

Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности;

Стандартизация — деятельность по установлению норм, правил и характеристик как обязательных для выполнения, так и рекомендованных;

Сертификация — форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Лекция 1

Основные термины и определения метрологии. Системы физических величин и единиц

Предмет метрологии

Измерение — получение количественной информации о характеристиках свойств объектов и явлений окружающего мира опытным путём (т.е. экспериментально).

При получении измерительной информации должны соблюдаться определённые правила и нормы, устанавливаемые законодательным путём.

Средства метрологии — это совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное использование.

Предмет метрологии

Теоретическая (фундаментальная) метрология — раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии.

Практическая (прикладная) метрология — раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии.

Законодательная метрология — раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин

Структура теоретической метрологии

Теоретическая метрология

```
graph TD; A[Теоретическая метрология] --> B[Основные представления метрологии]; A --> C[Теория единства (теория воспроизведения единиц физических величин и передача их размеров)]; A --> D[Теория построения средств измерений]; A --> E[Теория точности измерений];
```

Основные
представления
метрологии

Теория единства
(теория
воспроизведения
единиц физических
величин и передача их
размеров)

Теория
построения
средств
измерений

Теория
точности
измерений

Структура теоретической метрологии

Основные представления метрологии



Основные
понятия
и термины



Постулаты

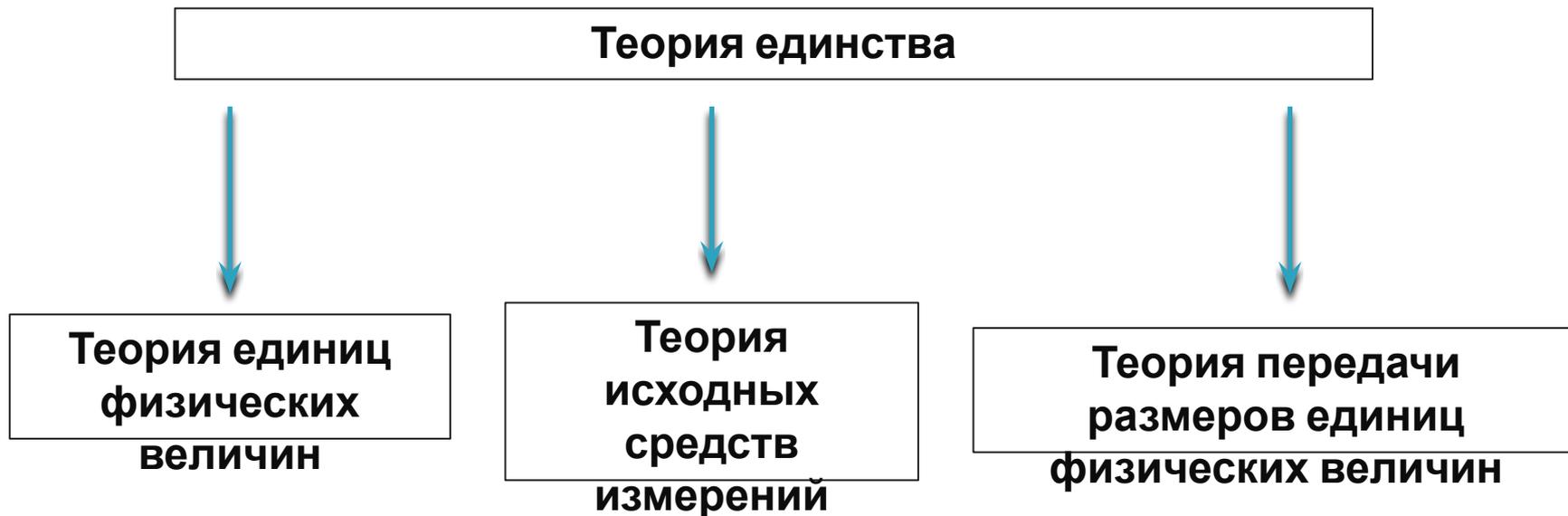


Учение
о физических
величинах



Методология
измерений

Структура теоретической метрологии



Эталон — средство измерений (эталон), обеспечивающее воспроизведение и/или хранение единицы, а также передачу её размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утверждённое в качестве эталона в установленном порядке.

Структура теоретической метрологии



Средство измерений — техническое средство, предназначенное для измерений.

Структура теоретической метрологии

Теория точности измерений



Теория точности
средств измерений



Теория погрешностей
средств измерений

Принципы и методы
нормирования и определения
метрологических
характеристик средств

Теория метрологической
надежности средств



Теория измерительных
процедур



Теория методов измерений

Методы обработки
результатов измерений

Теория планирования
измерений

Анализ предельных
возможностей измерений



Теория погрешностей
измерений

Постулаты метрологии

Постулат А.

В рамках принятой модели объекта исследования существует определенная физическая величина и ее истинное значение.

Следствие А1.

Для данной физической величины объекта измерения существует множество измеряемых величин (и соответственно их истинных значений).

Постулаты метрологии

Постулат В.

Истинное значение измеряемой величины постоянно.

Следствие В1.

Для измерения переменной физической величины необходимо определить ее постоянный параметр — измеряемую величину.

Постулаты метрологии

Постулат С.

Существует несоответствие измеряемой величины исследуемому свойству объекта (пороговое несоответствие измеряемой величины).

Следствие С1.

Измерение со 100% соответствием свойства физического объекта выполнить принципиально невозможно.

Следствие С2.

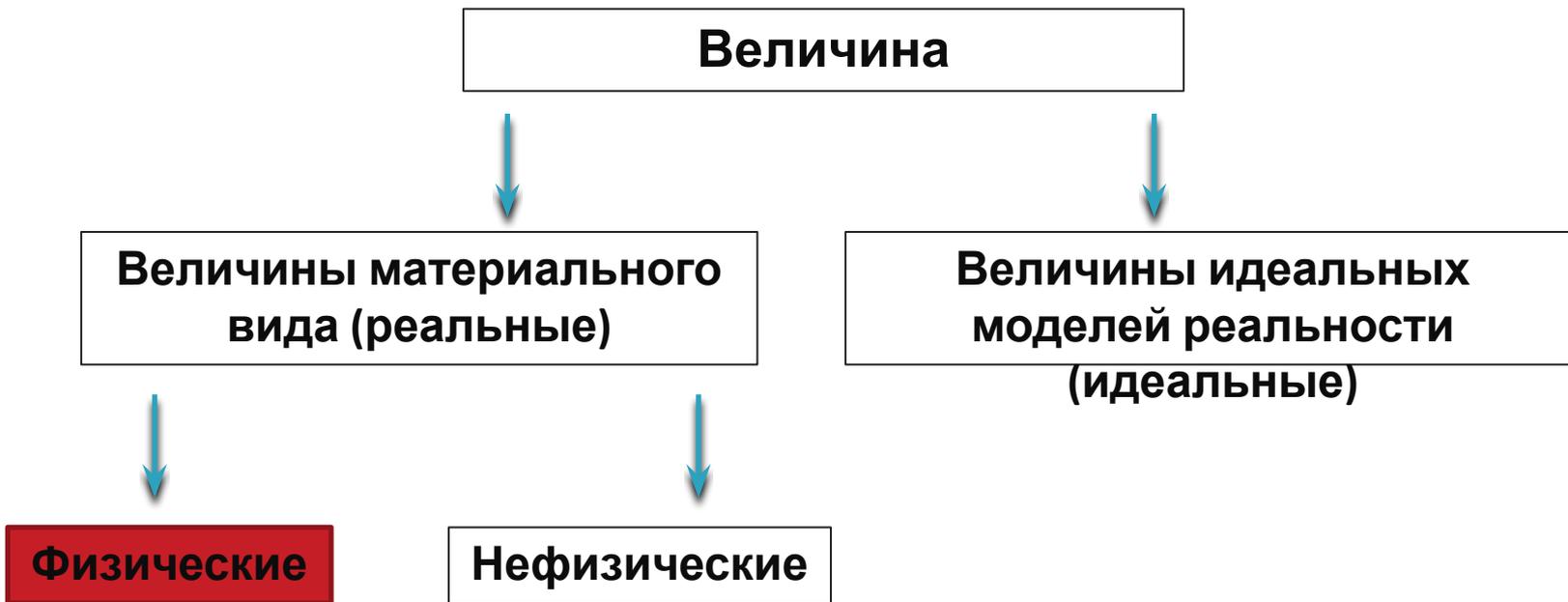
Достижимая точность измерения определяется априорной информацией об объекте измерения.

Физические свойства и величины

Свойство — философская категория, выражающая такую сторону объекта (явления, процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношениях к ним.

Величина — это свойство чего-либо, которое может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно.

Физические свойства и величины



(!) Метрология преимущественно работает с физическими величинами

Качественная характеристика физических

величин
Размерность физической величины $dim Q$ (англ. «*dimension*») — выражение в форме степенного многочлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной ФВ с ФВ, принятыми в данной системе за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

$$dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\eta}$$

$L, M, T, I \dots$ — размерности соответствующих основных ФВ;
 $\alpha, \beta, \gamma, \eta \dots$ — показателем размерности.

Качественная характеристика физических

Примеры

ВЕЛИЧИН

1. Скорость при равномерном движении описывается уравнением: $v = S/t$
Следовательно, размерность скорости: $\dim v = LT^{-1}$
2. Ускорение при равномерном движении описывается уравнением: $a = 2S/t^2$
Следовательно, размерность ускорения: $\dim a = LT^{-2}$
3. Второй закон Ньютона описывается выражением: $\vec{F} = m\vec{a}$
Следовательно, размерность силы с учетом выражения размерности для ускорения: $\dim F = LMT^{-2}$

Качественная характеристика физических величин

Безразмерными называют те физические величины, в выражении размерности которых все показатели размерности, соответствующие основным физическим величинам, равны нулю.

1. Относительные величины (относительная плотность, коэффициент трения, относительные магнитная и диэлектрическая проницаемости и т. д.);
2. Количество каких-либо объектов (количество электронов в атоме).

(!) Единицами измерения безразмерных физических величин служат числа.

Качественная характеристика физических

величин

При определении размерности производных ФВ руководствуются следующими правилами:

1. Размерности левой и правой частей уравнения равны между собой;
2. Алгебра размерностей мультипликативна, т.е. состоит всего лишь из двух действий — умножения и деления;
3. Размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Так, если зависимость между величинами имеет вид $Q = A \times B \times C$, то $dim Q = dim A \times dim B \times dim C$;

Качественная характеристика физических величин

4. Размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей. Так, если зависимость между величинами имеет

$$\text{вид } Q = A/B, \text{ то } \dim Q = \dim A / \dim B;$$

5. Размерность любой величины, возведенной в степень, равна её размерности в той же степени. Так, если зависимость между величинами

$$\text{имеет вид } Q = \prod_1^n A = \dim^n A$$

ТО

Количественная характеристика физических величин

Размер физической величины — это ее количественная определенность, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

Значение физической величины — это выражение размера физической величины

в виде некоторого числа приняты для нее единиц.

q – числовое значение, $[Q]$ – размер единицы измерения данной

ФВ

Количественная характеристика физических величин

Единица физической величины — физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице.

Размер единицы физической величины — количественная определенность единицы физической величины, воспроизводимой или хранимой средством измерений.

Измерительные шкалы

Способы получения измерительной информации

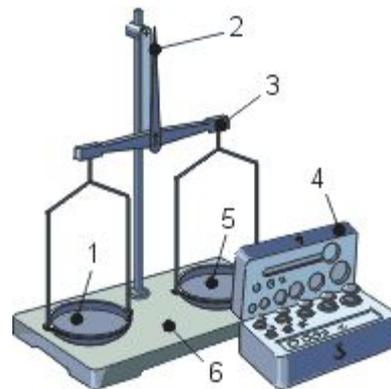
Измерение физической величины — совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Измерительные шкалы

Способы получения измерительной информации

Измерение по сути представляют собой сравнение размеров опытным путем. Выделяют три основных способа сравнения:

1. $Q_i > Q_j$
2. $Q_i - Q_j = \Delta Q$
3. $Q_i / Q_j = x_{ij} \quad (Q = q[Q])$



Измерительные шкалы

Способы получения измерительной информации

Шкала физической величины — упорядоченная совокупность значений этой величины, принятую по соглашению на основании результатов точных измерений.

В соответствии с логической структурой проявления свойств в теории измерений различают четыре основных типа шкал измерений: две – неметрические шкалы (шкала наименований и шкала порядка) и две – метрические шкалы (шкала интервалов и шкала отношений).

Измерительные шкалы

Неметрические шкалы

Шкала наименований (шкала классификации) — шкалы, использующиеся для классификации эмпирических объектов, свойства которых проявляются только в отношении эквивалентности (совпадения или несовпадения).

Условные номера в качестве меток присваиваются по следующему правилу: нельзя присваивать одну метку двум разным объектам. Поскольку числа характеризуются только отношениями эквивалентности, то в них отсутствует понятие нуля, «больше» или «меньше» и единицы измерения, выполняются лишь аксиомы тождества:

- Либо $A = B$, либо $A \neq B$;
- Если $A = B$, то $B = A$;
- Если $A = B$ и $B = C$, то $A = C$.

Измерительные шкалы

Неметрические шкалы

Примеры шкал наименований

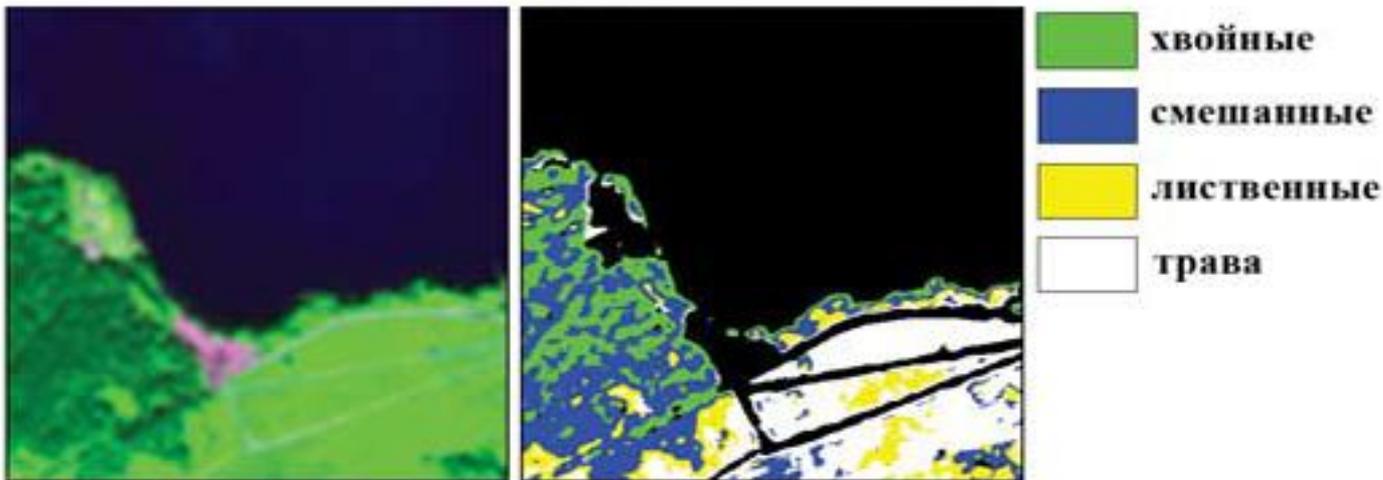
1. Дихотомическое деление по признакам (различные системы обнаружения, например, системы пожарной сигнализации, гендерная дифференциация (пол мужской либо женский), различные системы, основанные на двоичном поиске;

2. Классификация (деление по национальной принадлежности и иное недихотомическое деление по признакам, задачи классификации в минералогии и биологии, распознавание образов).

Измерительные шкалы

Неметрические шкалы

Примеры шкал наименований: *классификация*

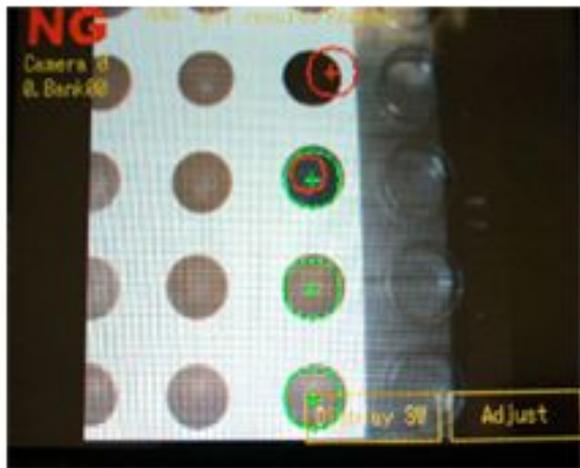


Реализация шкалы классификации

Измерительные шкалы

Неметрические шкалы

Примеры шкал наименований: *классификация*



*Практическое применение шкал классификации: распознавание
образов*

Измерительные шкалы

Неметрические шкалы

Шкала порядка (шкала рангов) — шкала, являющаяся упорядоченной последовательностью опорных (*реперных*) точек, обозначаемых буквами, цифрами или символами и соответствующих размерам $Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_4 \dots < Q_n$, о каждом из которых известно, что он больше предыдущего, но меньше последующего, хотя сами размеры неизвестны.

На шкале порядка не определены никакие математические операции. Однако выполняется *отношение транзитивности*: для любых чисел a, b и c таких, что $a < b$ и $b < c$, справедливо соотношение $a < c$. Это означает, что на шкалах порядка определены логические операции.

Измерительные шкалы

Неметрические шкалы

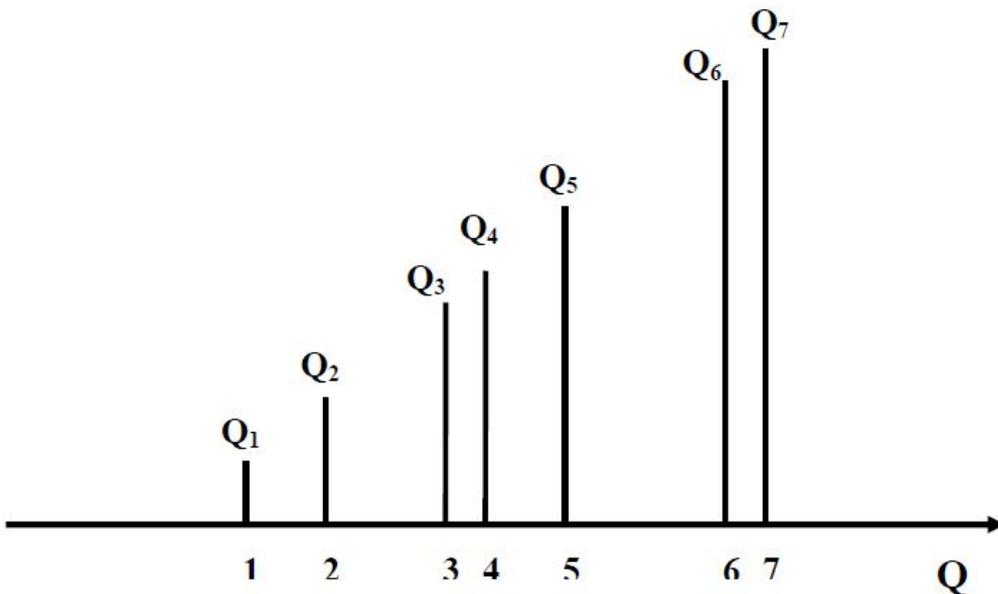


Схема построения шкалы порядка

Измерительные шкалы

Неметрические шкалы

Примеры шкал ранга: *шкала оценок знаний учащихся*

| Российские оценки | ECTS | Смысловое содержание оценки |
|-------------------|------|--|
| 5 | A | «отлично» |
| 4 | B | «очень хорошо» |
| | C | «хорошо» |
| 3 | D | «удовлетворительно» |
| | E | «посредственно» |
| 2 | FX | «неудовлетворительно» (с правом пересдать) |
| * | F | «неудовлетворительно» (без права пересдать) |

Измерительные шкалы

Неметрические шкалы

Примеры шкал ранга: *шкала Бофорта для измерения силы ветра*

| Балл | Название | Признак |
|------|----------------|----------------------------------|
| 0 | штиль | дым идёт вертикально |
| 1 | тихий | дым идёт слегка наклонно |
| 2 | лёгкий | ощущается лицом, шелестят листья |
| 3 | слабый | развеваются флаги |
| 4 | умеренный | поднимается пыль |
| 5 | свежий | вызывает волны на воде |
| 6 | сильный | свистит в вантах, гудят провода |
| 7 | крепкий | на волнах образуется пена |
| 8 | очень крепкий | трудно идти против ветра |
| 9 | шторм | срывает черепицу |
| 10 | сильный шторм | вырывает деревья с корнем |
| 11 | жестокий шторм | большие разрушения |
| 12 | ураган | опустошительное действие |

Измерительные шкалы

Неметрические шкалы

Примеры шкал ранга: *минералогическая шкала твёрдости*

| Балл | Твёрдость |
|------|--|
| 0 | Меньше твердости талька |
| 1 | Равна или больше твердости талька, но меньше твердости гипса |
| 2 | Равна или больше твердости гипса, но меньше твердости известкового шпата |
| 3 | Равна или больше твердости известкового шпата, но меньше твердости плавикового шпата |
| 4 | Равна или больше твердости плавикового шпата, но меньше твердости апатита |
| 5 | Равна или больше твердости апатита, но меньше твердости полевого шпата |
| 6 | Равна или больше твердости полевого шпата, но меньше твердости кварца |
| 7 | Равна или больше твердости кварца, но меньше твердости топаза |
| 8 | Равна или больше твердости топаза, но меньше твердости корунда |
| 9 | Равна или больше твердости корунда, но меньше твердости алмаза |
| 10 | Равна или больше твердости алмаза |

Измерительные шкалы

Метрические шкалы

Шкала интервалов (шкала разностей) — шкала, в основе которой лежит результат экспериментального сравнения i -го размера с j -м, проведенный по правилу

$$Q_i - Q_j = \Delta Q$$

Начало отсчёта на шкале интервалов не определено и зависит от выбора размера, с которым производится сравнение. Для обеспечения единства измерений этот размер должен быть общепринятым или установленным законодательно. (!) На шкале интервалов определены только **аддитивные математические операции**.

Измерительные шкалы

Метрические шкалы

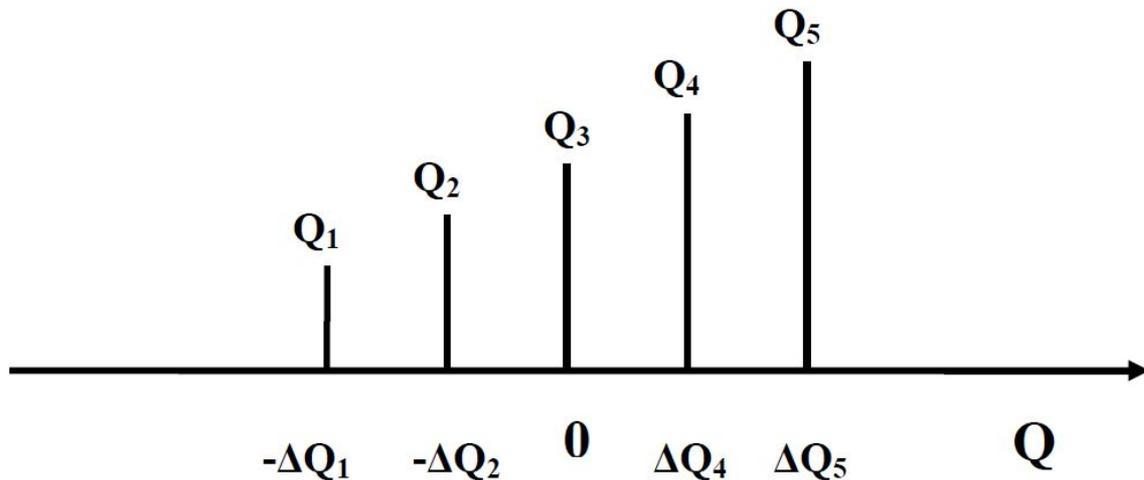


Схема построения шкалы интервалов. В качестве j -го размера выбран третий

Измерительные шкалы

Метрические шкалы

$Q = Q_0 + q[Q]$ — уравнение для описания шкалы интервалов,

Q — числовое значение величины; ^{где}

Q_0 — начало отсчета на шкале;

q — числовое значение величины;

$[Q]$ — единица данной величины.

Алгоритм построения:

1. Q_0 и Q_1 — выбираются два размера, являющиеся опорными точками;
2. $(Q_1 - Q_0)$ — основной интервал;
3. Q_0 принимается равной за начало отсчета $[Q] = (Q_1 - Q_0)/n$ — за единицу величины Q .

Измерительные шкалы

Метрические шкалы

Переход из одной шкалы интервалов в другую:

$$Q = Q_{01} + q_1[Q]_1 \quad \text{— шкала интервалов } \{1\};$$

$$Q = Q_{02} + q_2[Q]_2 \quad \text{— шкала интервалов } \{2\};$$

$$q_2 = \frac{(q_1 - (Q_{01} - Q_{02})/[Q]_1)[Q]_1}{[Q]_2} \quad \text{— переход от числового значения величины шкалы интервалов } \{1\} \text{ к числовому значению величины шкалы интервалов } \{2\}$$

Измерительные шкалы

Метрические шкалы

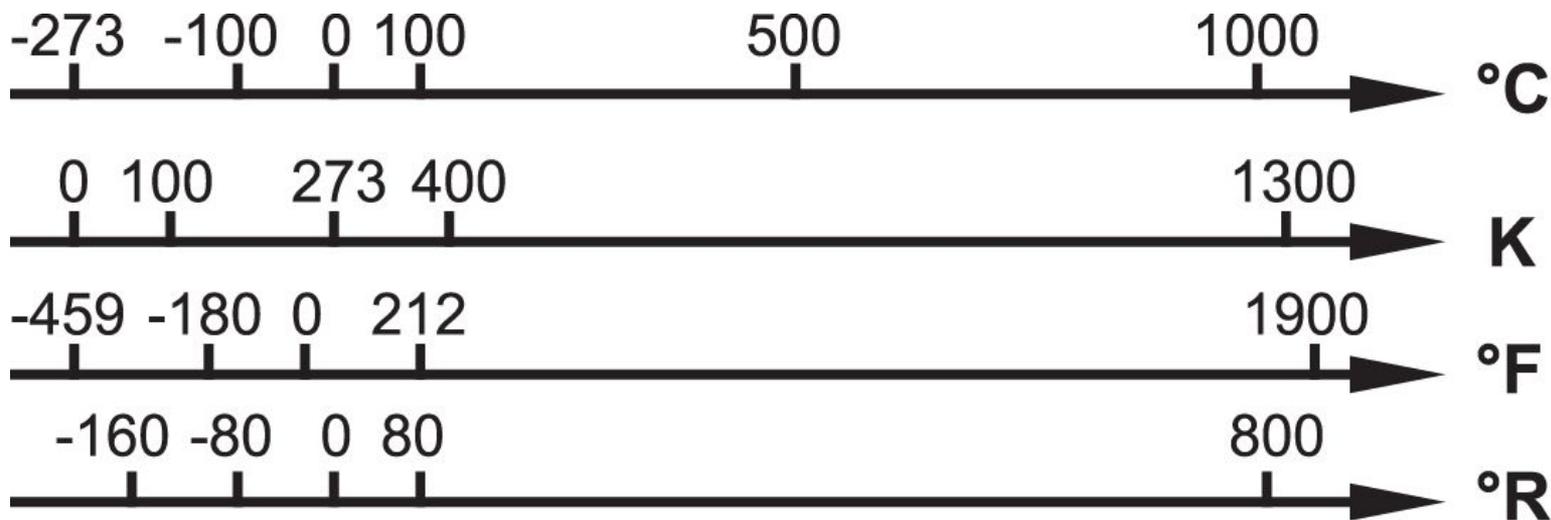
Примеры шкал интервалов

1. Системы летоисчисления по различным календарям, время суток, фаза колебания;
2. Величины, которые по физической природе либо не имеют абсолютного нуля, либо допускают свободу выбора в установлении начала отсчета (потенциальная энергия поднятого груза, потенциал электрического поля, высота местности);
3. Температурные шкалы (Цельсия, Реомюра, Фаренгейта, Ранкина и Кельвина).

Измерительные шкалы

Метрические шкалы

Примеры шкал интервалов: *температурные шкалы*



Измерительные шкалы

Метрические шкалы

Примеры шкал интервалов: *пересчет между температурными шкалами*

$$t_C = \frac{5}{9} \cdot (t_F - 32)$$

— пересчет между шкалами Цельсия и Фаренгейта

$$t_F = \frac{9}{5} \cdot (t_C + 32)$$

$$t_C = \frac{5}{4} \cdot t_R$$

— пересчет между шкалами Цельсия и Реомюра

$$t_R = \frac{4}{5} \cdot t_C$$

$$t_C = t_K - 273,15$$

— пересчет между шкалами Цельсия и Кельвина

$$t_K = t_C + 273,15$$

Измерительные шкалы

Метрические шкалы

Шкала отношений (абсолютная шкала) — шкала, в основе которой лежит результат экспериментального сравнения i -го размера с j -м, проведенный по правилу

$$Q_i/Q_j = x_{ij}$$

В шкалах отношений существует однозначный естественный критерий нулевого количественного проявления свойства и единица измерений, установленная по соглашению.

*(!) На шкалах отношений определены **любые** математические операции.*

Измерительные шкалы

Метрические шкалы

$Q = q[Q]$ — уравнение для описания шкалы интервалов,

где Q — физическая величина, для которой строится шкала;

q — числовое значение величины;

$[Q]$ — единица данной величины.

Переход из одной шкалы отношений в другую:

$$q_2 = \frac{q_1[Q]_1}{[Q]_2}$$

Измерительные шкалы

Метрические шкалы

Примеры использования шкал отношений

1. Измерение безразмерных величин (коэффициент усиления или затухания, коэффициент трения, коэффициент полезного действия, добротность колебательной системы, вероятность и т.д.).

Единицы измерения относительных величин:

- безразмерные единицы (относительная плотность и т.п.);
- проценты (одна сотая часть, принимаемая за целое);
- промилле (одна тысячная доля, принимаемая за целое);
- ppm (одна миллионная часть, принимаемая за целое).

Измерительные шкалы

Метрические шкалы

Примеры использования шкал отношений

- Измерение логарифмических величин (логарифм безразмерного отношения двух одноименных физических величин). Единица измерения логарифмических величин – **бел (Б)**.

Для энергетических

величин:

$1\text{Б} = \lg \frac{P_2}{P_1}$ при $P_2 = 10P_1$, где P_1 и P_2 – одноименные энергетические величины

Для силовых

величин:

$1\text{Б} = 2 \lg \frac{F_2}{F_1}$ при $F_2 = \sqrt{10}F_1$ где F_1 и F_2 – одноименные силовые величины

Системы физических величин и единиц



Система единиц физических величин — совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами.

Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI)

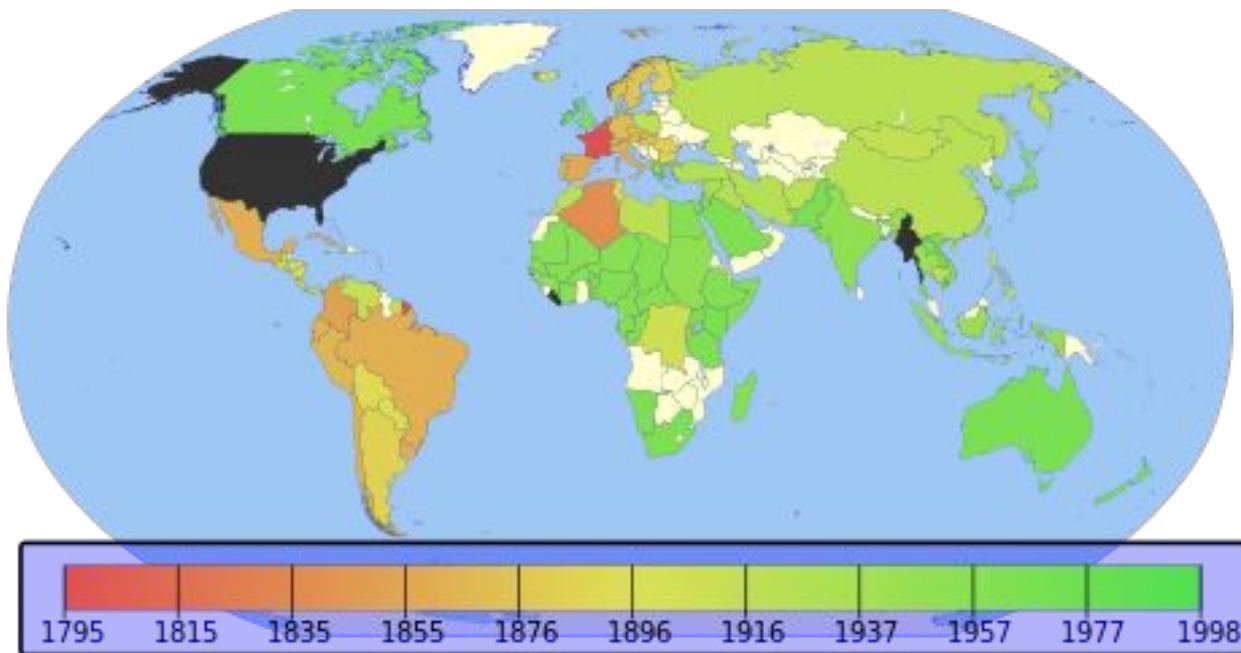
— наиболее широко используемая система единиц в мире.

<http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/> — действующая редакция Брошюры СИ и дополнение к ней, опубликованы Международным бюро мер и весов (МБМВ) и приняты Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) в 1960 году, некоторые последующие конференции внесли в СИ ряд изменений. СИ определяет семь основных единиц физических величин и производные единицы, а также набор приставок. СИ также устанавливает стандартные сокращённые обозначения единиц

и правила записи производных 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

Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI)



Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI): основные ФВ

| № | Физическая величина | | | Единица измерения | | |
|------------------------------------|-------------------------------|-----|-------------|-------------------|------|-----|
| | Наименование | Dim | PO | Наименование | RUS | I |
| <i>о с н о в н ы е</i> | | | | | | |
| 1 | Длина | L | <i>l</i> | метр | м | m |
| 2 | Масса | M | <i>m</i> | килограмм | кг | kg |
| 3 | Время | T | <i>t</i> | секунда | с | s |
| 4 | Сила электрического тока | I | <i>I</i> | ампер | А | A |
| 5 | Термодинамическая температура | Θ | <i>T</i> | кельвин | К | K |
| 6 | Количество вещества | N | <i>n, v</i> | моль | моль | mol |
| 7 | Сила света | J | <i>J</i> | кандела | кд | cd |
| <i>д о п о л н и т е л ь н ы е</i> | | | | | | |
| 1 | Плоский угол | - | - | радиан | рад | rad |
| 2 | Телесный угол | - | - | стерадиан | ср | sr |

PO – рекомендуемое обозначение физической величины; RUS – русское обозначение единицы измерения, I – международное обозначение единицы измерения.

Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI)

ГОСТ 8.417-2002

Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ с. [XVII ГКМВ (1983 г.)]

Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма [III ГКМВ (1901 г.)]

Килограмм есть численное значение постоянной Планка в единице СИ $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$, эквивалентного Дж·с [Резолюция от XXIV ГКМВ 2011 г.]

Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI)

ГОСТ 8.417-2002

Секунда есть время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 [XIII ГКМВ (1967 г.)]

Ампер есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенный в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н [IX ГКМВ (1948 г.)]

Ампер есть численное значение элементарного электрического заряда в единице СИ с·А эквивалентного Кл [Резолюция от XXIV ГКМВ 2011 г.]

Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI)

ГОСТ 8.417-2002

Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурах элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг. [XIV ГКМВ (1971 г.)]

Моль есть численное значение постоянной Авогадро в единице СИ моль⁻¹. [Резолюция от XXIV ГКМВ 2011 г.]

Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды [XIII ГКМВ (1967 г.)]

Кельвин есть численное значение постоянной Больцмана в единице СИ м⁻²·кг·с⁻²·К⁻¹, эквивалентного Дж·К⁻¹. [Резолюция от XXIV ГКМВ 2011 г.]

Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI)

ГОСТ 8.417-2002

Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении $1/683$ Вт/ср [XVI ГКМВ (1979 г.)]

РадIAN — угол, соответствующий дуге, длина которой равна её радиусу.

Стерaдиан — телесный угол с вершиной в центре сферы радиусом r , вырезающий из этой сферы поверхность площадью r^2 .

Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI)

Вспомогательные величины

Комитет по данным для науки и техники (CODATA).

Частота сверхтонкого расщепления основного состояния атома цезия-133 в точности равна 9 192 631 770 Гц.

Скорость света в вакууме c в точности равна 299 792 458 м/с.

Постоянная Планка h в точности равна $6,626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Элементарный электрический заряд e в точности равен $1,602\ 176\ 634 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Постоянная Больцмана k в точности равна $1,380\ 649 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Число Авогадро N_A в точности равно $6,022\ 140\ 76 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

Световая эффективность k_{cd} монохроматического излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц в точности равна 683 лм/Вт.

Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI)

Кандела — 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.

РадIAN — угол, соответствующий дуге, длина которой равна её радиусу.

СтерадIAN — телесный угол с вершиной в центре сферы радиусом r , формирующий из этой сферы поверхность площадью r^2 .

Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI): производные ФВ (1)

| № | Физическая величина | | Единица измерения | | |
|---|-------------------------------------|--|-------------------|-----|---|
| | Наименование | Dim | Наименование | RUS | связь с СИ |
| 1 | Частота | T^{-1} | герц | Гц | s^{-1} |
| 2 | Сила, вес | $L \cdot M \cdot T^{-2}$ | ньютон | Н | $m \cdot kg \cdot s^{-2}$ |
| 3 | Давление, механическое напряжение | $L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$ | паскаль | Па | $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$ |
| 4 | Энергия, работа, количество теплоты | $L^2 \cdot M \cdot T^{-2}$ | джоуль | Дж | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$ |
| 5 | Мощность | $L^2 \cdot M \cdot T^{-3}$ | ватт | Вт | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$ |
| 6 | Количество электричества | $T \cdot I$ | кулон | Кл | $s \cdot A$ |
| 7 | Электрическое напряжение, потенциал | $L^2 \cdot M \cdot T^{-3} \cdot I^{-1}$ | вольт | В | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$ |
| 8 | Электрическая емкость | $L^{-2} \cdot M^{-1} \cdot T^4 \cdot I^2$ | фарад | Ф | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$ |
| 9 | Электрическое сопротивление | $L^2 \cdot M^{-1} \cdot T^{-3} \cdot I^{-2}$ | ом | Ом | $m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$ |

Системы физических величин и единиц

Международная система единиц СИ (SI): производные ФВ (2)

| № | Физическая величина | | Единица измерения | | |
|----|--|---|-------------------|-----|--|
| | Наименование | Dim | Наименование | RUS | связь с СИ |
| 10 | Электрическая проводимость | $L^{-2} \cdot M^{-1} \cdot T^3 \cdot I^2$ | сименс | См | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$ |
| 11 | Поток магнитной индукции | $L^2 \cdot M \cdot T^{-2} \cdot I^{-1}$ | вебер | Вб | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$ |
| 12 | Магнитная индукция | $M^{-1} \cdot T^{-2} \cdot I^{-1}$ | тесла | Тл | $kg^{-1} \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$ |
| 13 | Индуктивность | $L^2 \cdot M \cdot T^{-2} \cdot I^{-2}$ | генри | Гн | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$ |
| 14 | Световой поток | J | люмен | лм | $cd \cdot sr$ |
| 15 | Освещенность | $L^{-2} \cdot J$ | люкс | лк | $m^{-2} \cdot cd \cdot sr$ |
| 16 | Активность радионуклида | T^{-1} | беккерель | Бк | s^{-1} |
| 17 | Эквивалентная доза излучения | $L^2 \cdot T^{-2}$ | грей | Гр | $m^2 \cdot s^{-2}$ |
| 18 | Поглощенная доза ионизирующего излучения | $L^2 \cdot T^{-2}$ | зиверт | Зв | $m^2 \cdot s^{-2}$ |

Системы физических величин и единиц



Кратные единицы — единицы физической величины, в целое число раз большие системных или внесистемных единиц.

Дольные единицы — единицы физической величины, в целое число раз меньшие системных или внесистемных единиц.

Системы физических величин и единиц

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Кратные единицы

| Множитель | Приставка | Обозначение | |
|-----------|-----------|-------------|-----|
| | | I | RUS |
| 10^{24} | иотта | Y | И |
| 10^{21} | зетта | Z | З |
| 10^{18} | экса | E | Э |
| 10^{15} | пета | P | П |
| 10^{12} | тера | T | Т |
| 10^9 | гига | G | Г |
| 10^6 | мега | M | М |
| 10^3 | кило | k | к |
| 10^2 | гекто | h | г |
| 10^1 | дека | Da | да |

Дольные единицы

| Множитель | Приставка | Обозначение | |
|------------|-----------|-------------|-----|
| | | I | RUS |
| 10^{-1} | деци | d | д |
| 10^{-2} | санتي | c | с |
| 10^{-3} | милли | m | м |
| 10^{-6} | микро | μ | мк |
| 10^{-9} | нано | n | н |
| 10^{-12} | пико | p | п |
| 10^{-15} | фемто | f | ф |
| 10^{-18} | атто | a | а |
| 10^{-21} | зепто | z | з |
| 10^{-24} | иокто | y | и |

Системы физических величин и единиц



Системные единицы — единицы физической величины, входящие в одну из принятых систем. Все основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными.

Внесистемные единицы — единицы физической величины, не входящие ни в одну из принятых систем единиц.

Системы физических величин и единиц

Внесистемные единицы



**Допускаем
ые наравне**

с СИ

единица массы – тонна;
единица плоского угла
– градус; единица
объема – литр и др.



**Допускаемые
в
специальных**

областях

единицы длины (в
астрономии) – пар-
сек, световой год;
единица оптической
силы (в оптике) –
диоптрия; единица
энергии (в физике) –
электрон-вольт



**Временно
допускаем
ые наравне**

с СИ

в морской
навигации –
морская миля; в
ювелирном деле
единица массы –
карат и др.



**Изъятые
из**

употребления

единицы давления –
миллиметр ртутного
столба; единица
мощности –
лошадиная сила и др.

Системы физических величин и единиц

Некоторые внесистемные единицы, допускаемые наравне с СИ

| Физическая величина | Наименование | Обозначение | | Соотношение с единицами СИ |
|---------------------|----------------|------------------|------------------|---|
| | | I | RUS | |
| Масса | тонна | t | т | 10^3 кг |
| Время | минута | min | мин | 60 с |
| | час | h | час | 3600 с |
| | сутки | d | сут | 86400 с |
| Плоский угол | градус | ... ^o | ... ^o | $\approx 1,745329 \times 10^{-2} \text{ рад}$ |
| | минута | ...' | ...' | $\approx 2,908882 \times 10^{-4} \text{ рад}$ |
| | секунда | ...'' | ...'' | $\approx 4,848137 \times 10^{-6} \text{ рад}$ |
| Объем | литр | l | л | 10^{-3} м^3 |
| Площадь | гектар | ha | гк | 10^4 м^2 |
| Температура | градус Цельсия | ...°C | ...°C | $1^\circ\text{C} = 273,16 \text{ К}$ |

Системы физических величин и единиц

Некоторые внесистемные единицы, допускаемые в специальных

| Физическая величина | Наименование | Обозначение | | Соотношение с единицами СИ |
|-------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|
| | | I | RUS | |
| Масса | атомная единица массы | u | а.е.м. | $\approx 1,66057 \times 10^{-27}$ кг |
| Длина | астрономическая единица | ua | а.е. | $\approx 1,45598 \times 10^{11}$ м |
| | световой год | ly | св. год | $\approx 9,4605 \times 10^{15}$ м |
| | парсек | pc | пк | $\approx 3,0857 \times 10^{16}$ м |
| Оптическая сила | диоптрия | - | дптр | 1 м^{-1} |
| Энергия | электрон-вольт | eV | эВ | $\approx 1,60219 \times 10^{-19}$ Дж |
| Механическое напряжение | ньютон на квадратный миллиметр | N/mm^2 | Н/мм^2 | 1 МПа |

Системы физических величин и единиц

Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации, разрешает применение следующих внесистемных единиц (ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 31 октября 2009 г. N 879 ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ О ЕДИНИЦАХ ВЕЛИЧИН, ДОПУСКАЕМЫХ К ПРИМЕНЕНИЮ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ):

карат, градус, световой год, парсек, фут, дюйм, килограмм-сила на квадратный сантиметр, миллиметр водяного столба, метр водяного столба, техническая атмосфера, миллиметр ртутного столба, диоптрия, текс, гал, оборот в секунду, оборот в минуту, киловатт-час, вольт-ампер, вар, ампер-час, бит, байт, бит в секунду, байт в секунду, рентген, бэр, рад, рентген в секунду, кюри, стокс, калория (международная), калория термохимическая,

калория 15-градусная, калория в секунду, килокалория в час и

Системы физических величин и единиц

Положение разрешает применять единицы относительных и логарифмических величин: *процент, промилле, миллионная доля, фон, октава, декада*.

Допускается также применять единицы времени, получившие широкое распространение, например, *неделя, месяц, год, век, тысячелетие*.

В соответствии с Положением о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации, не применяются с кратными и дольными приставками СИ наименования и обозначения внесистемных единиц *массы, времени, плоского угла, длины, площади, давления, оптической силы, линейной плотности, скорости, ускорения и частоты вращения*.

Системы физических величин и единиц

Правила написания обозначений единиц

1. Обозначения единиц печатают прямым шрифтом, точку после обозначения не ставят.
2. Обозначения помещают за числовыми значениями величин через пробел, перенос на другую строку не допускается, например: 10 м/с, 15 °С.
3. Если числовое значение представляет собой дробь с косой чертой, его заключают в скобки, например: $(1/60) \text{ с}^{-1}$.
4. Обозначения единиц, входящие в произведение, отделяют точками на средней линии (Н·м, Па·с), не допускается использовать для этой цели символ «х».
5. В качестве знака деления в обозначениях можно использовать горизонтальную черту или косую черту (только одну). При применении косой черты, если в знаменателе стоит произведение единиц, его заключают в скобки.

Системы физических величин и единиц

Правила написания обозначений единиц

6. Допускается применять обозначения единиц в виде произведения обозначений единиц, возведённых в степени (положительные и отрицательные): $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$, $\text{А}\cdot\text{м}^2$. При использовании отрицательных степеней не разрешается использовать горизонтальную или косую черту (знак деления).
7. Допускается применять сочетания специальных знаков с буквенными обозначениями, например: °/с (градус в секунду).
8. Не допускается комбинировать обозначения и полные наименования единиц. **Неправильно:** км/час, правильно: км/ч.
9. Обозначения единиц, произошедшие от фамилий, пишутся с заглавной буквы, в том числе с приставками СИ, например: ампер — А, мегапаскаль — МПа, килоньютон — кН, гигагерц — ГГц.