

**Измерение физических  
величин и единицы их  
измерения.**

# Физическая величина и её числовое значение

**Физическими величинами** называют свойства (характеристики) материальных объектов и процессов (предметов, состояний), которые можно прямо или косвенно измерить. Законы, связывающие между собой эти величины, имеют вид математических уравнений.

Каждая физическая величина  $G$  представляет собой произведение численного значения на единицу измерения:

**Физическая величина = Численное значение  $\times$   
Единица измерения.**

Число, которое при этом, получается, называют **численным значением физической величины.**

Таким образом, выражение  $t = 5 \text{ с}$  означает, что измеренное время составляет пятикратное повторение секунды.

Однако для характеристики физической величины только одного численного значения недостаточно.

Поэтому никогда нельзя опускать соответствующую единицу измерения.

Все физические величины делятся на **основные** и **производные величины.**

В качестве основных величин используются: длина, время, масса, температура, сила тока, количество вещества, сила света.

Производные величины получают с помощью основных величин либо используя выражения для законов природы, либо путем целесообразного определения через умножение или деление основных величин.

Например,

$$\text{Скорость} = \text{Путь/Время}; v = \frac{S}{t};$$

$$\text{Заряд} = \text{Сила тока} \times \text{Время}; q = I \cdot t$$

Для представления физических величин, особенно в формулах, таблицах или на графиках, используются специальные символы – обозначения величин. В соответствии с международными соглашениями введены соответствующие стандарты на обозначения физических и технических величин.

Принято набирать обозначения физических величин курсивом. Курсивом обозначаются и индексы, если они представляют собой обозначения, т. е. символы физических величин, а не сокращения.

Квадратные скобки [ ], содержащие обозначение величины, означают единицу измерения величины, например, выражение  $[U] = В$  читается следующим образом: «Единица измерения напряжения равна вольту».

# Размерность.

Размерностью физической величины называется соотношение, показывающее, как изменяется единица измерения этой величины при изменении основных единиц измерения.

Это символическое (буквенное) обозначение зависимости производных величин от основных величин измерения.

Размерность физической величины устанавливает ее связь с основными величинами. Она представляет собой произведение степеней размерностей основных величин. Поэтому формулу размерности какой-либо физической величины можно представить в виде

$$L^{\alpha} \cdot M^{\beta} \cdot T^{\gamma},$$

где показатели степени  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  это положительные или отрицательные рациональные числа, в частности они, могут быть равными нулю.

Например, если какая-то физическая величина  $X$  выражается через длину  $L$ , массу  $M$ , время  $T$  формулой

$$X = f(L, M, T)$$

при этом

$$X = L^\alpha \cdot M^\beta \cdot T^\gamma$$

то в таком случае принято говорить, что размерность (dimension) величины  $X$  выражается формулой

$$\dim X = [X] = [L]^\alpha \cdot [M]^\beta \cdot [T]^\gamma$$

размерность кинетической энергии  $E_k$  имеет вид

$$\left[ E_k = \dim\left(\frac{mv^2}{2}\right) \right] = M \cdot L^2 \cdot T^{-2}.$$

Физическая величина и ее размерность – это не одно и то же. Одинаковую размерность могут иметь совершенно разные по своей природе физические величины, например работа и вращательный момент.

$$\text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} \quad [\text{М}] = \text{Н} \cdot \text{м} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}$$

Размерность не содержит информации о том, является ли данная физическая величина скаляром или вектором. Однако размерность важна для проверки правильности соотношений между физическими величинами. С помощью формул размерности строятся системы единиц измерения физических величин. Кроме того, они позволяют производные единицы выразить только через основные единицы измерения.



1. Первыми в ряду стоят уравнения, определяющие величины, которые выражаются через основные единицы измерения.
2. Каждое последующее уравнение определяет величину через основные и те производные величины, которые уже определены предшествующими уравнениями:

**Площадь**  $S = k \cdot l^2$  -  $[S] = L^2 \cdot M^0 \cdot T^0 = L^2$ ;

**Объем**  $V = k \cdot l^3$  -  $[V] = L^3 \cdot M^0 \cdot T^0 = L^3$ ;

**Скорость**  $v = k \cdot l/t$  -  $[v] = L^1 \cdot M^0 \cdot T^{-1} = L \cdot T^{-1}$ ;

**Ускорение**  $a = k \cdot v/t$  -  $[a] = L^1 \cdot M^0 \cdot T^{-2} = L \cdot T^{-2}$ ;

**Сила**  $F = k \cdot m \cdot a$  -  $[F] = L^1 \cdot M^1 \cdot T^{-2} = L \cdot M \cdot T^{-2}$ ;

**Плотность** -  $[\rho] = L^1 \cdot M^1 \cdot T^{-1} = L \cdot M \cdot T^{-1}$ .

Подставляя в формулу размерности значения основных единиц данной системы, получим размерности производных единиц.

Так как физические законы не зависят от выбора единиц измерения, входящих в них физических величин, то размерности обеих частей уравнений этих законов должны быть одинаковыми. **Это утверждение носит название правила размерностей.**

Правило размерностей используется для проверки правильности полученного результата.

Правило размерностей применяется для установления размерностей физических величин. В классической динамике основным уравнением движения является выражение вида

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ или } F = m \cdot a,$$

следовательно, размерность силы

$$[F] = \text{H} = [m] \cdot [a].$$

Размерности  $[m] = \text{M}^1$ ;  $[a] = \text{L}^1 \cdot \text{T}^{-2}$ , имеем

$$[F] = \text{L} \cdot \text{M} \cdot \text{T}^{-2} = \text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2 = \text{Н}.$$

Иногда это правило используется для установления размерности коэффициентов пропорциональности, имеющих определенный физический смысл, входящих в математическое отображение физических законов.

Закон всемирного тяготения утверждает:

$$F \sim \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad [F] \neq \frac{[m_1] \cdot [m_2]}{[r]^2}$$

Для замены знака "~" на знак "=" необходимо ввести размерный коэффициент, имеющий определенный физический смысл, размерность которого определяется из основного закона. В рассматриваемом случае таким коэффициентом является гравитационная постоянная  $\gamma$ , размерность, которой

$$[\gamma] = \frac{\text{М}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$$

# **Системы единиц измерения физических величин**

**Система единиц измерения физических величин - это совокупность основных и производных единиц измерения (эталонов).**

**Эталоны физических величин должны удовлетворять следующим требованиям:**

- 1. Легко воспроизводиться в любом количестве.**
- 2. Должны быть удобными при использовании в практической деятельности.**

**Эталоны подразделяются на основные, производные и дополнительные.**

**Основные эталоны** это несколько эталонов для некоторых величин.

**Производные эталоны** это эталоны всех остальных величин, которые получают, пользуясь физическими законами.

**Дополнительные эталоны** вводят по мере необходимости.

Системы единиц, в основу которых положены единицы длины, массы и времени, называются **абсолютными**.

В физике применяется абсолютная система единиц, называемая СГС - системой. Основными единицами в этой системе являются сантиметр, грамм и секунда.

В технике широко применялась система МКГСС (называемая обычно технической системой единиц). Основными единицами этой системы являются метр, единица силы – килограмм-сила (кгс) и секунда.

Килограмм-сила определяется как сила, сообщаемая массе в 1 кг ускорение, равное  $9,80655 \text{ м/с}^2$ . Из этого определения следует, что  $1 \text{ кгс} = 9,80655 \text{ Н}$ . За единицу массы в МКГСС принимается масса такого тела, которое под действием силы в 1 кгс приобретает ускорение  $1 \text{ м/с}^2$ .

Принятый в 1981 г. государственный стандарт ГОСТ 8.417-81 (СТ СЭВ 1052-78) вводит как обязательную Международную систему единиц, обозначаемую символом СИ. Система СИ принадлежит к числу абсолютных систем.

В 1875 г. Метрической Конференцией было основано Международное Бюро Мер и Весов его целью стало создание единой системы измерений, которая нашла бы применение во всем мире. Было решено, за основу принять метрическую систему, которая появилась еще во времена Французской революции и основывалась на метре и килограмме. Позднее были утверждены эталоны метра и килограмма.



С течением времени система единиц измерения развивалась, в настоящее время в ней принято семь основных единиц измерения. В 1960 г. эта система единиц получила современное название Международная система единиц ( система СИ) (Systeme International d'Unites (SI)). Система СИ не обладает статичностью, она развивается в соответствии с требованиями, которые в настоящее время предъявляются к измерениям в науке и технике.

# Величины и единицы измерения в системе СИ

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения	Обозначение
<b>Основные единицы измерения</b>			
Длина	L	Метр	м
Масса	M	Килограмм	кг
Время	T	Секунда	с
Сила электрического тока	I	Ампер	А
Температура	T	Кельвин	К
Количество вещества	$\nu$	Моль	моль
Сила света	$I_{\nu}$	Кандела	Кд
<b>Дополнительные единицы измерения</b>			
Плоского угла	$\varphi$	Радян	рад
Телесного угла	$\theta$	Стерadian	стерад

# Единица длины

Метр образовано от греческого “metron”, т.е. мера. В начале метр определялся через длину окружности Земного шара, затем – через длину волны определенного излучения: с 1927 г. – через длину волны красной линии кадмия, а с 1960 г. – через излучение изотопа криптона  $^{86}\text{Kr}$  в оранжевой части видимого спектра. Метр – длина, равная 1650763,73 длины волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями  $2p_{10}$  и  $5d_5$  атома криптона-86.

В 1983 г. Государственным комитетом по мерам и весам принято новое определение метра в связи с тем, что в настоящее время можно очень точно измерить скорость света. Метр равен длине отрезка, которую свет проходит в вакууме за  $1/299792458$  долю секунды. Это связано с тем, что скорость света является одной из фундаментальных констант природы и измерена с высокой точностью  $c=29979245$  м/с. Эталон длины воспроизводят с относительной ошибкой  $10^{-9}$ .

# Единица массы

Масса занимает особое место среди основных физических величин. Ее определяют путем сравнения с эталоном, который хранится в международном бюро мер и весов в Севре (Франция). Это цилиндр (90% Pt + 10% J), диаметром  $\varnothing = 39$  мм и высотой  $h=39$  мм. До сих пор не удалось достаточно точно выразить величину эталона массы через фундаментальные постоянные. Неясно, как это можно сделать. Единицей массы служит килограмм. Он равен массе международного эталона килограмма. В отдельных странах для практических целей хранятся эталоны-копии. Они проверяются с помощью коромысловых весов с погрешностью равной  $\approx 10^{-15}$  килограмма.



# Единица времени

В настоящее время секунда определяется следующим образом: секунда равна 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями ( $f = 4$  и  $f = 3$ ) основного состояния атома цезия-133 (1967 г.). До 1960 г. секунду определяли как интервал времени, равный  $1/86400$  части солнечных средних суток. В таком определении точность не превышает  $10^{-7}$ . Цезиевые резонаторы излучения воспроизводят соответствующую частоту с точностью порядка  $10^{-10}$ .

# Единица силы тока

Определение эталона силы тока основано на законе Ампера. Единица силы тока утверждена в 1948 г. Ампер равен силе постоянного электрического тока, который, протекая по двум прямолинейным параллельным бесконечно длинным проводникам ничтожно малого сечения, находящимися в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга, вызывает на участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия между ними  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

Этим же законом определяется численное значение другой фундаментальной постоянной физики магнитной постоянной  $\mu_0$ . Так как



$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2J_1J_2}{b}$$

$$\mu_0 = \frac{F4\pi b}{2J_1J_2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2}.$$

Из уравнений Максвелла следует, что

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}$$

Отсюда, зная скорость распространения света в вакууме, можно с достаточной степенью точности определить диэлектрическую постоянную

$$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{М}}$$

# Единица температуры

Одной из основных термодинамических величин является термодинамическая температура. Она измеряется в Кельвинах. Поскольку для температуры существует значение абсолютного нуля, то для определения Кельвина необходимо зафиксировать еще одну точку. В качестве нее выбрана тройная точка. Кельвин, единица термодинамической температуры, равен  $1/273,16$  части термодинамической температуры тройной точки воды (1967 г.). Нулевая точка шкалы Цельсия отличается от тройной точки воды на  $0,01$  К, при этом имеет место следующее соотношение между температурой Кельвина и Цельсия

$$t = T - 273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

# Единица количества вещества

Количество вещества было введено в Международную систему единиц в качестве основной величины в 1971 г.

В результате возникла возможность описывать количественные соотношения в химии и физической химии с помощью системы единиц СИ. Единица количества вещества (моль) определяется следующим образом:

Моль представляет количество вещества в системе, содержащей столько же частиц, сколько атомов содержится в 0,012 килограмма изотопа углерода  $^{12}\text{C}$ .

В количестве вещества, равном 1 моль, содержится  $6,022 \cdot 10^{23}$  структурных элементов, в качестве которых могут выступать атомы, молекулы, ионы, электроны и другие частицы с точно заданными параметрами.

# Единица силы света

Эта единица описывает воздействие электромагнитного излучения на человеческий глаз. При этом используют фотометрические величины. Основной величиной служит сила света, измеряемая в канделах. В международном соглашении определена спектральная чувствительность глаза. Кривая такой чувствительности позволяет связать друг с другом энергетические фотометрические величины и светотехнические величины: мощность излучения и световой поток связаны через фотометрический эквивалент излучения. В 1967 г. Было принято определение канделы, основанное на излучении света абсолютно черным телом при температуре затвердевания платины.

Температура затвердевания платины несколько раз уточнялась, поэтому приходилось изменять фотометрический эквивалент измерения. В 1979 г. приняли новое определение канделы.

Кандела – сила света источника, монохроматическое излучение которого частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, излучаемое в определенном направлении в телесный угол 1 стерadian, имеет мощность  $1/683$  Вт.

Частота  $540 \cdot 10^{12}$  Гц соответствует длине волны 555 нм, при которой глаз обладает максимальной чувствительностью.

# Общие представления о масштабах физических величин

Шкала масштабов различных величин, исследуемых современной наукой

	Метры	Область
Макромир	$10^{25}$	Размер видимой части вселенной
	$10^{24}$	Расстояние между галактиками
	$10^{21}$	Размеры галактик
	$10^{18}$	Межзвездные расстояния
	$10^{15}$	Размеры солнечной системы
	$10^{12}$	Размер Земли
	$\sim 10^5$	Высота больших гор
	1	Размер (рост) человека
	$10^{-3}$	Размер песчинки
	$10^{-6}$	Предел разрешения микроскопа
Микромир	$10^{-10}$	Размер атома
	$10^{-15}$	Размеры атомных ядер
	$10^{-18}$	Исследуемая структура элементарных частиц

Одной из основных характеристических величин является размер атома  $10^{-10}$  м. Этим размером все явления разделяются на макроскопические и микроскопические. Макроявления протекают в областях  $>10^{-7}$  м, а микроявления в областях сравнимых с атомным размером  $10^{-10}$  м и меньше.

Понятие "размер атома" в геометрическом плане не имеет смысла, поскольку физически о линейных размерах атома можно судить по взаимодействию атомов между собой, которое определяется электромагнитным полем атома, не имеющим четких границ.

Непосредственно наблюдаемые тела являются макроскопическими, состоят из большого числа частиц  $N$ . Большим является такое число частиц  $N$ , для которого выполняется условие  $\ln N \gg 1$ .

Особо важным является число Авогадро  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  1/моль, которое связывает микроскопический масштаб с макроскопическим, так как моль любого вещества составляет тело привычных для нас размеров. Моль  $H_2O$  это  $18 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup> воды.

Естественным масштабом скорости в природе является скорость распространения света в вакууме  $c = 2,998 \cdot 10^8$  м/с.

Постоянная Планка также является универсальной константой, с которой связано разграничение законов физики на квантовые и классические  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  м<sup>2</sup>/с.