

2.6. Единицы измерения и размерности физических величин. Международная система единиц

Изучение физики, исследование физических явлений и закономерностей, выполнение лабораторных работ связаны с измерением физических величин. *Физической величиной* называют свойство, общее в качественном смысле для многих физических объектов (физических систем, их состояний и процессов, которые происходят в этих системах), но количественно индивидуальное (разное) для каждого объекта. Физическими величинами являются, например, масса, энергия, температура, электрический заряд, плотность, показатель преломления и другие. Все физические тела, все частицы вещества, кванты электромагнитного поля имеют массу. Массы всех физических объектов качественно одинаковые: они характеризуют инертные и гравитационные свойства этих объектов. Но количественно масса каждого объекта — свойство индивидуальное: масса одного объекта может быть больше или меньше в определенное количество раз массы другого объекта. Например, масса протона приблизительно в 1836 раз больше массы электрона.

Конкретные проявления одной и той же физической величины (например, массы) называются *однородными величинами*, которые отличаются друг от друга размерами. *Размер физической величины* — это количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина».

Для сравнения размеров однородных величин вводится значение физической величины. *Истинное значение физической величины* — это значение, которое идеально отображало бы качественно и количественно соответствующее свойство объекта. *Действительное значение физической величины* — это значение, найденное экспериментальным путем и настолько приближенное к истинному значению, что может быть использовано вместо него. Нахождение действительного значения физической величины называется *измерением* и выполняется с помощью специальных технических средств (*средств измерения*).

Между физическими величинами существуют связи и зависимости, которые выражаются с помощью математических соотношений. Такие связи имеют реально объективный характер и могут:

- выражать фундаментальные законы природы, например, закон всемирного тяготения

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2};$$

- задавать некоторую физическую величину, например, плотность однородного тела

$$\rho = \frac{m}{V};$$

- а также показывать установленную экспериментально или теоретически связь между несколькими физическими величинами, например, уравнение состояния идеального газа

$$pV = \frac{m}{M}RT.$$

Совокупность физических величин, связанных между собой зависимостями, называют *системой физических величин*. Эта система состоит из *основных величин*, которые условно приняты в качестве независимых, и *производных величин*, которые выражаются через основные (или через другие производные) величины системы с помощью уравнений.

Число основных величин системы может быть любым, однако, чтобы система была наиболее удобной, оно должно быть определенным. Например, система механических величин может быть построена на трех основных величинах, система величин молекулярной физики — на пяти, а система величин, которая охватывает все разделы физики, — на семи основных величинах.

Основным величинам системы присваивается символ в виде прописной буквы латинского или греческого алфавитов. Этот символ называется *размерностью основной физической величины* (см. табл. 2.1).

Размерностью производной физической величины называется математическое соотношение, выражающее связь данной величины с основными величинами системы, в котором коэффициент пропорциональности принят равным единице.

Размерность физической величины X обозначается символом $\dim X$ (от англ. dimension — размер, размерность). Например, размерность скорости $\dim v = LT^{-1}$, размерность силы $\dim F = LMT^{-2}$.

Для размерности любой физической величины можно записать общее выражение

$$\dim X = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\varepsilon N^\nu J^\mu,$$

где учтено, что система из семи основных физических величин дает возможность выразить производную физическую величину, которая имеет отношение к любому разделу физики.

Если все показатели степенной размерности некоторой производной физической величины равны 0, то такая величина называется *безразмерной*. Безразмерными являются все относительные величины, например, относительное удлинение, относительная диэлектрическая проницаемость и др. Если хотя бы один из показателей степенной размерности некоторой физической величины не равен нулю, то такая величина будет *размерной*. Понятно, что размерности одной и той же физической величины в разных системах величин могут быть разными.

Поэтому размерность производной физической величины является ее относительной характеристикой, которая зависит от выбора системы величин.

Использование размерности позволяет определить, как изменяется размер производной величины при изменении размеров основных величин. Например, размерность момента инерции $\dim I = L^2 M$. Пусть линейные размеры тела увеличились в 3 раза, а масса уменьшилась в 2 раза, тогда

$$\frac{I}{I'} = \left(\frac{l}{l'}\right)^2 \frac{m}{m'} = 3^2 \cdot \frac{1}{2} = 4,5.$$

Таким образом, момент инерции увеличился в 4,5 раза. С помощью размерностей физических величин можно также выяснить соотношения единиц в разных системах.

Знание размерностей основных и производных физических величин позволяет находить ошибки при решении физических задач. Если при решении задачи искомая величина получена в результате громоздких математических расчетов, то обязательно нужно проверить, совпадают ли размерности левой и правой частей полученного выражения. Если размерности не совпадают, то или в исходной части задачи, или в ее решении допущены ошибки.

В ряде случаев, когда известно, какие физические величины будут использованы при экспериментальном определении искомой величины, можно путем сопоставления размерностей выявить характер зависимости между этими величинами. Метод анализа размерностей применяется в тех случаях, когда нахождение искомой величины требует или сложных математических расчетов, или знания механизма процесса, протекание которого заранее неизвестно.

В процессе производственной, научной и учебной деятельности человек все время сталкивается с необходимостью измерения разных физических величин. Измерение можно выполнять только в том случае, когда для каждой из этих физических величин выбраны соответствующие единицы. *Единица физической величины* — это физическая величина, которой согласно определению присвоено численное значение, равное единице. Необходимость измерения величин разных размеров приводит к использованию нескольких единиц, которые отличаются друг от друга размерами. Например, единицы длины — метр, парсек, сантиметр и микрометр — отличаются размерами: $1 \text{ пк} = 3,0857 \cdot 10^{16} \text{ м}$, $1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$, $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$.

Системой единиц физических величин называется совокупность основных и производных единиц с некоторой системой величин, образованных в соответствии с принятыми принципами.

Табл. 2.1. Основные единицы СИ

Величина		Единица			
Название	Размерность	Название	Обозначение		Определение
			международное	русское	
Длина	L	метр	m	м	Метр — расстояние, которое проходит свет в вакууме за $1/299\,792\,458$ -ю долю секунды
Масса	M	килограмм	kg	кг	Килограмм равен массе международного прототипа килограмма
Время	T	секунда	s	с	Секунда равна $9\,192\,631\,770$ периодам электромагнитного излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133
Сила электрического тока	I	ампер	A	А	Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным 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
Термодинамическая температура	Θ	кельвин	K	К	Кельвин равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды
Количество вещества	N	моль	mol	моль	Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, электронами, ионами.
Сила света	J	кандела	cd	кд	Кандела равна силе света, испускаемого с поверхности площадью $1/600\,000$ м ² полного излучателя в перпендикулярном направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердения платины при давлении $101\,325$ Па

Табл. 2.2. Дополнительные единицы СИ

Величина	Единицы			
	Название	Обозначение		Определение
		международное	русское	
Плоский угол	радиан	rad	рад	Радиан равен углу между радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу
Телесный угол	стерадиан	sr	ср	Стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы, который вырезает на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы

Большое количество систем единиц физических величин, а также внесистемных единиц, которыми пользовались в разных странах, осложняло экономические связи между государствами. Поэтому еще в начале XIX ст. был поставлен вопрос о создании единиц международной системы единиц.

В 1948 г. Международный союз чистой и прикладной физики представил на IX Генеральную конференцию по мерам и весам (ГКМВ) предложение о принятии *Международной практической системы единиц* с основными единицами — метр, килограмм, секунда и одной единицей Абсолютной практической системы электрических единиц.

В 1960 г. XI ГКМВ приняла решение о создании *Международной системы единиц*, которой было присвоено международное сокращенное наименование SI (system Internationale — международная система) или в русской транскрипции — СИ*. В нашей республике Международная система единиц введена с 1 января 1963 г.

Применение Международной системы единиц во многих странах показало ее неоспоримые преимущества перед другими системами единиц. Поэтому в 1978 г. Постоянная комиссия СЭВ по стандартизации утвердила стандарт «*Метрология. Единицы физических величин*», основой которого стала Международная система единиц. Стандарт устанавливает единицы физических величин, а также наименования, обозначения и правила применения этих единиц. Этот стандарт по настоящее время используется в Республике Беларусь.

Отметим некоторые наиболее отличительные особенности стандарта СЭВ:

* СИ читается и произносится раздельно «ЭС-И», а не вместе «Си».

1. Обязательность применения единиц Международной системы единиц (СИ, СИ), а также десятичных кратных и дольных единиц от них.

Стандарт не распространяется на единицы, применяемые в научных исследованиях и публикациях теоретического характера в области естествознания, а также на единицы величин, оцениваемых по условным шкалам (например, шкалам светочувствительности фотоматериалов).

2. Стандарт разрешает использовать наравне с единицами СИ без ограничения срока девять *внесистемных единиц*: тонну — для массы; минуту, час, сутки — для времени; угловые градус, минуту, секунду — для плоского угла; литр — для объема и вместимости; градус Цельсия — для температуры и разности температур.

В специальных областях разрешается использовать наряду с единицами СИ без ограничения срока десять *внесистемных единиц*: астрономическую единицу, световой год и парсек — в астрономии; атомную единицу массы — в атомной физике; гектар — в сельском и лесном хозяйствах; диоптрию — в оптике; град (гон) — в геодезии; электронвольт — в физике; вольт-ампер и вар — в электротехнике.

Разрешается применять четыре *относительные единицы* (единицу, процент, промилле, миллионную долю) и пять *логарифмических единиц* (бел, децибел, октаву, декаду, фон).

3. Учебный процесс (включая учебники и учебные пособия) во всех учебных заведениях должен быть основан на применении единиц СИ и единиц, допускаемых к применению.

4. В таблицах и тексте стандарта приводятся на первом месте международные обозначения единиц, а на втором — русские обозначения с указанием, что русские обозначения единиц приведены для информации и применения в необходимых случаях.

5. Не допускаются обозначения единиц физических величин, отличающихся от международных или русских обозначений.