

Физические величины и их единицы измерения

Физические понятия

Физические термины – специальные слова, обозначающие физические понятия: материя, физическое тело, физическое явление, физическая величина и др.



Материя – все, что окружает нас, включая нас самих, или все, что существует во Вселенной. Материальные объекты во Вселенной образуют **микро-, макро- и мегамиры** в зависимости от своих размеров. Материя существует в **пространстве** и во **времени**. Движение материи характеризуется **энергией**.

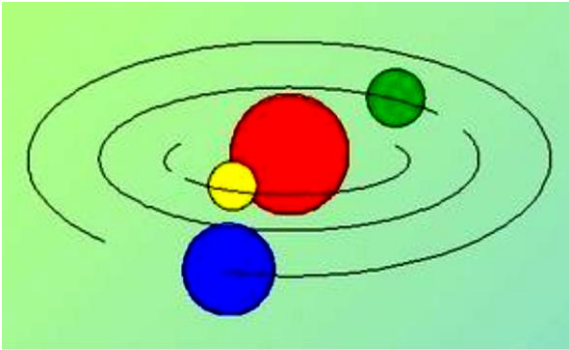


Физические тела – материальный объект, имеющий массу, форму, объём и отделенный от других тел внешней границей раздела: карандаш, светильник, дом и т. д.



Вещество – это то, из чего состоят все физические тела: вода, железо, алюминий, воздух, радиоволны, свет, атомы и т.д.

Физические явления – это любые превращения вещества или проявления его свойств, происходящие без изменения химического состава вещества: *механические, тепловые, электромагнитные, оптические, звуковые и др.*

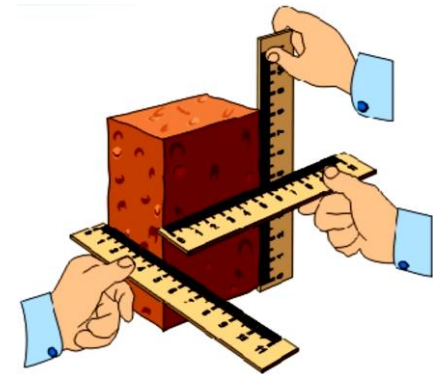


В описании любого физического явления существуют важные и неважные для решения поставленной задачи характеристики.

Моделью в физике называют некоторое упрощенное описание реального явления. Она отражает самые значимые основные характеристики и свойства системы.

Например, в механике – материальная точка, в молекулярной физике – идеальный газ, в термодинамике и оптике – абсолютно черное тело, в электродинамике – идеальные проводники и диэлектрики и т.д.

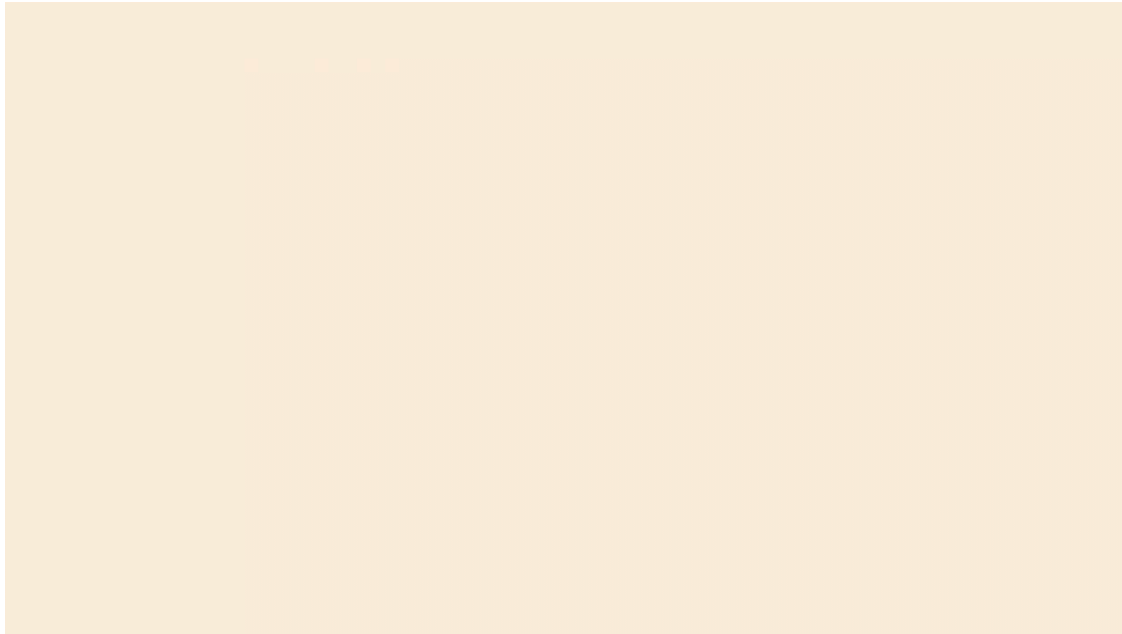
Физические величины – количественная (числовая) характеристика физического тела или физического явления: *масса, длина, плотность, температура, влажность, электрическое напряжение, магнитный поток, сила света, длина звуковой волны и др.*



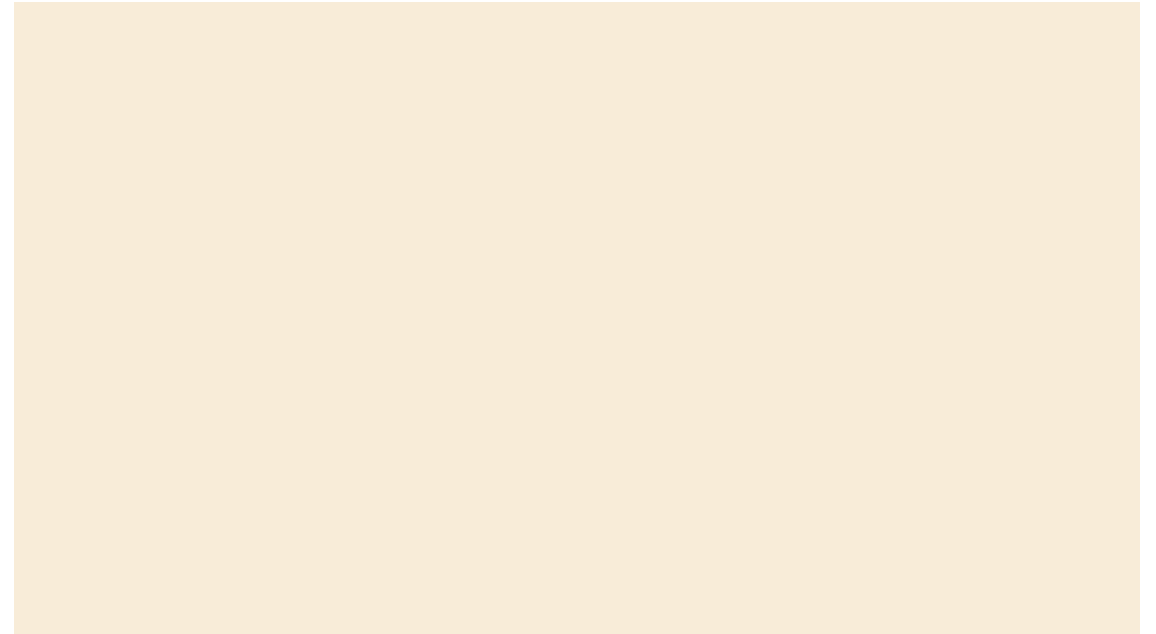
Измерение. Измерительные приборы

Измерение – это нахождение численного значения физической величины опытным путем с помощью средств измерений в принятых единицах измерения.

Измерения бывают **прямые** (числовое значение физической величины находят непосредственно из опытов/измерений) и **косвенные** (числовое значение физической величины рассчитывается по формуле, на основе результатов прямых измерений).

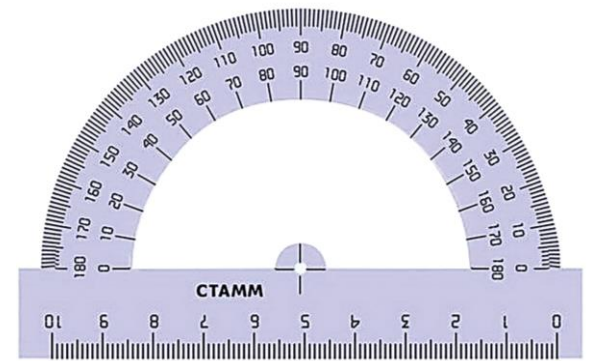
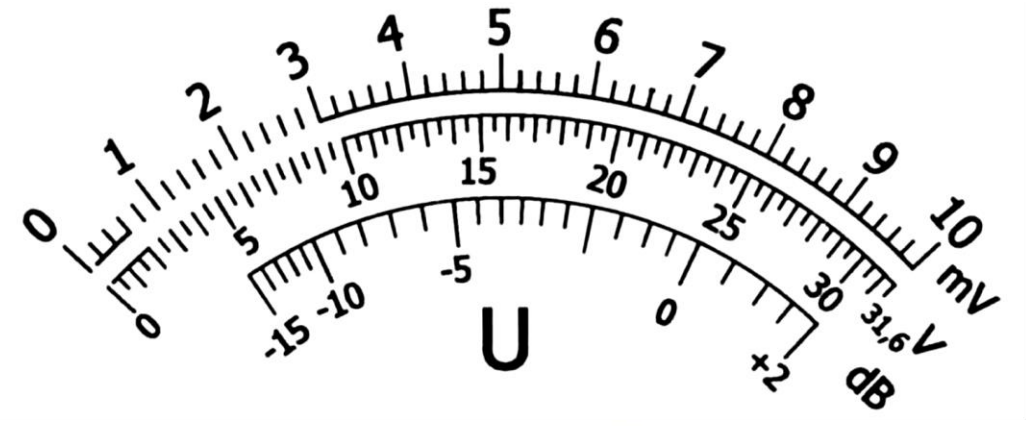
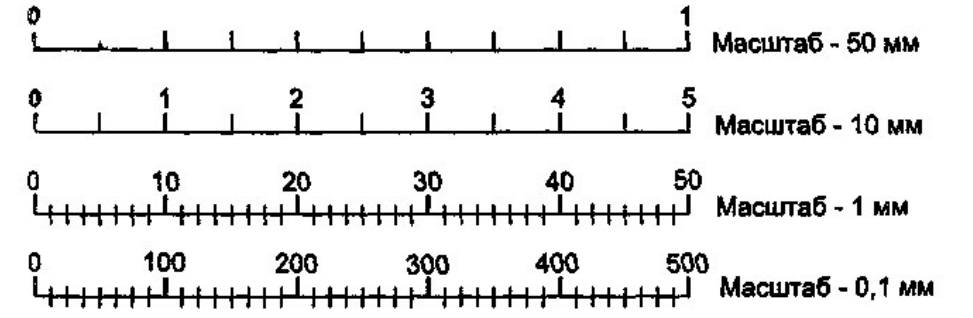
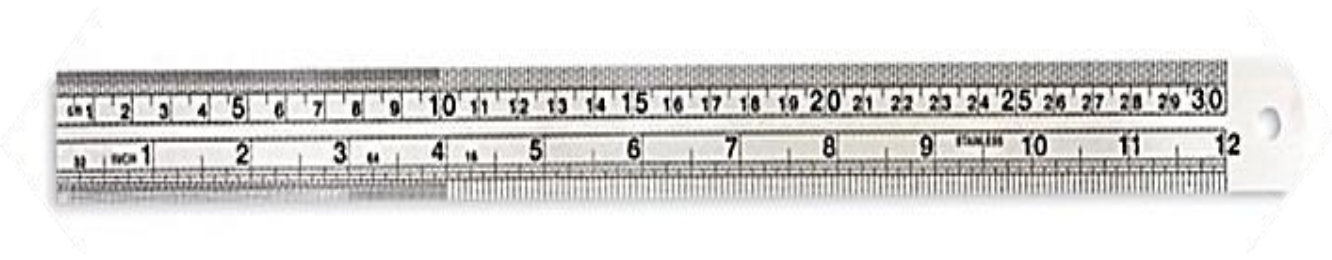
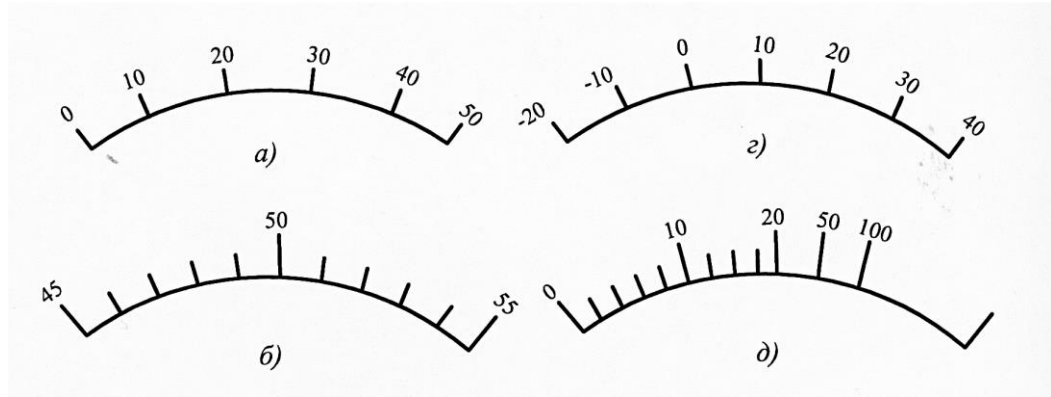


<https://www.youtube.com/watch?v=OzFeN83zNa0>



<https://www.youtube.com/watch?v=Dk5pPARGq3w>

Разновидности шкал измерительных приборов



Погрешность измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины

1) *Абсолютная погрешность измерений* - это разница между результатом измерения $A_{\text{изм}}$ и истинным значением A измеряемой величины; обычно округляется до десятых; абсолютная погрешность имеет размерность измеряемой величины:

$$\Delta A = A_{\text{изм}} - A$$

Абсолютную погрешность измерения можно определить как половину цены деления шкалы измерительного прибора.

2) *Относительная погрешность измерений* (обозначается греческими буквами δ «дельта» или ε «эпсилон»)- отношение абсолютной погрешности ΔA к истинному значению A измеряемой величины; определяет качество или точность измерений, измеряется в процентах или относительных единицах:

$$\delta_A = \frac{\Delta A}{A} 100 [\%]$$

Чем меньше погрешность измерения, тем больше его точность!

Истинное значение физической величины. Обработка результатов измерений

Истинное значение физической величины - значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в количественном и качественном отношении свойства объекта.

Истинное значение измеряемой величины A известно в редких случаях (например, теоретическая сумма углов прямоугольного треугольника равна 180°). Поэтому вместо истинного значения A измеряемой величины при обработке результатов измерений пользуются следующими правилами:

- 1) При однократных прямых измерениях используют **действительным значением**, которое определяется экспериментальным путём - измеряется.
- 2) При многократных прямых измерениях используют **среднее арифметическое значение**.

Измеренная или вычисленная величина округляется до того порядка, до которого округлили значение абсолютной погрешности.

Таким образом, истинное значение физической величины записывается следующим образом:

$$A = A_{\text{изм}} \pm \Delta A$$

Формулы справедливы только для прямых измерений!

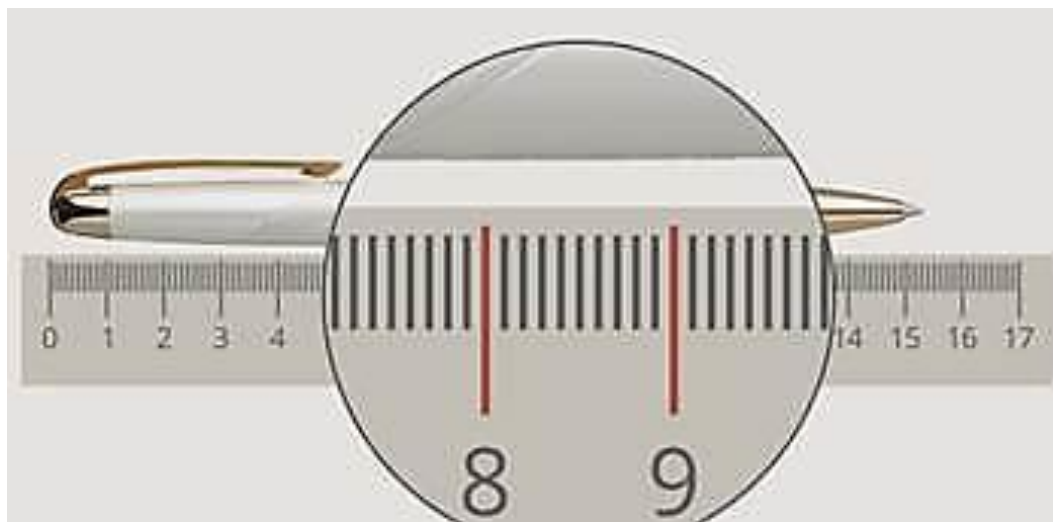
Измерение физических величин



Измерения начинаются с 0



Длина ручки

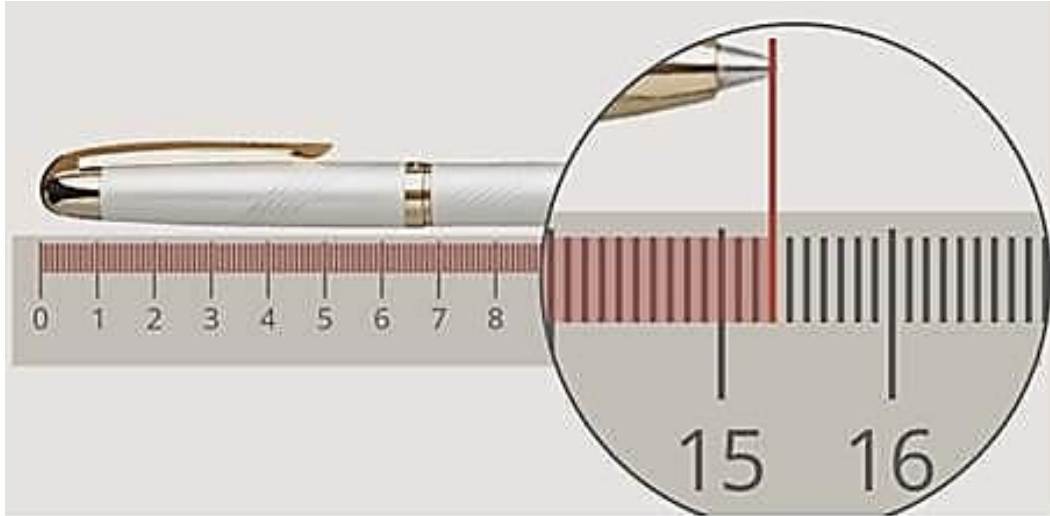


Определение цены деления: на линейке есть отметка 8 см, а есть – 9 см. Значит, между ними отрезок $9 - 8 = 1$ см. Считаем, на сколько малых делений разбит отрезок 1 см. В нашем случае на 10. Если 10 делений соответствуют одному сантиметру, то его нужно разделить на 10, получим одно деление:

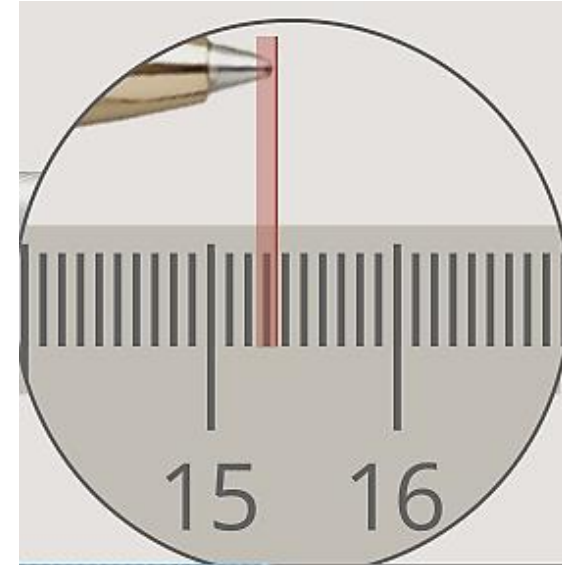
$$\frac{1 \text{ см}}{10} = 0,1 \text{ см}$$

Погрешность измерений

Точная длина ручки



Несовпадение длины ручки со шкалой линейки



Длина ручки не всегда четко совпадет даже с малым делением линейки. Поэтому мы будем вынуждены определить длину немного неточно, отметив ближайшее деление. Такая неточность называется *погрешностью измерения*. Отклонение может быть в любую сторону. Для нашей линейки цена деления равна 0,1 см, значит, погрешность отсчета равна $\frac{0,1 \text{ см}}{2} = 0,05 \text{ см}$

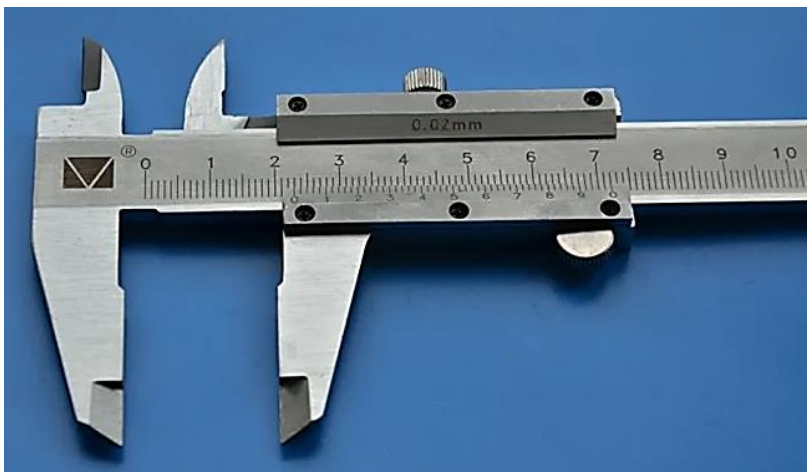
Если мы измерили длину ручки и получили 15,3 см, то реально длина ручки может оказаться от 15,3 см + 0,05 см до 15,3 см – 0,05 см

Таким образом, истинное (измеренное) значение длины ручки : **15,3 см ± 0,05 см**

Точность измерений зависит от многих причин:

- расположение наблюдателя относительно измерительного прибора: если на линейку смотреть сбоку, погрешность измерений произойдет по причине неточного определения полученного значения;
- деформация измерительного прибора: металлические и пластиковые линейки могут изогнуться, сантиметровая лента растягивается со временем;
- несоответствие шкалы прибора эталонным значениям: при множественном копировании эталонов может произойти ошибка, которая будет множиться;
- физический износ шкалы измерений, что приводит к невозможности распознавания значений

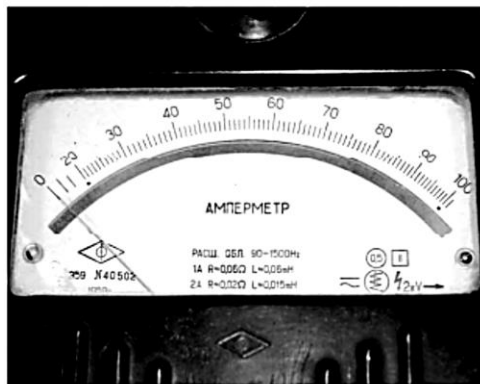
Если же необходимы еще более точные измерения, то необходимо найти прибор с меньшей ценой деления, например, штангенциркуль. Существуют штангенциркули с ценой деления 0,1 мм и 0,05 мм.



Класс точности измерительных приборов – это техническая характеристика, величина которой показывает допустимые пределы погрешности измерений.



а



б

На рисунке а) представлен микроамперметр с классом точности 2,5.

На рисунке б) представлен амперметр, класс точности которого обозначен числом 0,5 в кружке.

Пусть в лабораторной работе измеряют силу тока в цепи амперметром, класс точности которого $\gamma = 2,5\%$, шкала прибора односторонняя, диапазон измерения равен 5 А. Прибор показывает, что величина силы тока в цепи 2 А. В этом случае погрешность измерения прибора будет равна:

$$\Delta I = \frac{2,5\% \cdot 5 \text{ А}}{100 \%} = 0,125 \text{ А} \approx 0,13 \text{ А}$$

Стандартная форма записи однократного результата измерения имеет вид:

$$I = I_{\text{изм}} \pm \Delta I = 2,00 \pm 0,13 \text{ А}$$

Ссылка на видео: <https://www.youtube.com/watch?v=qzhLGyFT-CI>

Международная система единиц СИ (SI)

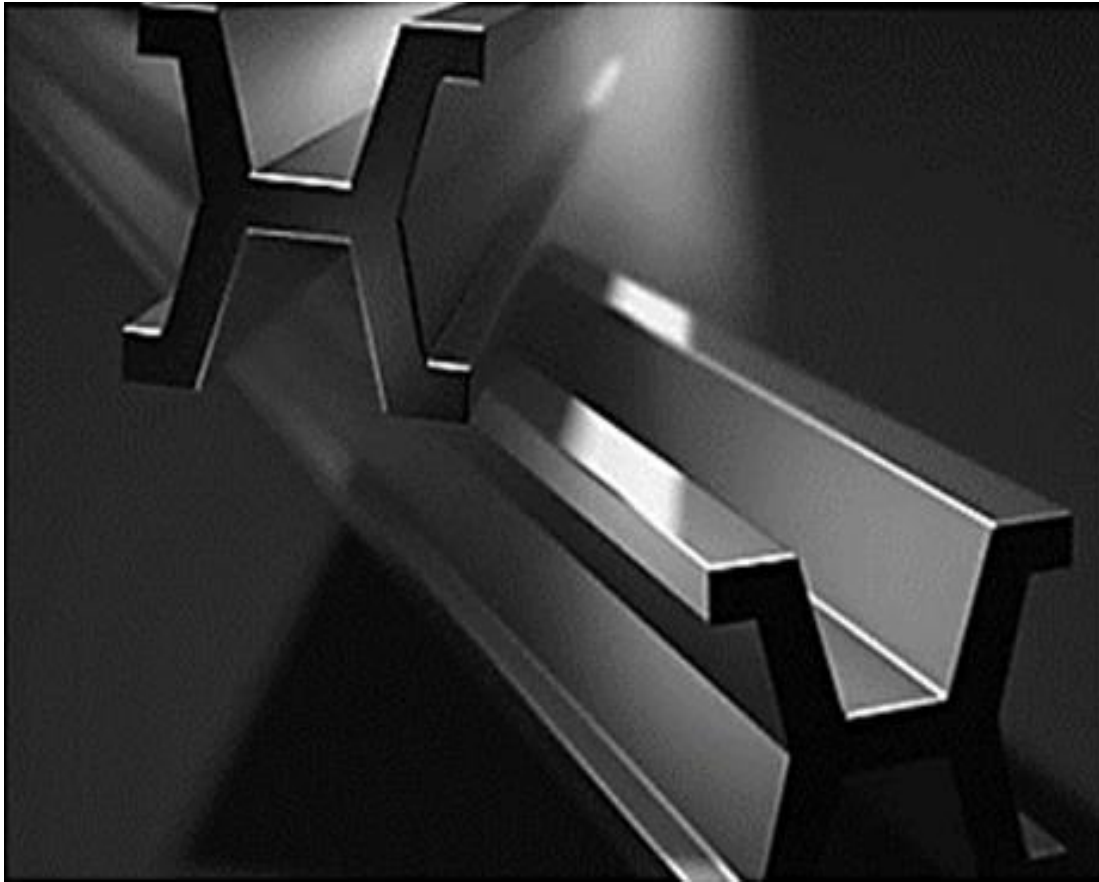
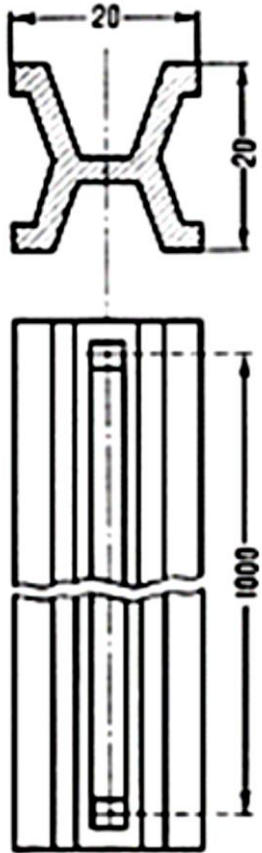
СИ (1960) происходит от французского *Systeme Internationale*, означает международную систему единиц, в настоящее время обязательна для всех стран.

Система содержит **семь основных единиц** измерения:

- метр - длины,
- килограмм - массы,
- секунда - времени,
- ампер - силы электрического тока,
- кельвин - термодинамической температуры,
- моль - количества вещества,
- кандела - силы света.

Предусмотрены две дополнительные единицы: радиан — для плоского угла истерадиан — для телесного угла.

Международный эталон 1 метра



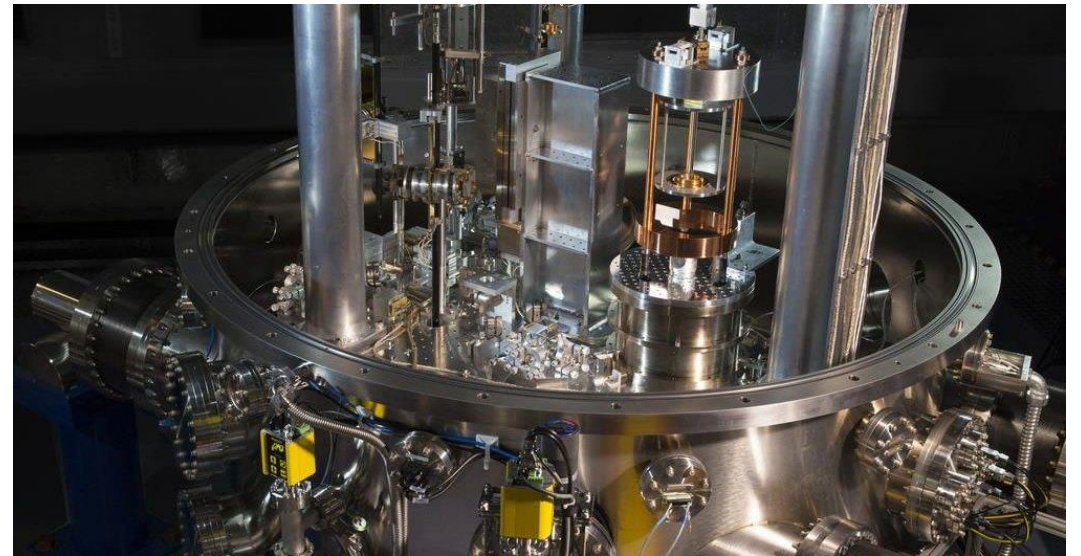
Международный эталон метра (от др. греч. *metron* - мера), использовавшийся с 1889 по 1960 годы изготовленный из платины образец (предмет) хранился в Международном бюро мер и весов в Севре (под Парижем) и считался эталоном длины.

В 1983 году введено новое определение метра на основе скорости света.

Метр - расстояние, проходимое светом в вакууме за $1/299\,792\,458$ с.

Международный эталон 1 килограмма

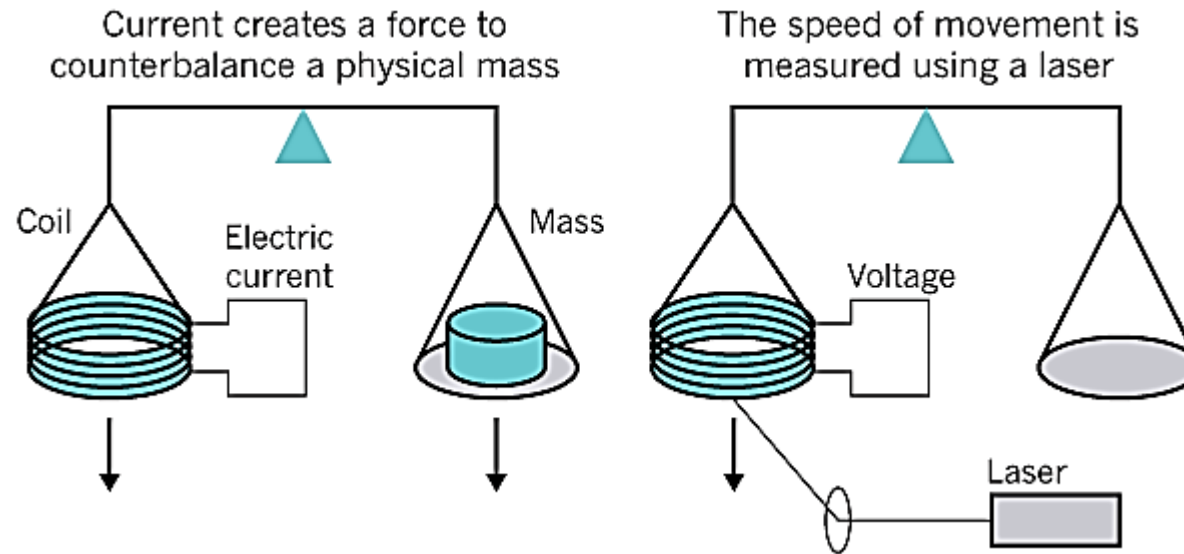
Международный эталон килограмма хранился в Международном бюро мер и весов и представлял собой цилиндр диаметром и высотой 39,17 мм из платино-иридиевого сплава (90% платины, 10% иридия). XXVI Генеральная конференция по мерам и весам (13-16 ноября 2018 года) одобрила определение килограмма основанное на фиксации численного значения постоянной Планка. Решение вступило в силу 20 мая 2019 года.



Весы Киббла (Брайн Киббл – англ. физик и метролог) - устройство, при помощи которого определяется постоянная Планка, 1975 г.

Измерение массы тела

Измерение массы на практике возможно с помощью **ваттовых весов**: через два отдельных эксперимента со сравнением механической и электромагнитной силы, а затем путём перемещения катушки через магнитное поле для создания разности потенциалов. Грубо говоря, масса вычисляется через электроэнергию, которая необходима, чтобы поднять предмет, лежащий на другой чаше весов. Для этого необходима физическая величина, которая стоит на границе классической и квантовой физики. Такой величиной является фундаментальная константа - постоянная Планка h .

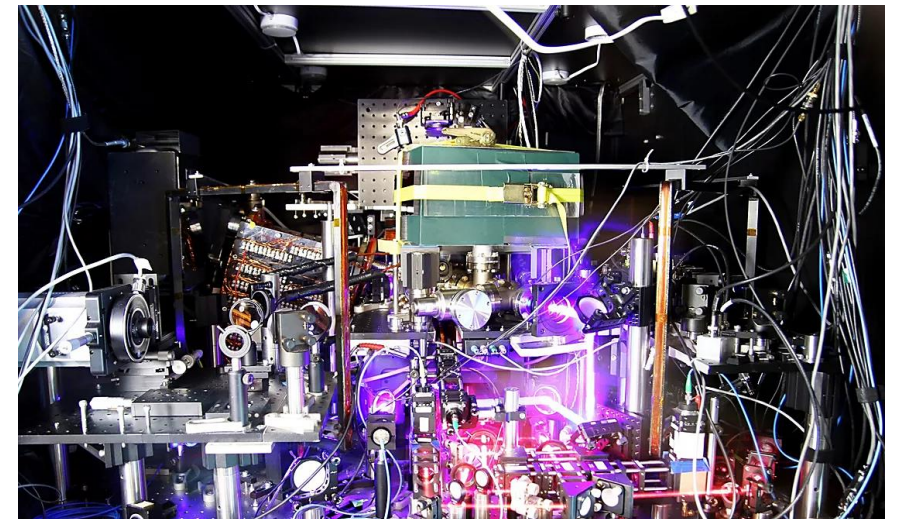
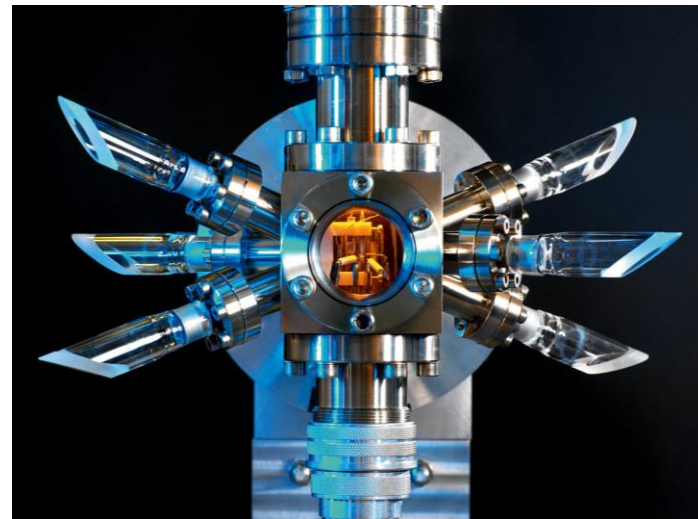


Национальные центры стандартов времени и частоты

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ), п. Менделеево Московской области. Институт поддерживает национальную шкалу времени на базе собственного эталона времени (атомные часы) и предоставляет открытый доступ к серверам синхронизации времени по протоколу NTP.

Эталонные атомные часы определяют время при помощи колебаний, связанных с процессами на молекулярном и атомном уровнях. Самые высокоточные атомные часы могут совершить ошибку в 1 секунду в течение 300 млн. лет.

Шкала времени Института признана одной из трёх лучших в мире.

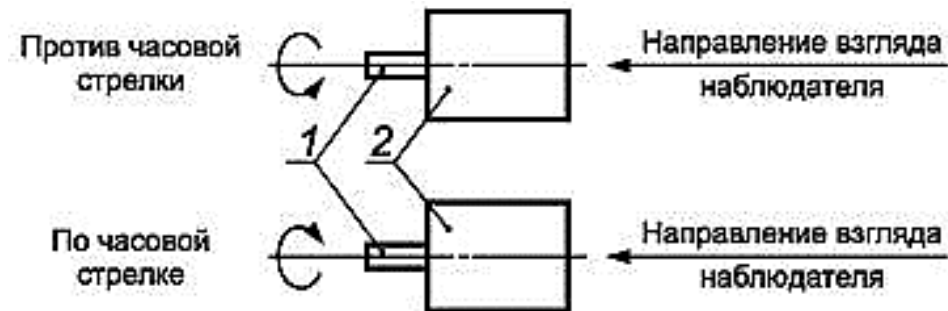
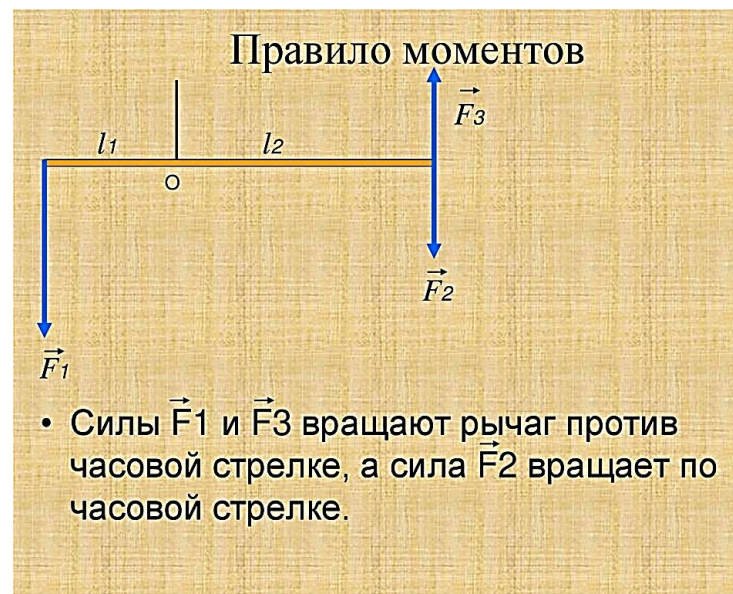


Историческая справка

Первыми были придуманы солнечные часы. Они состоят из предмета, отбрасывающего длинную тень, и циферблата с множеством делений. Тень перемещается также, как и движется Солнце на небе, т.е. слева направо.

Изобретатели механических часов решили не отказываться от этого принципа: часовая стрелка идет слева направо.

Правило часовых стрелок широко применяется в физике (правило моментов сил, правило буравчика и др.) и технике (определение направления вращения вала и т.д.)



Производные единицы могут быть выражены через основные с помощью математических операций - **умножения и деления** ! Некоторым из производных единиц для удобства присвоены собственные наименования, такие единицы тоже можно использовать в математических выражениях для образования других производных единиц.

Математическое выражение для производной единицы измерения вытекает из физического закона, с помощью которого эта единица измерения определяется, или из определения физической величины, для которой она вводится.

Например, скорость — это расстояние, которое тело проходит в единицу времени; соответственно, единица измерения скорости — м/с (метр в секунду).

Существуют другие, ***внесистемные единицы***, которые не являются единицами СИ, но принимаются для использования совместно с СИ.

Примеры:

1 литр \approx 1 кг воды при $t = +4$ градуса Цельсия

1 лошадиная сила = 1 л.с. \approx 735 ватт (Вт)

1 морская миля = 1852 м

Приставки СИ. Кратные и дольные единицы

Десятичный множитель	Приставка		Обозначение	
	русская	международная	русское	международное
10^{-1}	деци	deci	д	d
10^{-2}	санти	centi	с	c
10^{-3}	милли	milli	м	m
10^{-6}	микро	micro	мк	μ
10^{-9}	нано	nano	н	n
10^{-12}	пико	pico	п	p
10^{-15}	фемто	femto	ф	f
10^{-18}	атто	atto	а	a
10^{-21}	zepto	zepto	з	z
10^{-24}	иокто	yocto	и	y
10^1	дека	deca	да	da
10^2	гекто	hecto	г	h
10^3	кило	kilo	к	k
10^6	мега	mega	М	M
10^9	гига	giga	Г	G
10^{12}	тера	tera	Т	T
10^{15}	пета	peta	П	P
10^{18}	экса	exa	Э	E
10^{21}	зетта	zetta	З	Z
10^{24}	иотта	yotta	И	Y

Приставки можно использовать перед наименованиями единиц. Они означают, что единицу нужно умножить или разделить на определённое целое число, степень числа 10.

Кратные единицы - единицы, которые в целое число раз (10 в какой-либо степени) превышают основную единицу измерения некоторой физической величины.

Дольные единицы составляют определённую долю (часть) от установленной единицы измерения некоторой величины.

Физические постоянные или константы

Фундаментальная физическая постоянная (константа) – это физическая величина, характеризующая не отдельные тела, а физические свойства нашего мира в целом.

«Const» - «постоянный»
(сокращение от латинского).

Слово «постоянная» подразумевает, что численное значение этой величины не меняется со временем.

СРЕДНИЙ РАДИУС ЗЕМЛИ	6400 км
МАССА ЗЕМЛИ	$\approx 6 \cdot 10^{24}$ кг
ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТ.	$G = 6,672 \cdot 10^{-11}$ Н·м ² /кг ²
УСКОР. СВОБ. ПАДЕНИЯ	$g \approx 9.81$ м/с ²
ЧИСЛО АВОГАДРО	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
ПОСТ. БОЛЬЦМАНА	$k = 1,3807 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
УНИВЕРС.ГАЗ.ПОСТ.	$R = 8,31$ Дж/моль·К
СКОР. СВЕТА В ВАКУУМЕ	$c = 3 \cdot 10^8$ м/с
МАССА ЭЛЕКТРОНА	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
ЗАРЯД ЭЛЕКТРОНА	$q_e \approx -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
МАССА ПРОТОНА	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
ПОСТОЯННАЯ ПЛАНКА	$h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Проверка знаний. Тест.

1) Выберите правильный порядок этапов метода научного познания:

- а) наблюдение-эксперимент-гипотеза-теория-закон
- б) наблюдение-гипотеза-эксперимент-закон-теория
- в) гипотеза-наблюдение-эксперимент-теория-закон
- г) эксперимент-гипотеза-теория-наблюдение-закон

2) Прочитайте перечень физических понятий, с которыми вы встречались в курсе физики: *конденсация, плотность, механическая работа, деформация, электрическое сопротивление, взаимодействие магнитов*. Разделите эти понятия на две группы – физические явления и физические величины. Запишите в таблицу название каждой группы и понятия, входящие в эту группу.

Название группы понятий	Перечень понятий

3) Установите соответствие между физическими величинами и единицами этих величин в Международной системе единиц (СИ). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) скорость
- Б) сила
- В) масса

ЕДИНИЦЫ

- 1) грамм (1 г)
- 2) килограмм (1 кг)
- 3) километр в час ($1 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$)
- 4) метр в секунду ($1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$)
- 5) ньютон (1 Н)

Ответ:

А	Б	В

4) Запишите в основных единицах измерения следующие значения:
3 мкФ, 4 мм, 7000 г, 3 км, 6 МОм.

Пример оформления ответа: $5 \text{ мкс} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 0,000005 \text{ с}$

Кратные			Дольные		
приставка	обозначение	множитель	приставка	обозначение	множитель
экса	Э	10^{18}	атто	а	10^{-18}
пета	П	10^{15}	фемто	ф	10^{-15}
тера	Т	10^{12}	пико	п	10^{-12}
гига	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
кило	к	10^3	милли	м	10^{-3}
гекто	г	10^2	санتي	с	10^{-2}
дека	да	10^1	деци	д	10^{-1}

5) Ответьте, верно ли решение? (Ответ запишите в виде да/нет)

$$10^5 \cdot 10^2 = 10^7$$

$$10^5 + 10^2 = 10^7$$

$$10^5 / 10^2 = 10^3$$

$$10^0 = 1$$

б) Округлите число 0,826

- а) до сотых,
- б) до десятых,
- в) до целых

7) В мерный стакан налита вода. Укажите объём воды с учётом погрешности измерения, учитывая, что погрешность составляет половину цены деления мерного стакана. Цена деления указана в миллилитрах. В ответе запишите значение и погрешность в указанных единицах измерения:

Пример оформления ответа:

$A \pm \Delta A$, где A - измеренная физическая величина,
 ΔA – абсолютная погрешность.

