

ЛЕКЦИЯ № 3

СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Объектом измерений являются физические величины, которые принято делить на основные и производные.

Основные величины не зависимы друг от друга, но они могут служить основой для установления связей с другими физическими величинами, которые называют производными от них, например, $E = mc^2$ – основная единица – масса – m , а энергия – производная единица.

Основным величинам соответствуют основные единицы измерений, а производным – производные единицы измерений. Производные единицы бывают когерентными и некогерентными. Когерентной называется производная единица ФВ, связанная с другими единицами системы уравнением, в котором числовой множитель принят равным единице. Например, единицу скорости образуют с помощью уравнения, определяющего скорость прямолинейного и равномерного движения точки:

$$V = L/t,$$

где L – длина пройденного пути;

t – время движения.

Подстановка вместо L и t их единиц в системе СИ дает $V = 1$ м/с. Следовательно, единица скорости является когерентной.

Совокупность основных и производных единиц называется системой единиц физических величин.

Первой системой единиц считается метрическая система, где за основную единицу длины был принят метр, за единицу веса* (в то время не было различий между понятиями вес и масса) – все 1 см^3 химически чистой воды при t около $+4^\circ\text{C}$ – грамм (позже - килограмм).

В 1799 г. были изготовлены первые прототипы (эталон) метра и килограмма.

Кроме этих двух единиц – единицы площади (ар – площадь квадрата со стороной 10 м), объема (стер, равный объему куба с ребром 10 м), вместимости (литр, равный объему куба с ребром 0,1 м).

Таким образом, в метрической системе еще не было четкого подразделения единиц величин на основные и производные.

Понятие системы единиц, как совокупности основных и производных, впервые предложено немецким ученым К.Ф. Гауссом в 1832 г. В качестве основных в этой системе были приняты: единицы длины – миллиметр, единица массы – миллиграмм, единица времени – секунда. Эту систему единиц называли *абсолютной*.

В 1881 г. была принята система единиц физических величин СГС, основными единицами которой были: сантиметр – единица длины, грамм – единица массы, секунда – единица времени. Производными единицами системы считались единица силы – килограмм – сила и единица работы –

эрг. Неудобство системы СГС состояло в трудностях пересчета многих единиц в другие системы для определения их соотношений. В начале XX в. итальянский ученый Джорджи предложил МКСА (в русской транскрипции) – широко распространившуюся в мире.

Основные единицы этой системы: метр, килограмм, секунда, ампер (единица силы тока), а производные: единица силы – ньютон, единица энергии – джоуль, единица мощности – ватт.

Были и другие предложения, что указывает на стремление к единству измерений в международном аспекте. В то же время даже сейчас некоторые страны не отошли от исторически сложившихся у них единиц измерения. Известно, что Великобритания, США, Канада основной единицей массы считают фунт (409 г), причем его размер в системе «Британских имперских мер» и «Старых винчестерских мер» различен. Наиболее широко распространена во всем мире Международная система единиц СИ. Рассмотрим ее сущность.

Международная система единиц физических величин

Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) в 1954 г. определила шесть основных единиц физических величин для их использования в международных отношениях: метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина и свеча.

XI Генеральная конференция по мерам и весам в 1960 г. утвердила Международную систему единиц, обозначаемую SI (от начальных букв французского названия *Système International d'Unités*), на русском языке – система СИ. В последующие годы Генеральная конференция приняла ряд дополнений и изменений, в результате чего в системе стало семь основных единиц (количество вещества) дополнительные и производные единицы физических величин (см. таблицу 1.1), а также разработала следующие определения основных единиц:

- единица длины – метр – длина пути, которую проходит свет в вакууме за $1/299792458$ долю секунды;
- единица массы – килограмм – масса, равная массе международного прототипа килограмма;
- единица времени – секунда – продолжительность 9192631770 периодов излучения, соответствующих переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей;
- единица силы электрического тока – ампер – сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, создал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины;

- единица термодинамической температуры – Кельвин – $1/273,16$ (до 1967 г единица именовалась градус Кельвина) часть термодинамической температуры тройной точки воды. Допускается также применение шкалы Цельсия;
- единица количества вещества – моль – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится в углероде – 12 массой $0,0012$ кг;
- единица силы света – кандела – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила, излучения которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт·ср⁻¹ (ватт на стерадиан – единица (производная) энергетической силы света. Стерадиан (ср) – единица измерения телесного (пространственного) угла).

Приведенные определения довольно сложны и требуют достаточного уровня знаний, прежде всего в физике. Но они дают представление о природном, естественном происхождении принятых единиц, а толкование их усложнялось по мере развития науки и благодаря новым высоким достижениям теоретической и практической физики, механики, математики и других фундаментальных областей знаний. Это дало возможность, с одной стороны, представить основные единицы как достоверные и точные, а с другой стороны – как объяснимые и как бы понятные для всех стран мира, что является главным условием, для того чтобы система единиц стала международной.

Международная система СИ считается наиболее совершенной и универсальной по сравнению с предшествовавшими ей. Кроме основных единиц в системе СИ есть дополнительные единицы для измерения плоского и телесного углов – радиан и стерадиан соответственно, а также большое количество производных единиц пространства и времени, механических величин, электрических и магнитных величин, тепловых, световых и акустических величин, а также ионизирующих излучений.

Стерадиан – это единица измерения угла – угла с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Во всех системах единиц плоский φ и телесный Ω углы вводятся посредством уравнений:

$$\varphi = l/R, \quad \Omega = S/R^2$$

где l – длина дуги, вырезаемой центральным плоским углом φ на окружности радиуса R ;

S – площадь, вырезаемая центральным телесным углом на шаре с радиусом R .

В соответствии с этими определениями у обоих углов нет размерности в любой системе единиц:

$$[\varphi] = L/L; \quad [\Omega] = L^2/L^2$$

После принятия Международной системы единиц ГКМВ (Генеральная конференция) практически все крупнейшие международные организации включили ее в свои рекомендации по метрологии и призвали все страны-члены этих организаций принять их. В нашей стране система СИ действует с 1 января 1982 г. в соответствии с п. 3.10 ГОСТ 8.417-81. Она возникла не на пустом месте и является логическим развитием предшествовавшими ей систем единиц: СГС, МКГСА и др.

Достоинства международной системы единиц являются:

- универсальность, т.е. охват всех областей науки и техники;
- упрощение записи формул в физике, химии, а также в технических науках в связи с отсутствием переводных коэффициентов;
- единая система образования кратных и дольных единиц, имеющих собственные наименования;
- лучшее взаимопонимание при развитии научно-технических и экономических связей между различными странами.

На сегодняшний день система СИ действительно стала международной, но вместе с тем применяются и внесистемные единицы.

Единицы ФВ делятся на системные и внесистемные. Системная единица – единица ФВ, входящая в одну из принятых систем. Все основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными. Внесистемная единица – это единица ФВ, не входящая ни в одну из принятых систем единиц (таблица 1.2). Внесистемные единицы по отношению к единицам СИ разделяют на четыре вида.

1. допускаемые наравне с единицами СИ, например, единица массы – тонна; единицы плоского угла – градус, минута, секунда; единица объема – литр и др. (площадь – гектар, энергия – электрон-вольт, полная мощность – вольтампер);
2. допускаемые к применению в специальных областях, к которым относятся: в астрономии – единица длины – астрономическая единица (а.е. = $1,496 \cdot 10^{11}$ м), световой год ($9,4605 \cdot 10^{15}$ м), парсек ($3,0857 \cdot 10^{16}$ м); в оптике единица энергии – электрон-вольт ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж); в оптике – единица оптической силы – диоптрия (1 м^{-1}); в физике – единица энергии – электрон-вольт ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж);
3. временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ, например, в морской навигации – морская миля, единица массы в ювелирном деле – карат и др. Эти единицы должны изыматься из употребления в соответствии с международными соглашениями;
4. изъятые из употребления, к ним относятся: единица давления – миллиметр ртутного столба, единица мощности – лошадиная сила и др.

Различают кратные и дольные единицы ФВ. Кратная единица – это единица ФВ, в целое число раз больше системной или внесистемной единицы. Например, единица длины – километр равна 10^3 м, т.е. кратный метру.

Дольная единица – единица ФВ, в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы.

Приставки для образования кратных и дольных единиц СИ приведены в следующей таблице 1.3.

Множители и приставки для образования десятичных, кратных и дольных единиц и их наименований

Таблица 1.3

Множитель	Приставка	Обозначение приставки		Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
10^{18}	экса	E	Э	10^{-1}	деци	d	д
10^{15}	пета	P	П	10^{-2}	санци	c	с
10^{12}	тера	T	Т	10^{-3}	милли	m	м
10^9	гига	G	Г	10^{-6}	микро	μ	мк
10^6	мега	M	М	10^{-9}	нано	n	н
10^3	кило	k	к	10^{-12}	пико	p	п
10^2	гекто	h	г	10^{-15}	фемто	f	ф
10^1	дека	da	да	10^{-18}	атто	a	а

Основные и дополнительные единицы физических величин системы СИ

Таблица 1.1

№ п/п	Физическая величина			Единица измерения		
	Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение	
					русское	международное
Основные						
1	Длина	L	l	метр	м	m
2	Масса	M	m	килограмм	кг	kg
3	Время	T	t	секунда	с	s
4	Сила электрического тока	I	I	ампер	A	A
5	Термодинамическая температура	θ	T	кельвин	K	K
6	Количество вещества	N	N, ν	моль	мол	mol
7	Сила света	J	J	канделла	кд	cd
Дополнительные						
8	Плоский угол	—	—	радиан	рад	rad
9	Телесный угол	—	—	стерадиан	ср	sr

Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Таблица 1.2

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	10^3 кг
	атомная единица массы	а.е.м.	$1,66057 \cdot 10^{-27}$ кг (приблизительно)
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Плоский угол	градус	... °	$(\pi/180)$ рад = $1,745329... \cdot 10^{-2}$ рад
	минута	... '	$(\pi/10800)$ рад = $2,908882... \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	... ''	$(\pi/658000)$ рад = $4,848137... \cdot 10^{-6}$ рад
	град	град	$(\pi/200)$ рад
Объем, вместительность	литр	л	10^{-3} м ³
Длина	астрономическая единица	а.е.	$1,45598 \cdot 10^{11}$ м (приблизительно)
	световой год	св.год	$9,4605 \cdot 10^{15}$ м (приблизительно)
	парсек	пк	$3,0857 \cdot 10^{16}$ м (приблизительно)
Оптическая сила	диоптрия	дптр	1 м ⁻¹
Площадь	гектар	га	10^4 м ²
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1,60219 \cdot 10^{-19}$ Дж (приблизительно)
Полная мощность	вольт-ампер	В·А	
Реактивная мощность	вар	вар	