

## 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 SI (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 назвали MKSA (метр, килограмм, секунда, ампер)**.

## Рождение SI (СИ)

- Чуть позднее в MKSA 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 MKSA 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 стерадиан.



## 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	M	m
Масса	M	килограмм	кг	kg
Время	T	секунда	s	s
Сила тока	I	ампер	A	A
Термодинамическая температура	Q	Кельвин	K	K
Количество вещества	N	моль	моль	mol
Сила света	J	кандела	кд	cd

## Дополнительные единицы физических величин системы СИ

Величина		Единица		
Наимено- вание	Обозна- чение	Наимено- вание	Обозначение русское	междуна- родное
Плоский угол	-	радиан	рад	rad
Телесный угол	-	стерадиан	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** пе излучения, соответствующего переходу 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.

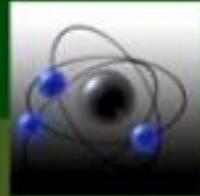
## 6. Единица силы света – канделла

– 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°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. Стерадиан (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  $\phi$  и телесный  $\Omega$  углы вводятся посредством уравнений

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

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:

«стериан»



## 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	Герц	Гц	-	$C^{-1}$
Сила	Ньютон	Н	-	$M \cdot Kg \cdot C^{-2}$
Давление	Паскаль	Па	$N/m^2$	$M^{-1} \cdot kg \cdot c^{-2}$
Энергия, работа, колич. теплоты	Джоуль	Дж	$N.m$	$M^2 \cdot kg \cdot c^{-2}$
Мощность	Ватт	Вт	Дж/с	$M^2 \cdot kg \cdot c^{-3}$
Количество электричества	кулон	Кл	А.с	$c \cdot A$
Электрическое напряжение	вольт	В	Вт/а	$M^2 \cdot kg \cdot c^{-3} \cdot A^{-1}$

1	2	3	4	5
Электрическая емкость	фараада	$\Phi$	$Cл/B$	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Электрическое сопротивление	ом	$\Omega$	$V/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	$Cm$	$A/V$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^2$
Поток магнитной индукции	вебер	$Вб$	$В.с$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	$T$	$Вб/m^2$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Индуктивность	генри	$H$	$Вб/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Световой поток	люмен	$lm$	-	$kд \cdot ср$
Освещенность	люкс	$lk$	-	$m^2 \cdot kд \cdot ср$
Активность нуклида	беккерель	$Bk$	$Bq$	$s^1$
Поглощенная доза ионизир. излучения	грей	$Gy$	-	$m^2 \cdot s^{-1}$
Эквивалентная доза излучения	зиверт	$Zv$	-	$m^2 \cdot s^{-2}$

## 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.

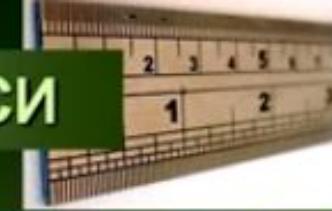
**Внесистемные единицы, допускаемые  
к применению наравне с единицами СИ**



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	°	$(\pi/180)\text{рад}=1.745329\cdots \times 10^{-2}\text{рад}$
	минута	'	$(\pi/10800)\text{рад}=2.908882\cdots \times 10^{-4}\text{рад}$
	секунда	"	$(\pi/648000)\text{рад}=4.848137\cdots \times 10^{-6}\text{рад}$
	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.
	парsec	пк	$3,0857 \cdot 10^{16} \text{ м}$ приблизит.
<b>Оптическая сила</b>	диоптрия	дptr	$1 \text{ м}^{-1}$
<b>Площадь</b>	гаектар	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

Множи- тель	Прис- тавка	Обозначение		Множи- тель	Прис- тавка	Обозначение	
		междуна- родное	русское			междуна- родное	русское
$10^{18}$	экса	E	Э	$10^{-1}$	дэци	D	д
$10^{15}$	пета	P	П	$10^{-2}$	санти	c	с
$10^{12}$	тера	T	Т	$10^{-3}$	милли	m	м
$10^9$	гига	G	Г	$10^{-6}$	микро	мк	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.

## Проверочная схема



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

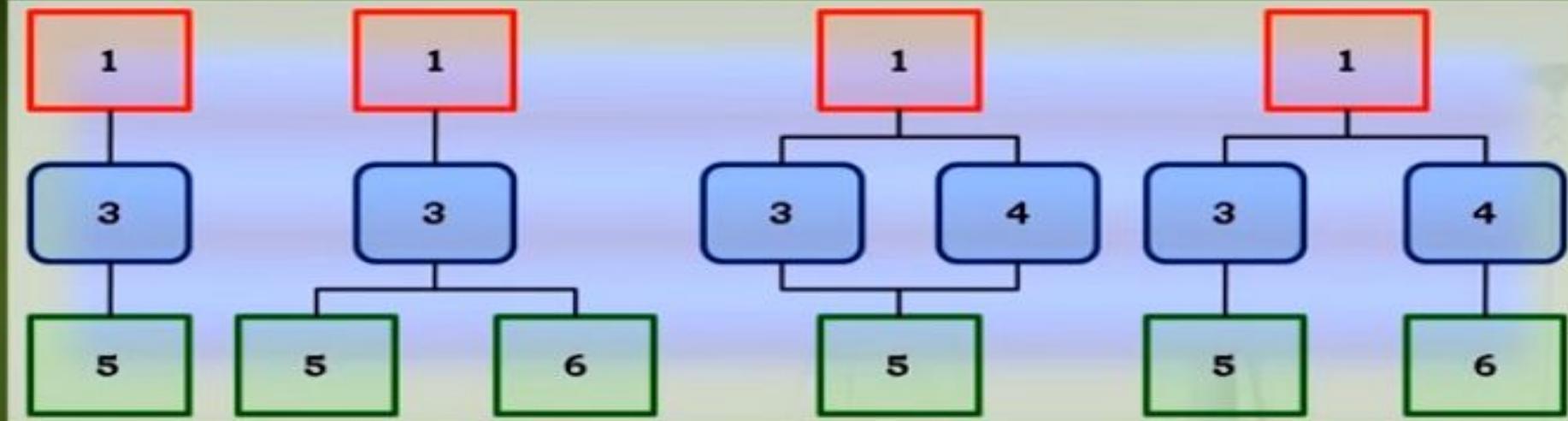
распространяется на все СИ данной ФВ, имеющиеся в стране.

- 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

# Проверка



- Проверка – 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 проверяемого СИ с более точным СИ – рабочим эталоном.



Различают поверки:



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

- Проверка 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 **эталоны метра, килограмма, ампера, кельвина и радиана**;
  - **45** – во «ВНИИФТРИ» в Москве, в том числе **эталоны 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  $20\pm3^{\circ}\text{C}$  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 хранится 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 СС1000S-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)



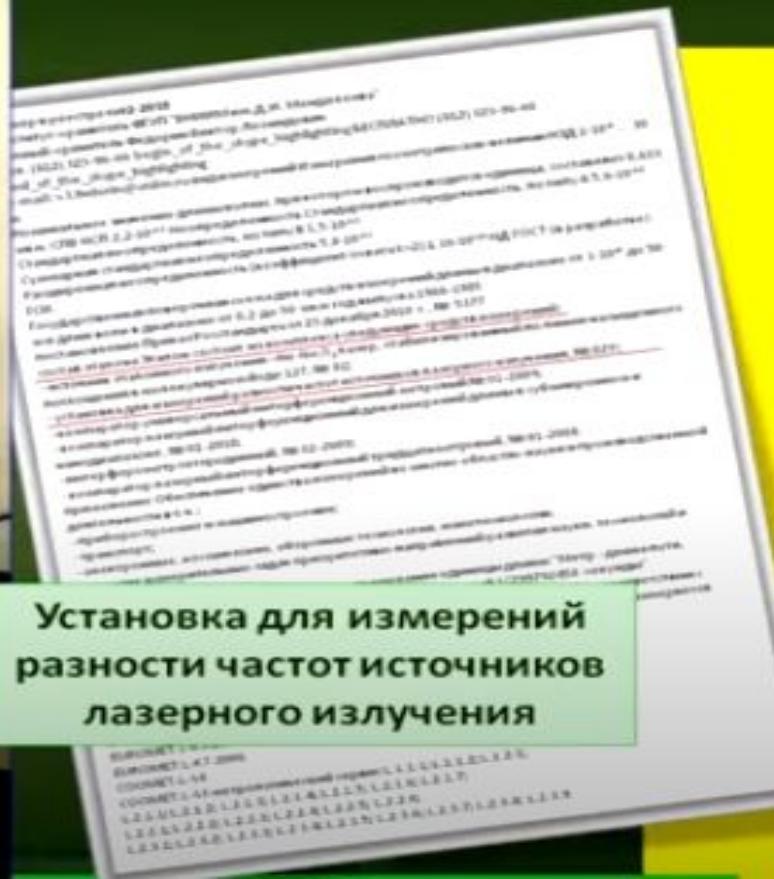
Компаратор лазерный  
интерференционный для измерений  
длины в субмикронном и  
нанодиапазоне



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.

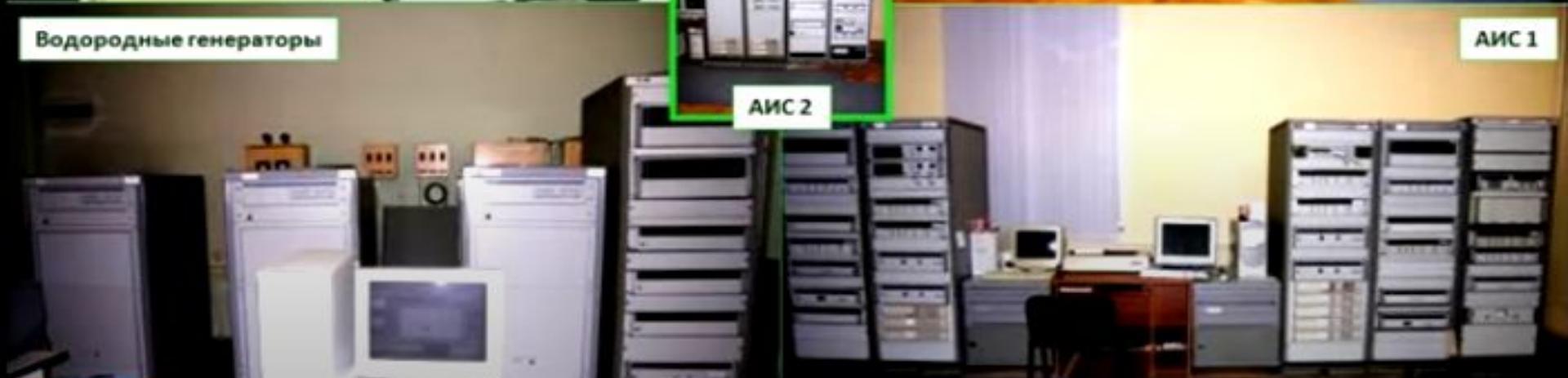
Цезиевый репер частоты



Аппаратный зал



Водородные генераторы



АИС 1

## Точность воспроизведения единицы времени

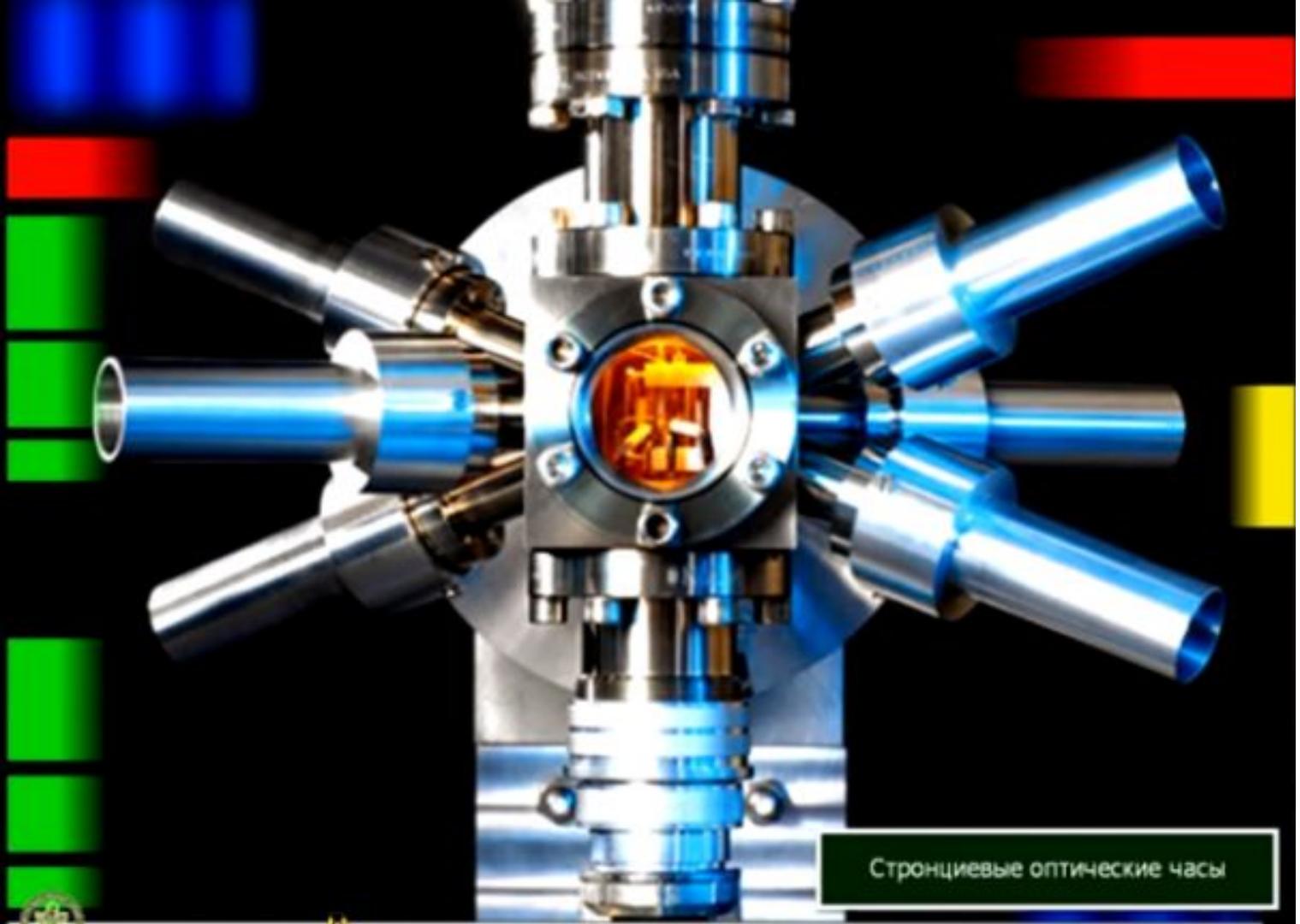
- Секунда с 1967 года не является  $1/86400$  частью суток, а определяется как  $9\ 192\ 631\ 770$  периодов излучения, соответствующего переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры изотопа цезия с атомным весом 133.
- В 1997 году Международное бюро мер и весов уточнило, что в этом определении фигурирует атом цезия, который покоятся 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 плотности и плотности потока нейтронов

# Государственные эталоны



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



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



Государственный специальный эталон единицы напряжения переменного тока в диапазоне частот 10 - 3-107 Гц



Государственный первичный эталон единицы температуры в диапазоне от 0 до 3000 °C.  
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.

