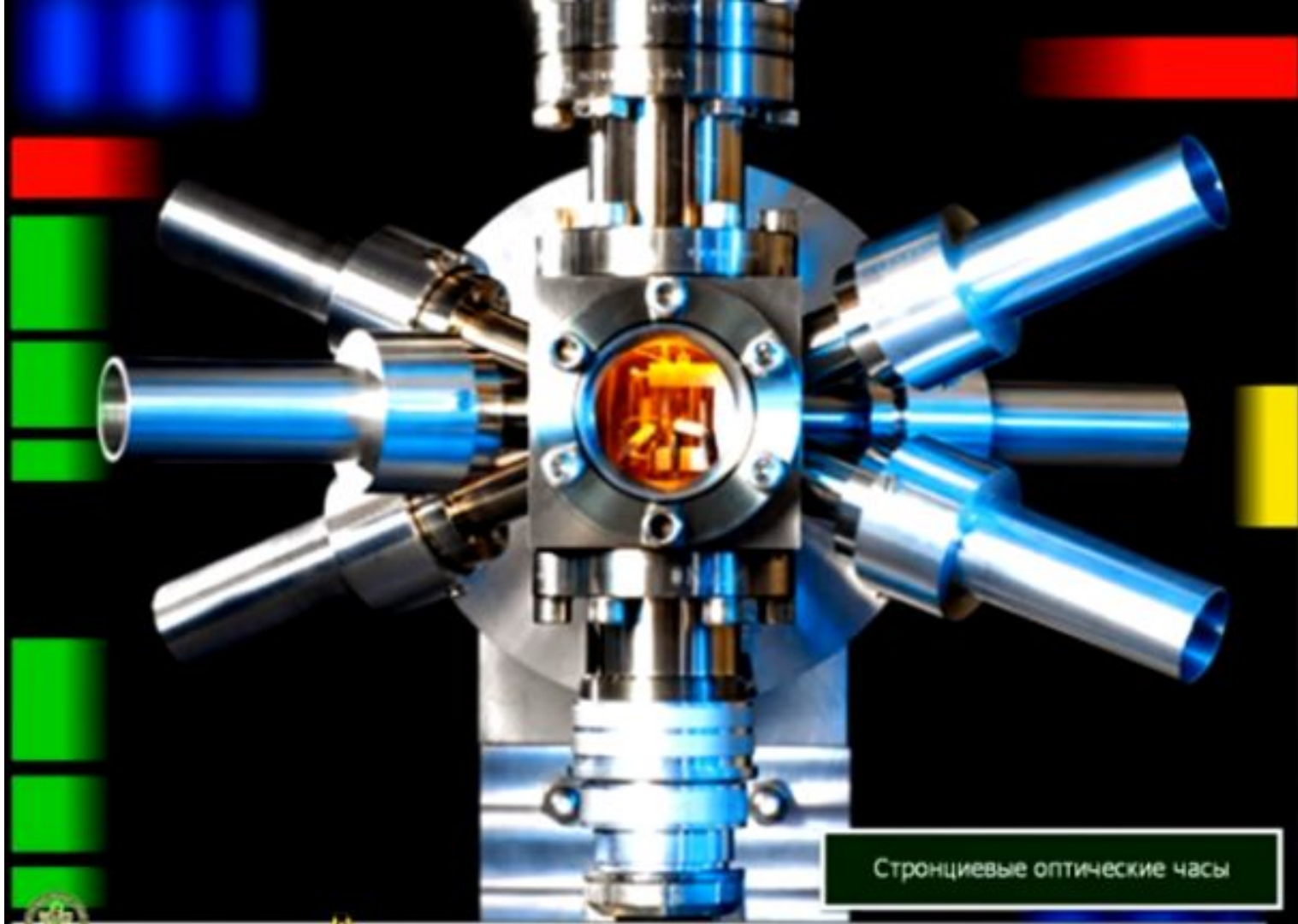
- Секунда с 1967 года не является 1/86400 частью суток, а определяется как 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры изотопа цезия с атомным весом 133.
- В 1997 году Международное бюро мер и весов уточнило, что в этом определении фигурирует атом цезия, который покоится при нулевой абсолютной температуре. В новейших моделях цезиевых часов (их называют фонтанными) это требование почти идеально реализуется с помощью лазерного охлаждения атомов.
- Эталонные цезиевые часы американского Национального института стандартов и технологии (NIST) сейчас обеспечивают относительную точность воспроизведения единицы времени — секунды на уровне  $\sim 3,3 \times 10^{-16}$ . Это самые точные часы в мире.
- Наши эталонные часы уступают им почти в 100 раз: российский государственный стандарт времени и частоты — цезиевые часы «без охлаждения» — имеет относительную точность  $3 \times 10^{-14}$ . Но в ближайшее время мы намерены ликвидировать отставание, построив фонтанный цезиевый эталон. Уже сейчас точность отдельных экспериментальных образцов достигает  $2 \times 10^{-15}$  секунды и даже выше, а теоретически они способны обеспечить точность воспроизведения единиц времени и частоты на уровне  $10^{-17}$ – $10^{-18}$ .



Точная репродукция ацтекского календаря



Сверхточные цезиевые часы, хранящиеся в Национальном институте стандартов и технологий США (NIST): поляризованный луч лазера проходит через ячейку с парами цезия и попадает на детектор. Период электромагнитных колебаний излучения, возникающего при переходе между двумя основными уровнями атома цезия – международный эталон времени.  
Точность: 1 секунда за 30 млн. лет.



Стронциевые оптические часы

## Стронциевые оптические часы

- В стронциевых оптических часах ионы стронция помещены в оптическую ловушку на перекрестье шести лазерных лучей. Под воздействием электромагнитных волн лазеров ионы прочно «сидят» в энергетических ямах, слабо взаимодействуя друг с другом и излучая голубой свет с частотой около 429 тера герц.
- Стронциевые часы в тысячу раз точнее цезиевых, используемых сегодня как эталон времени и частоты. Возможно, вскоре эталон будет заменен.



## Государственный первичный эталон плоского угла

- Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для измерения плоского угла устанавливаются ГОСТ 8.016-81.
- Первичный эталон обеспечивает воспроизведение градуса с неисключённой погрешностью не более **0,02"**.

## Государственный первичный эталон единицы плоского угла



# Государственные эталоны



Государственный первичный эталон единицы силы постоянного электрического тока – Ампера.  
Набор эталонных преобразователей и зонд компаратора тока



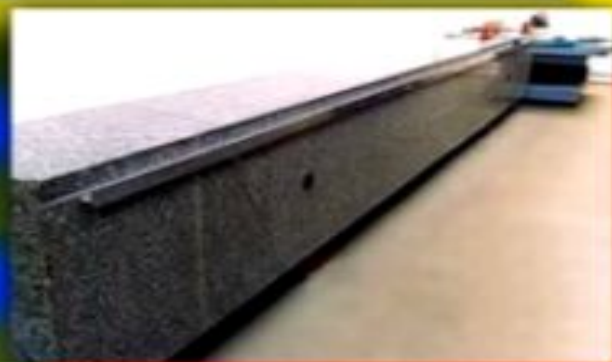
Государственный эталон единицы силы  
(эталонные установки воспроизведения силы)

Эталонные установки входящие в состав Государственного первичного эталона единиц потока и плотности потока нейтронов

# Государственные эталоны



Государственный специальный эталон единицы удельной теплоемкости твердых тел в диапазоне (400-1800) °С



Государственный специальный эталон длины для средств измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности



Государственный специальный эталон единицы напряжения переменного тока в диапазоне частот 10 - 3·10<sup>7</sup> Гц



Государственный первичный эталон единицы температуры в диапазоне от 0 до 3000 °С.  
Установка для воспроизведения температуры тройной точки воды

- Сейчас метрологи для реализации эталонов основных единиц стараются полагаться на фундаментальные физические константы. Это, во-первых, обеспечивает максимальную точность измерений, а во-вторых, позволяет с равной надежностью воспроизводить эталонные единицы в любой лаборатории, располагающей нужным оборудованием.

- Новая стратегия была официально утверждена в октябре 2005 года на 94-й сессии Международного комитета мер и весов, который рекомендовал переопределить таким образом эталоны килограмма, ампера, кельвина и моля.

