



Метрология, стандартизация и сертификация

Калеев Дмитрий Вячеславович
кафедра ВТ

Лекции 2
«Физические величины и их системы»





«Физические величины и их системы»

Свойство объекта (явления, процесса) – философская категория, отражающая такую его сущность, которая проявляется в сравнении и означает сходство или различие с другими объектами (явлениями, процессами)

Свойства делятся ***на качественные и количественные***

Величина – это свойство, имеющее количественное проявление

Идеальные (абстрактные) величины – относятся к математике и являются обобщением конкретных реальных величин

Реальные величины – реально существующие физические и нефизические величины



«Физические величины и их системы»

Физическая величина – свойство, в качественном отношении присущее многим физическим объектам, их системам, многим протекающим в них процессам, но в количественном отношении индивидуальное для каждого физического объекта.

Энергетически пассивные: масса тела, электрическое сопротивление, емкость, индуктивность

Энергетически активные: энергетические параметры процессов преобразования, передачи и использования различных видов энергии

Размер величины – количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу



«Физические величины и их системы»

Значение размера величины - оценка величины в виде некоторого числа принятых для неё единиц.

$Q = q [Q]$, где Q – значение величины, q – численное значение, $[Q]$ – единица физической величины (основное уравнение измерения)

Единица измерения физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин

Например: $T = 20 [1^{\circ}C] = 88 [1^{\circ}F]$



«Физические величины и их системы»

По степени достоверности:

Истинные значения, которые идеальным образом отражают в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину;

Действительные значения, которые определяются экспериментальным путем с использованием самых точных средств измерения и находятся настолько близко к истинному значению, что для поставленной измерительной задачи могут его заменять;

Измеренные значения, получаемые в результате измерительного эксперимента, проводимого с использованием конкретного средства измерения и равные показаниям этого средства измерения.



«Физические величины и их системы»

Единицы измерений:

-Независимые ЕИ

-Производные ЕИ

-Кратные ЕИ

-Дольные ЕИ

Множитель	Приставка	Международное обозначение	Российское обозначение
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
10^{-1}	деци-	d	д
10^{-2}	санти-	c	с
10^{-3}	милли-	m	м
10^{-6}	микро-	u	мк
10^{-9}	нано-	n	н
10^{-12}	пико-	p	п
10^{-15}	фемто-	f	ф
10^{-18}	атто-	a	а



«Физические величины и их системы»

Мера – тело или устройство, предназначенное для материального воспроизведения единицы измерений

По отношению к алгебраическим действиям:

Однородные величины – имеющие одну и ту же единицу измерения

Разнородные величины – имеющие разные единицы измерения

Общий вид уравнений связи физических величин:

$$X = kA^\alpha B^\beta C^\gamma \dots$$

$$F = ma \qquad E = \frac{1}{2}mv^2$$



«Физические величины и их системы»

Размерность физической величины – это выражение, имеющее вид степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь конкретной величины с основными физическими величинами системы физических величин

$$\dim X = L^\alpha M^\beta T^\gamma \dots$$

$$X = kAB$$

$$A = FL \left(\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \right)$$

$$x[X] = ka[A]b[B]$$

$$E = \frac{mv^2}{2} \left(\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \right)$$

$x = kab$ - уравнение связи числовых значений физических величин

$$P = 0.001UI$$

$$P = p[\text{кВт} \cdot \text{м}]$$

$$U = u[B]$$

$$I = i[A]$$



«Физические величины и их системы»

Когерентной называется производная единица физической величины, связанная с другими единицами системы уравнением, в котором коэффициент пропорциональности k принят равным единице

$$v = \frac{L}{t} \quad v = 1 \frac{M}{c}$$

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

$$E = \frac{1}{2} (2m)(v^2) = \frac{1}{2} (2\text{кг}) \left(1 \frac{M^2}{c^2} \right) = 1 \frac{\text{кг} \cdot M^2}{c^2} = 1 \text{Дж}$$

$$E = \frac{1}{2} (m) (\sqrt{2}v^2) = \frac{1}{2} (1\text{кг}) \left(2 \frac{M^2}{c^2} \right) = 1 \frac{\text{кг} \cdot M^2}{c^2} = 1 \text{Дж}$$



«Физические величины и их системы»

Система физических величин - совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

Пример:

LMT – СФВ механики: длина, масса, время

LMTIΘNJ – международная система единиц (СИ)

Система единиц физических величин - совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин.



«Физические величины и их системы»

1832 г. – К.Гаусс предложил методикку основных и производных единиц физических величин, предложил «абсолютную» систему единиц измерений

СФВ: длина, масса, время

СЕФВ: миллиметр, миллиграмм и секунда

1881 г. – *СГС* система

Сантиметр, грамм, секунда.

Недостатки: не когерентна

7 модификаций

сложности с электрическими и магнитными измерениями



Карл Фридрих Гаусс



«Физические величины и их системы»

Середина XIX в. – *МКГСС*

Метр, килограмм-сила и секунда

Достоинства – удобна в использовании на промышленных предприятиях, используется в ракетной технике

Недостатки:

1. Невозможность найти эталон килограмм-силы
2. Масса – производная величина, составляла 9.80665 кг

1901 г. – *МКС*

Метр, килограмм, секунда и ампер

Вошла в качестве составной части в Международную систему единиц (СИ)



«Физические величины и их системы»

1960 г. – XI Генеральная конференция по мерам и весам приняла стандарт «Международная система единиц (SI)»

Состояла из 6 основных и 2 дополнительных единиц

1971 г. – XIV конференция внесла дополнительную основную единицу количества вещества (моль)

1995 г. – XX конференция исключила как класс дополнительные единицы, внося их в безразмерные производные единицы СИ



«Физические величины и их системы»

Единица	Обозначение	Величина	Определение
Метр	м	Длина	Длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ секунды
Килограмм	кг	Масса	Масса международного прототипа
Секунда	с	Время	Время, равное $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133
Ампер	А	Сила электрического тока	Ампер есть сила не изменяющегося 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 $2 \cdot 10^{-7}$ ньютонов



«Физические величины и их системы»

Единица	Обозначение	Величина	Определение
Кельвин	К	Термодинамическая температура	Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды
Моль	моль	Количество вещества	Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг.
Кандела	кд	Сила света	Кандела есть 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



«Физические величины и их системы»

$$l = c_0 t$$

$$\dim[L] = L$$

$$\dim[S] = S$$

Уравнения связи:

1. Второй закон Ньютона:

$$F = k_1 m a$$

$$\text{iff } k_1 = k_2 : \dim(M) = 1 \frac{M^3}{c^2}$$

2. Закон всемирного тяготения:

$$F = k_2 \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

iff $k_1 = 1$, $\dim[M] = M = 1 \text{ кг}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = m a \\ \dim[F] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \end{array} \right.$$

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

$$\gamma = (6,672 \pm 0,041) \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$



«Физические величины и их системы»

Fundamental Physical Constants — Universal constants

Quantity	Symbol	Value	Unit	Relative std. uncert. u_r
speed of light in vacuum	c, c_0	299 792 458	m s^{-1}	exact
magnetic constant	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ $= 12.566\,370\,614\dots \times 10^{-7}$	N A^{-2} N A^{-2}	exact
electric constant $1/\mu_0 c^2$	ϵ_0	$8.854\,187\,817\dots \times 10^{-12}$	F m^{-1}	exact
characteristic impedance of vacuum $\mu_0 c$	Z_0	376.730 313 461...	Ω	exact
Newtonian constant of gravitation	G	$6.674\,08(31) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$	4.7×10^{-5}
	$G/\hbar c$	$6.708\,61(31) \times 10^{-39}$	$(\text{GeV}/c^2)^{-2}$	4.7×10^{-5}
Planck constant	h	$6.626\,070\,040(81) \times 10^{-34}$	J s	1.2×10^{-8}
		$4.135\,667\,662(25) \times 10^{-15}$	eV s	6.1×10^{-9}
$h/2\pi$	\hbar	$1.054\,571\,800(13) \times 10^{-34}$	J s	1.2×10^{-8}
		$6.582\,119\,514(40) \times 10^{-16}$	eV s	6.1×10^{-9}
	$\hbar c$	197.326 9788(12)	MeV fm	6.1×10^{-9}
Planck mass $(\hbar c/G)^{1/2}$	m_{P}	$2.176\,470(51) \times 10^{-8}$	kg	2.3×10^{-5}
energy equivalent	$m_{\text{P}} c^2$	$1.220\,910(29) \times 10^{19}$	GeV	2.3×10^{-5}
Planck temperature $(\hbar c^5/G)^{1/2}/k$	T_{P}	$1.416\,808(33) \times 10^{32}$	K	2.3×10^{-5}
Planck length $\hbar/m_{\text{P}} c = (\hbar G/c^3)^{1/2}$	l_{P}	$1.616\,229(38) \times 10^{-35}$	m	2.3×10^{-5}
Planck time $l_{\text{P}}/c = (\hbar G/c^5)^{1/2}$	t_{P}	$5.391\,16(13) \times 10^{-44}$	s	2.3×10^{-5}



«Физические величины и их системы»

Источники

1. Основы метрологии. Бурдун Г.Д.
2. Основы метрологии и электрические измерения. Душин Е.М.
3. Метрология. Теория измерений. Жуков В.К.

Продолжительность - 1 час