### РТУ МИРЭА

Физико-технологический институт



# Дисциплина: Метрология, стандартизация и технические измерения

**Овчинников Сергей Андреевич,** к.т.н., доцент Кафедра метрологии и стандартизации

Москва, 2021





ЛЕКЦИЯ 1.
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.
НОРМАТИВНАЯ И
МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА
МЕТРОЛОГИИ



Раздел<br/>01

Структура метрологии





## **МЕТРОЛОГИЯ**

Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности

В практической жизни человек сталкивается с измерениями каждый день. С незапамятных времен измеряют такие величины как длина, время и масса.





## **МЕТРОЛОГИЯ**



Производство



Медицина



Торговля



Планирование



Учет материальных ресурсов



Обеспечение качества продукции и совершенствование технологий

Измерения имеют первостепенное значение для торговли, учета материальных ресурсов, планирования, для обеспечения качества продукции, совершенствования технологий, медицины.



# ПРЕДМЕТ МЕТРОЛОГИИ

извлечение количественной информации о свойствах объектов с заданной точностью и достоверностью

# **СРЕДСТВА МЕТРОЛОГИИ**

совокупность измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих требуемую точность

Метрология играет важную роль для прогресса технологий и должна развиваться темпами, опережающими другие области науки и техники, так как для каждой из них точные измерения являются одним из основных путей совершенствования.





# 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 измерения и контроля
- Разработка методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений





Теоретическая метрология

Раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии

Законодательная метрология

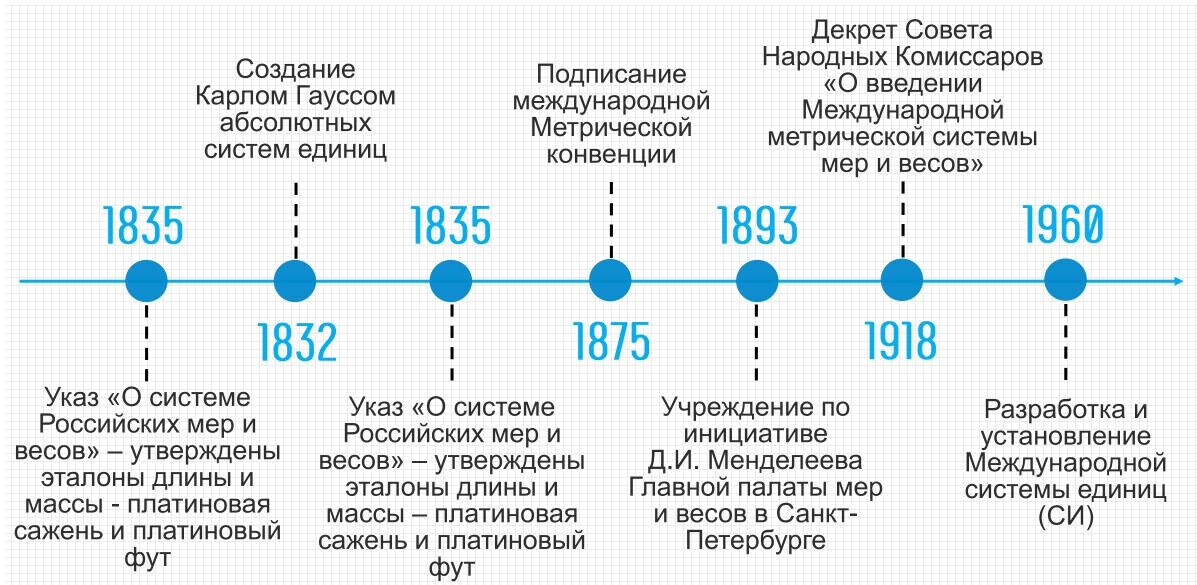
Раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и требуемой точности измерений

Практическая (прикладная) метрология

Раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии



## РАЗВИТИЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕТРОЛОГИИ





### РАЗРАБОТКА МЕТРИЧЕСКОЙ КОНВЕНЦИИ

1870-1872 г.

Международная метрическая комиссия определила порядок изготовления метрических эталонов и подготовила предложения по заключению Метрической конвенции. Представители России – академики Г.И.Вильд, О.В.Струве, Б.С.Якоби

Подписание на специально созванной дипломатической конференции в Париже Метрической конвенции (фр. Convention du Mètre) — первого межправительственного соглашения в области метрологии, служащего для обеспечения единства метрологических стандартов в разных странах

20 мая 1875 г.



## МЕТРИЧЕСКАЯ КОНВЕНЦИЯ

ПЕРВОЕ межправительственное соглашение в области метрологии, служащее для обеспечения единства метрологических стандартов в разных странах







# МЕТРИЧЕСКАЯ КОНВЕНЦИЯ





# Раздел<br/>02

Величины и единицы измерения



- Величина свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них
- **Качественная** сторона понятия величина определяет род величины (длина, масса), а **количественная** ее размер (длина, масса конкретного объекта).
- Род величины качественная определенность величины

#### Примеры

- 1 Длина и диаметр детали однородные величины.
- 2 Длина и масса детали неоднородные величины.

Однородные величины в рамках данной системы величин имеют одинаковую размерность величины. Однако величины одинаковой размерности не обязательно будут однородными.

• Размер величины – количественная определенность величины, присущая конкретному материальному объекту или явлению. Размер величины существует объективно независимо от того знаем мы его или нет.



- Значение величины выражение размера величины в виде некоторого числа принятых единиц, или чисел, баллов по соответствующей шкале измерений
- Система величин согласованная совокупность величин и уравнений связи между ними, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины условно принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин
- Уравнение связи (между величинами) математическое соотношение между величинами в данной системе величин, основанное на законах природы и не зависящее от единиц измерения

• В названии системы величин применяют символы величин, принятых за основные. Так, система величин механики, в которой в качестве основных приняты длина  $\boldsymbol{L}$ , масса  $\boldsymbol{M}$  и время  $\boldsymbol{T}$ , должна называться системой  $\boldsymbol{L}\boldsymbol{M}\boldsymbol{T}$ .



• Основная величина – одна из величин подмножества, условно выбранного для данной системы величин так, что никакая из величин этого подмножества не может выражаться через другие величины.

Основные величины относят к взаимно независимым, так как основная величина не может быть выражена как произведение степеней других основных величин.

• Производная величина – величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы

Примеры производных величин механики системы LMT:

Скорость v поступательного движения, определяемая (по модулю) уравнением v = dl / dt, где l - путь, t — время

Сила F, приложенная к материальной точке, определяемая (по модулю) уравнением F = ma, где m - масса точки, a — ускорение, вызванное действием силы F



- Классификация величин. Величины делятся на реальные и идеальные. Идеальные величины являются моделью реальных понятий и используются в основном в математике. Физические величины свойственны реальным объектам, явлениям и процессам. Реальные величины делятся на физические и нефизические. Нефизические величины используются в нефизических науках экономике, философии, социологии и т.п.
- Физические величины разделяют на измеряемые и оцениваемые. Измеряемые физические величины могут быть выражены количественно в виде определенного числа установленных единиц измерения. Возможность введения и использования единиц измерения является отличительным признаком измеряемой физической величины. Если для физической величины нельзя ввести единицу измерения, то она относится к оцениваемым.





- Классификация физических величин. Физические величины делятся по видам явлений на 3 группы.
- Вещественные описывают физические и физикохимические свойства веществ и материалов. Вещественные физические величины называют также пассивными потому, что для их измерения необходимо формировать сигнал измерительной информации при помощи вспомогательного источника энергии.
- Энергетические описывают энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и использования энергии. Энергетические физические величины называют активными.
- Характеризующие протекание процессов во времени к этой группе относят различного рода спектральные характеристики корреляционные функции и другие. По принадлежности к различным группам физических процессов физические величины подразделяют на следующие: пространственно-временные; механические; тепловые; электрические и магнитные; акустические; световые; физико-химические; ионизирующих излучений; атомной и ядерной физики.
- Также физические величины могут быть размерными и безразмерными.





#### Система величин

• Международная система величин – система величин, основанная на подмножестве семи основных величин: длины, массы, времени, электрического тока, термодинамической температуры, количества вещества и силы света.

Символы, представляющие размерности основных величин в Международной системе величин, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основная величина	Символ для размерности
длина	L
масса	М
время	Т
электрический ток	I
термодинамическая температура	Θ
количество вещества	N
сила света	Ј



#### Единицы измерения

- **Единица измерения (величины)** величина фиксированного размера, которой присвоено числовое значение, равное 1, определяемая и принимаемая по соглашению для количественного выражения однородных с ней величин
- Развитие естественных и технических наук, необходимость обмена результатами привело к созданию систем единиц величин
- Система единиц (величин); система единиц измерений совокупность основных и производных единиц, вместе с их кратными и дольными единицами, определенными в соответствии с установленными правилами для данной системы единиц
- Система единиц строится на базе знаний о физических процессах, протекающих в природе известных физических законах. Так, выбрав произвольно единицы измерения нескольких физических величин и зная физические законы, связывающие их с другими величинами можно получить единицы физических величин.



• Основная единица (системы единиц величин) – единица измерения, принятая по соглашению для основной величины.

#### Примечания

- 1 В любой системе единиц существует только одна основная единица для каждой основной величины.
- 2 Основные единицы Международной системы единиц (СИ): метр (м), килограмм (кг), секунда (с), ампер (А), кельвин (К), моль (моль) и кандела (кд).
- Производная единица (системы единиц величин) единица измерения для производной величины

#### Примеры

- 1 м/с единица скорости, образованная из основных единиц СИ метра и секунды.
- 1 Н единица силы, образованная из основных единиц СИ килограмма, метра и секунды.



- Первоначально в разных странах были созданы свои системы единиц. В основном они строились на базе трех единиц физических величин: длина, масса, время и условно назывались механическими. Например, системы: метр, килограмм, секунда (МКС); сантиметр, грамм, секунда (СГС). Эти системы удобны в применении в механике, однако для электрических и магнитных величин встретились серьезные трудности.
- В течение некоторого времени применяли так называемую техническую систему единиц (длина, сила, время): метр, килограмм-сила, секунда (МКГСС). Такая система удобна для вычисления и вывода многих технических величин, но большим недостатком этой системы единиц является то, что единица массы в ней получилась числено равной 9,81 кг, что нарушает метрический принцип десятичности мер, а также то, что трудно согласуется с практическими электрическими единицами.
- В соответствии с потребностями отдельных отраслей науки технические системы единиц расширялись до четырех единиц. Так появились система тепловых единиц: метр, килограмм, секунда, градус температурной шкалы (МКСГ); система единиц для электрических и магнитных измерений: метр, килограмм, секунда, ампер (МКСА); система световых единиц: метр, килограмм, секунда, кандела (МКСК).



- Когерентная (производная) единица (величины) производная единица величины, которая для данной системы величин и для выбранного набора основных единиц, представляет собой произведение основных единиц, возведенных в степень, с коэффициентом пропорциональности, равным единице.
- Когерентная система единиц (величин) система единиц величин, состоящая из основных единиц и когерентных производных единиц.
- Системная единица (величины) единица величины, входящая в принятую систему единиц.
- Внесистемная единица (величины) единица величины, не входящая в принятую систему единиц.
- Внесистемные единицы (по отношению к единицам СИ) разделяются на четыре группы:

Допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Допускаемые к применению в специальных областях

Временно допускаемые к применению

Устаревшие (недопускаемые к применению)



- Наличие ряда систем создало неудобства при обмене результатами, при пересчете из одной системы единиц в другую, что привело к необходимости создания единой универсальной системы единиц, которая охватывала бы все отрасли науки и была бы принята в международном масштабе.
- В 1948 г. на IX Генеральной конференции по мерам и весам было рассмотрено предложение о принятии единой практической системы единиц. Международным комитетом мер и весов был произведен официальный опрос мнений научных кругов всех стран и на этой основе составлены рекомендации по установлению единой практической системы единиц.
- В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам принимает международную систему и присваивает ей наименование «Международная система единиц» (System International SI, в русской транскрипции СИ), в которой в качестве основных приняты единицы: метр, килограмм, секунда, Ампер, Кельвин, кандела. Позже в качестве основной в систему единиц была введена единица количества вещества моль.
- Международная система единиц; СИ система единиц, основанная на Международной системе величин, вместе с наименованиями и обозначениями, а также набором приставок и их наименованиями и обозначениями вместе с правилами их применения, принятая Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ).
- Эта система за короткое время получила широкое международное признание.



### Международная система единиц (СИ)

Величина		Единица									
Наименование	Размер- ность	Наимено- вание	Обозначение		Определение						
			между- народное	русское							
Длина	L	метр	m	М	Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени 1/299792458 s [XVII ГКМВ (1983 г.), Резолюция 1]	Электрический ток (сила электрического тока)	1	ампер	А	А	Ампер есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным
Macca 2	М	килограмм	kg	КГ	Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма [I ГКМВ (1889 г.) и III ГКМВ (1901 г.)]						проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме
Время	Т	секунда	S	С	Секунда есть время, равное 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 1]						на расстоянии 1 m один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 m силу взаимодействия, равную 2·10-7 N [МКМВ (1946 г.), Резолюция 2, одобренная IX ГКМВ (1948 г.)]



Термодинамическая температура	Φ	кельвин	К	К	Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 4]
Количество вещества	И	МОЛЬ	mol	моль	Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 kg. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц [XIV ГКМВ (1971 г.), Резолюция 3]
7	J	кандела	cd	ΚД	Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540·10   12 Нz, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 W/sr [XVI ГКМВ (1979 г.), Резолюция 3]

#### Дополнения

1 Кроме термодинамической температуры (обозначение T), допускается применять также температуру Цельсия (обозначение t), определяемую выражением t = T – T0, где T0 = 273,15 К. Термодинамическую температуру выражают в кельвинах, температуру Цельсия - в градусах Цельсия. По размеру градус Цельсия равен кельвину. Градус Цельсия - это специальное наименование, используемое в данном случае вместо наименования "кельвин".

- 2 Интервал или разность термодинамических температур выражают в кельвинах. Интервал или разность температур Цельсия допускается выражать как в кельвинах, так и в градусах Цельсия.
- 3 Обозначение Международной практической температуры в Международной температурной шкале 1990 г., если ее необходимо отличить от термодинамической температуры, образуют путем добавления к обозначению термодинамической температуры индекса "90" (например,  $T_{90}$  или  $t_{90}$ ) [3].



#### Производные единицы СИ

- Примеры производных единиц СИ, наименования и обозначения которых образованы с использованием наименований и обозначений основных единиц СИ
- **Множители и приставки**, используемые для образования наименований и обозначений десятичных кратных и дольных единиц СИ

Десятичный множитель	Приставка	Обозна прист		Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		междуна- родное	русское			междуна- родное	русское
1024	иотта	Υ	И	10-1	деци	d	Д
10 21	зетта	Z	3	10-2	санти	С	С
1018	экса	Е	Э	10-3	милли	m	М
1015	пета	Р	П	10-6	микро	μ	МК
1012	тера	Т	Т	10 <sup>-9</sup>	нано	n	Н
10 <sup>9</sup>	гига	G	Γ	10-12	пико	р	п
106	мега	М	М	10-15	фемто	f	ф
103	кило	k	К	10 -18	атто	а	а
102	гекто	h	Г	10 -21	зепто	Z	3
101	дека	da	да	10 -24	иокто	у	И

Величина	a	Единица				
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение			
			международное	русское		
Площадь	L <sup>2</sup>	квадратный метр	m 2	м 2		
Объем, вместимость	L <sup>3</sup>	кубический метр	m³	м3		
Скорость	LT <sup>-1</sup>	метр в секунду	m/s	M/C		
Ускорение	LT <sup>-2</sup>	метр на секунду в квадрате	m/s 2	м/с2		
Волновое число	L <sup>-1</sup>	метр в минус первой степени	m-1	M-1		
Плотность	L <sup>-3</sup> M	килограмм на кубический метр	kg/m³	кг/м 3		
Удельный объем	$L^3M^{-1}$	кубический метр на килограмм	m³ /kg	м3 /кг		
Плотность электрического тока	L <sup>-2</sup> I	ампер на квадратный метр	A/m <sup>2</sup>	А/м 2		
Напряженность магнитного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	A/m	А/м		
Молярная концентрация компонента	L <sup>-3</sup> N	моль на кубический метр	mol/m <sup>3</sup>	моль/м3		
Яркость	L <sup>-2</sup> J	кандела на квадратный метр	cd/m <sup>2</sup>	кд/м 2		



#### Международная система единиц

- В России действует ГОСТ 8.417–2002, предписывающий обязательное использование единиц СИ. В нём перечислены единицы физических величин, разрешённые к применению, приведены их международные и русские обозначения и установлены правила их использования.
- По этим правилам, при договорно-правовых отношениях в области сотрудничества с зарубежными странами, а также в поставляемых за границу вместе с экспортной продукцией технических и других документах разрешается применять только международные обозначения единиц.
- В документах на экспортную продукцию, если эти документы не отправляют за границу, допускается применять русские обозначения единиц.
- В нормативных, конструкторских, технологических и других технических документах на продукцию различных видов применяют международные или русские обозначения единиц.
- При этом независимо от того, какие обозначения использованы в документах на средства измерений, при указании единиц величин на табличках, шкалах и щитках этих средств измерений применяют международные обозначения единиц

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ (МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION (ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ FOCT 8.417— 2002

#### Государственная система обеспечения единства измерений

#### ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИН

Издание официальное





# Раздел<br/>03

Уравнение измерения. Шкалы измерений



#### Основное уравнение измерения

- Значение физической величины Q это оценка ее размера в виде некоторого числа принятых для нее единиц.
- Числовое значение физической величины q отвлеченное число, выражающее отношение значения величины к соответствующей единице данной физической величины.
- Единица физической величины [Q] это физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице и применяемое для количественного выражения однородных физических величин.
- Измерение познавательный процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной физической величины с известной физической величиной, принятой за единицу измерения.
- Уравнение Q=q[Q] называют основным уравнением измерения. Простейшее измерение заключается в сравнении физической величины Q с размерами выходной величины регулируемой многозначной меры q[Q].
- Размер измеряемой величины является ее количественной характеристикой. Получение информации о размере физической величины является целью любого измерения.



#### Основное уравнение измерения

- Размерность является качественной характеристикой измеряемой физической величины, обозначается символом dim (от слова dimension размер, англ.), например, размерности основных физических величин обозначаются так: dim m = M, dim t = T.
- Размерность производной физической величины определяется математическим выражением, связывающим эту физическую величину с основными и показывающим во сколько раз изменится производная при изменении основных единиц.
- Если с изменением основной величины в n раз производная величина изменится в np раз, то говорят, что данная производная единица обладает размерностью р относительно основной единицы. Например, размерность площади равна двум м², а размерность объема трем м³ относительно основной единицы длины м.
  - Понятие размерности широко используется:
  - для перевода единиц из одной системы измерений в другую;
- для проверки правильности сложных расчетных формул;
- при выяснении зависимости между величинами.



- Шкала (измерений) отображение множества различных проявлений количественного или качественного свойства на принятое по соглашению упорядоченное множество чисел или другую систему логически связанных знаков (обозначений).
- Понятие «шкала измерений» не следует отождествлять с отсчетным устройством (шкалой) средства измерений
- Различают **5 (пять) основных типов шкал**: наименований, порядка, разностей (интервалов), отношений и абсолютные.
- Примерами систем знаков, образующих шкалы измерений, являются множество баллов оценки свойств объектов, множество обозначений (названий) цвета, множество названий состояния объекта, совокупность классификационных символов или понятий, множество точек в модельной системе координат.
- Шкалы разностей и отношений объединяют термином «метрические шкалы»
- Различают одномерные и многомерные шкалы измерений. Одномерная шкала шкала измерений свойства объекта, которая характеризуется одним параметром и результаты измерений в которой выражаются одним числом или знаком (обозначением). Многомерная шкала шкала измерений свойства объекта, которая характеризуется двумя или более параметрами и результаты измерений в которой выражаются двумя или более числами или знаками (обозначениями).



- Шкалы наименований и порядка называют неметрическими (концептуальными), а шкалы интервалов и отношений метрическими (материальными). Абсолютные и метрические шкалы относятся к линейным.
- **Шкалы наименований** простейшие из шкал основаны на соотношении эквивалентности (равенства), используются для различения объектов. Примерами таких шкал являются классификация цвета по наименованиям (атласы цветов до 1000 наименований) и нумерация игроков спортивных команд, а также номера телефонов, паспортов и индивидуальные номера налогоплательщиков.
- Шкалы порядка расположенные в порядке возрастания и убывания размеры измеряемой величины. Расстановка размеров в порядке их возрастания называется ранжированием. По шкале порядка сравнивают однородные объекты, значения интересующих свойств которых неизвестны. Шкала порядка не может дать информации на сколько или во сколько раз один объект больше или меньше, лучше или хуже другого. Эти шкалы возможно применять для числового оценивания величин в тех случаях, когда отсутствует единица величины. Для этого некоторые точки на шкале фиксируют в качестве опорных (реперных). Недостатком реперных шкал является неопределенность интервалов между реперными точками. Поэтому результаты оценивания нельзя складывать, перемножать, подвергать другим арифметическим действиям.
- Примерами таких шкал служат оценки студентов по баллам (неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо, отлично) и сила ветра по шкале Бофорта.



- **Шкалы разностей (интервалов)** отличаются от шкал порядка тем, что по шкале интервалов можно судить еще и о том, на сколько объект больше или меньше другого. На шкале интервалов откладывается только разность значений физической величины, но само значение остается неизвестным.
- Шкала интервалов может содержать как положительные, так и отрицательные значения. Примером шкалы интервалов служат шкала температур Цельсия.
- Шкалу интервалов можно увидеть на простом уличном термометре. Значения могут быть отрицательными и положительными. За 0 принята температура таяния льда. 1 интервал равен 1 градусу Цельсия.



- **Шкалы отношений** интервальная шкала, но естественным началом, может отражать не только на сколько один показатель больше или меньше другого, но и во сколько. Соответственно, к шкале интервалов применимы такие арифметические действия как сложение, вычитание, умножение и деление. Шкала отношений не содержит отрицательных значений.
- Примером шкалы отношений служит шкала измерительной линейки. Шкалы отношений описываются основным уравнением измерения. Шкала отношений является самой совершенной и информативной.
- Абсолютные шкалы обладают всеми признаками шкал отношений, но дополнительно имеют естественное однозначное значение единицы измерения. Такие шкалы соответствуют относительным величинам: коэффициенту усиления, ослабления и др. Для образования многих единиц в системе СИ используются безразмерные и счетные единицы абсолютных шкал. Среди этих шкал существуют шкалы со значениями от 0 до 1 (коэффициент полезного действия, отражения).



## Спасибо за внимание!