


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 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
Основные				
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
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 $9\,192\,631\,770$ периодов 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 = $57^\circ 17' 44,8''$** .



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 π ср – плоский угол 120° , углу 2π ср – плоский угол 180° .
- Во всех системах единиц плоский φ и телесный Ω углы вводятся посредством уравнений

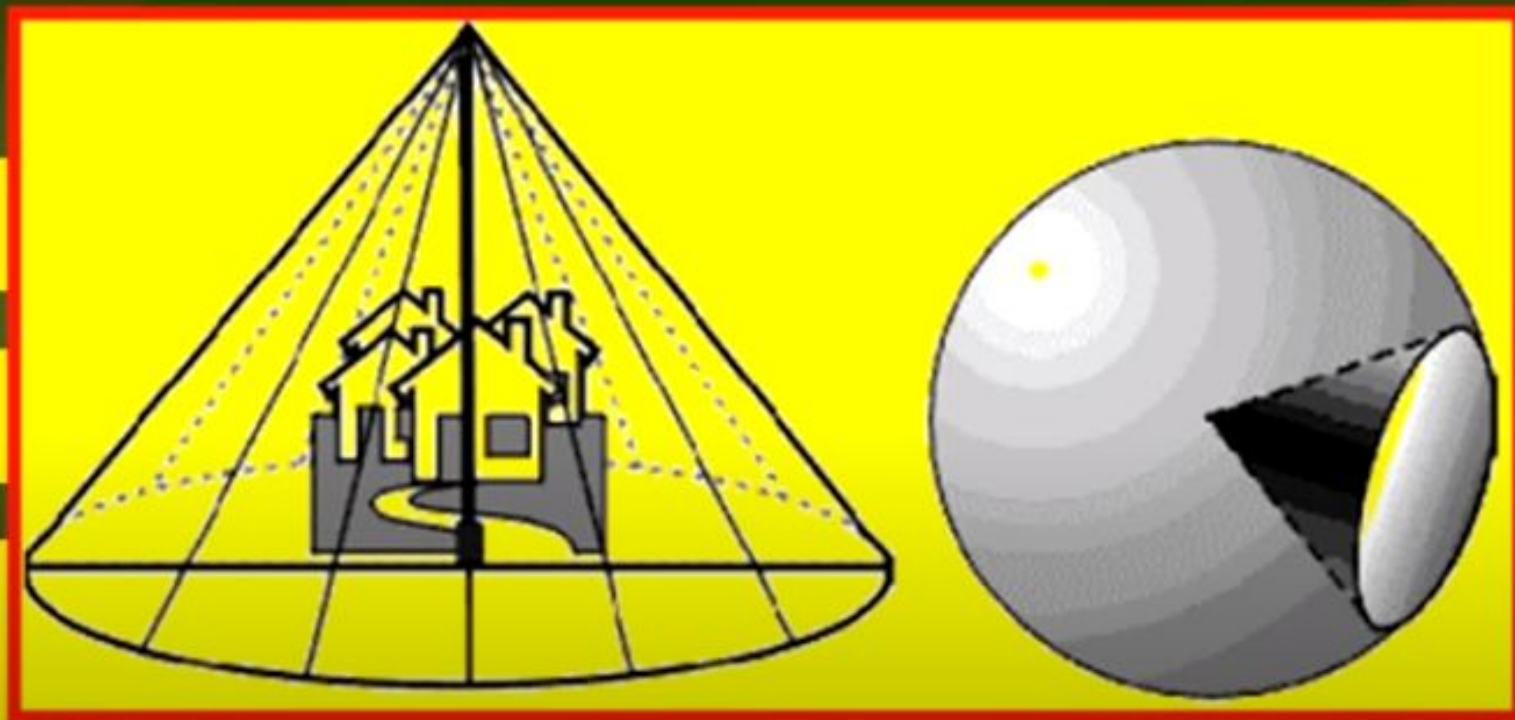
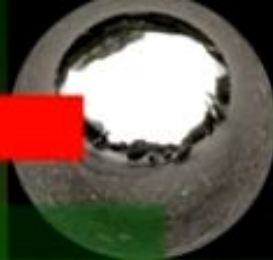
$$\varphi = l / R; \quad \Omega = S / R^2,$$

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>	<i>Ф</i>	<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/м²</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>	-	$\text{кд} \cdot \text{ср}$
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>	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
Масса	тонна	Т	10^3 кг
	атомная единица массы	а.е.м.	$1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ (приблизительно)
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86 400 с
Плоский угол	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
Объем	Литр	л	10^{-3} м^3
Длина	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.
Оптическая сила	диоптрия	дптр	1 м^{-1}
Площадь	гектар	га	10^4 м^2
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1,60219 \cdot 10^{19} \text{ Дж}$ приблизительно
Полная мощность	вольт-ампер	В·А	-
Реактивная мощность	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	μ	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

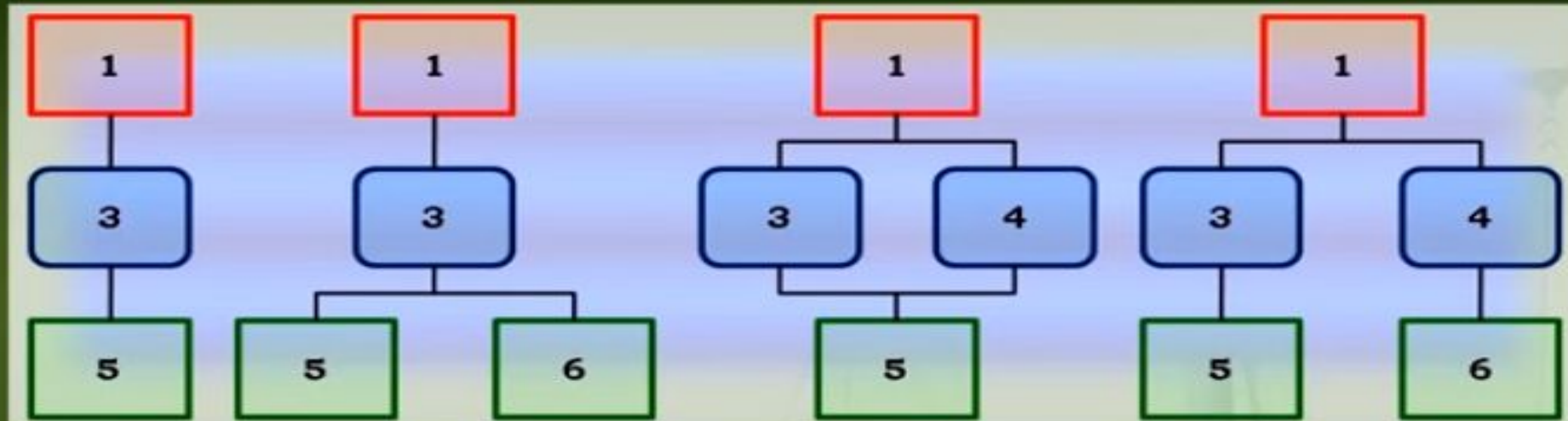
распространяется на все СИ данной ФВ, имеющиеся в стране.

- 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/I₂ 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)



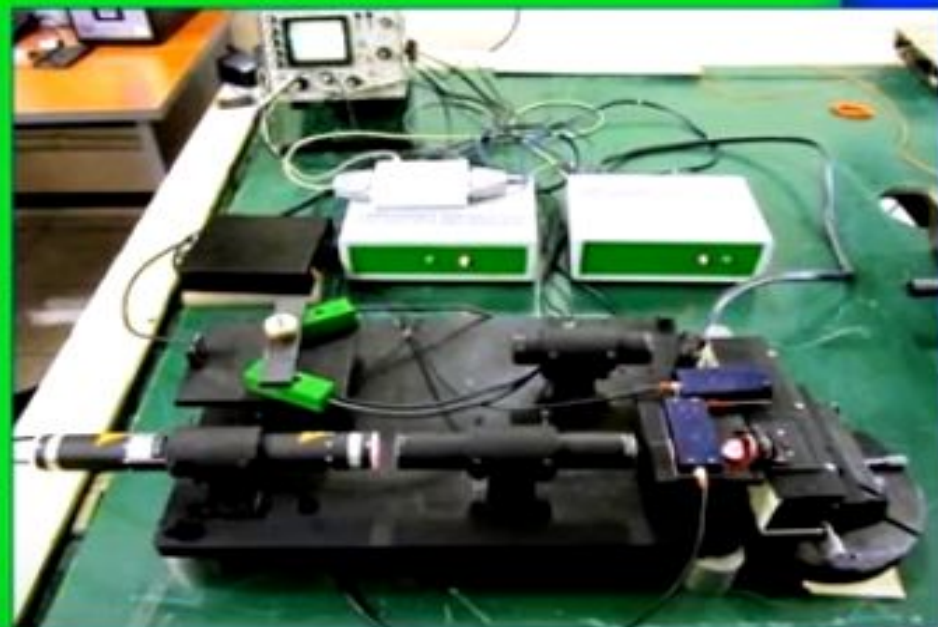
Компаратор лазерный интерференционный тридцатиметровый

Государственный эталон единицы длины

(составляющие комплекса)



Компаратор лазерный
интерференционный для измерений
длины в субмикронном и
нанодиапазоне



Интерферометр гетеродинный

Государственный 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

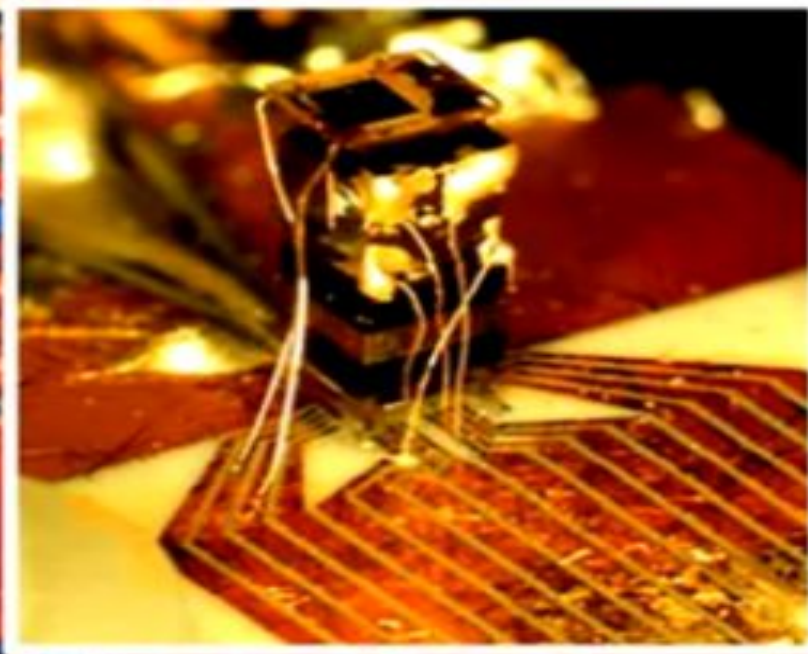


Точность воспроизведения единицы времени

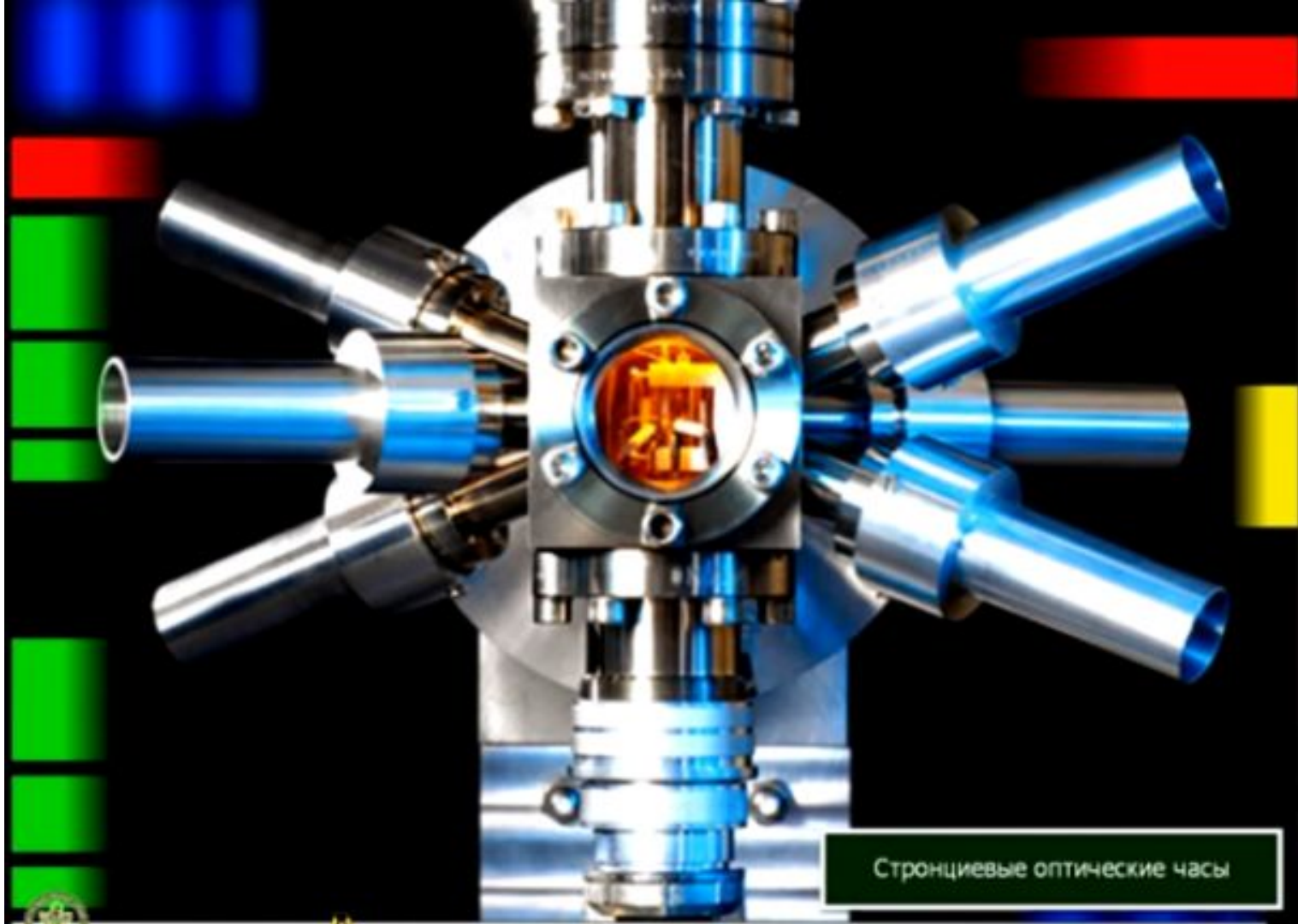
- Секунда с 1967 года не является 1/86400 частью суток, а определяется как 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры изотопа цезия с атомным весом 133.
- В 1997 году Международное бюро мер и весов уточнило, что в этом определении фигурирует 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 3×10^{-14} . Но в ближайшее время мы намерены ликвидировать отставание, построив фонтанный цезиевый эталон. Уже сейчас точность отдельных экспериментальных образцов достигает 2×10^{-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)

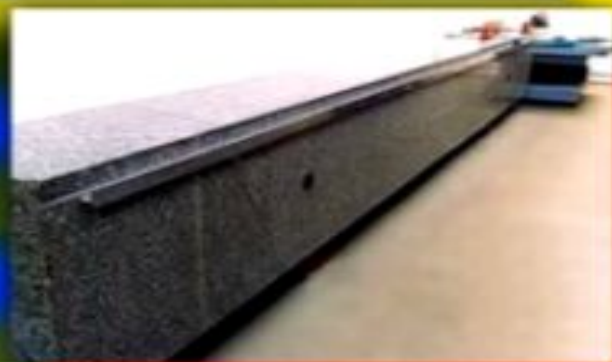
Эталонные установки входящие в состав Государственного первичного эталона единиц потока и плотности потока нейтронов



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 - 3·10⁷ 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.

