

Метрология

Система единиц
Средства измерения

Появление единиц

Единицы можно формировать произвольно. Чаще всего – для удобства применения.

Пример: средневековый, малограмотный феодал вводит единицу площади земельного участка 1 УЧ – площадь пахотной земли, которой достаточно, чтобы в самый неурожайный год прокормить одного человека. Удобно при хозяйственных расчётах.

Для измерения феодал вводит эталон 1 УЧ – полотнище ткани.

Вариант 2. Феодал учился и теперь знает, что площадь любой геометрической фигуры пропорциональна произведению двух её линейных размеров. Он понимает, что единица площади должна быть производной от единицы измерения длины.

Система единиц

Международная система единиц физических величин СИ (SI, *Système International*) принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам веса.

Принцип 1: некоторые единицы принимаются за основные, их размер определяют экспериментально независимо от остальных величин.

Принцип 2: остальные единицы (производные) определяют, используя их связь с основными единицами (обычно эта связь в виде физических законов).

В СИ семь основных единиц, две дополнительные, а также приставки для образования кратных и дольных единиц.

Система единиц

Вариант 1.

Введение новой основной единицы – единицы скорости

За единицу скорости принимаем скорость, которую приобретает тело, свободно падая (без начальной скорости) в вакууме с высоты 1 м.

$$V = \sqrt{2gh} \quad ; \quad h = 1 \text{ м} \quad ; \quad g \approx 9,81 \text{ м/с}^2 \implies V \approx 4,429 \text{ м/с}$$

В этом случае уравнение для равномерного движения приобретает вид:

$$V = \frac{1}{4,429} \cdot \frac{S}{t} = 0,225 \frac{S}{t}$$

Множитель, обусловленный введением новой основной единицы

Система единиц

Вариант 2.

Введение для скорости произвольной производной единицы.

В качестве уравнения связи используем определение скорости для равномерного движения

$$V = K \frac{S}{t}$$

Определение единицы:

за единицу скорости принимаем такую скорость, при которой при равномерном движении тело за единицу времени (1 с) тело проходит расстояние, равное двум единицам длины (2 м).

Уравнение для равномерного движения:

$$V = 0,5 \frac{S}{t}$$

Множитель, обусловленный определением производной единицы

Система единиц

Вариант 3

Введение когерентной производной единицы (т.е. требуем $K=1!$).

Это достигается при таком определении единицы скорости:

За единицу скорости принимаем такую скорость, при которой при равномерном движении тело за единицу времени (1 с) тело проходит расстояние, равное единице длины (1 м).

Уравнение для равномерного движения:

$$v = \frac{S}{t}$$

Система единиц

Система единиц измерения СИ

Наименование величины	Единицы измерения	Сокращенное обозначение	
		русское	международное
Основные единицы			
Длина	метр	м	<i>m</i>
Масса	килограмм	кг	<i>kg</i>
Время	секунда	с	<i>s</i>
Сила электрического тока	ампер	А	<i>A</i>
Термодинамическая температура	кельвин	К	<i>K</i>
Сила света	кандела	кд	<i>cd</i>
Количество вещества	моль	моль	<i>mol</i>

При желании можно было бы обойтись меньшим количеством основных единиц

Система единиц

1. Длина

Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ с. [XVII ГКМВ (1983 г.), Резолюция 1]

Основная единица определена через другую основную единицу!

2. Масса

Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма [I ГКМВ (1889 г.) и III ГКМВ (1901 г.)]

3. Время

Секунда есть время, равное **9 192 631 770** периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 1]

Система единиц

4. Электрический ток (сила электрического тока)

Ампер есть сила 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.

[МКМВ (1946 г.), Резолюция 2, одобренная IX ГКМВ (1948 г.)]

5. Термодинамическая температура

Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 4]

Единица измерения – Кельвин, не градус Кельвина!

Система единиц

6. Количество вещества

Моль есть количество 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, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц

[XIV ГКМВ (1971 г.), Резолюция 3]

7. 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/срад [XVI ГКМВ (1979 г.), Резолюция 3]

Система единиц

Указанная система сложилась исторически – так всем удобнее.

Определение единиц уточняют по мере развития техники и совершенствования измерительной аппаратуры.

Пример – 1 метр.

- эталон из платино-иридиевого сплава (по сути – металлическая линейка)
- несколько длин волн света, излучаемого криптоном. Число волн выбрали таким, чтобы сохранить равенство с предыдущим эталоном
- сейчас – расстояние, которое проходит свет за некоторый интервал времени (считается, что скорость света в вакууме – мировая константа)
- дальше (если выяснится, что это не константа) придумают что-то ещё...

Система единиц

Пример 2 – секунда.

- солнечная секунда: $1 / (24 * 60 * 60) = 1 / 86400$ часть суток (времени оборота Земли вокруг своей оси).

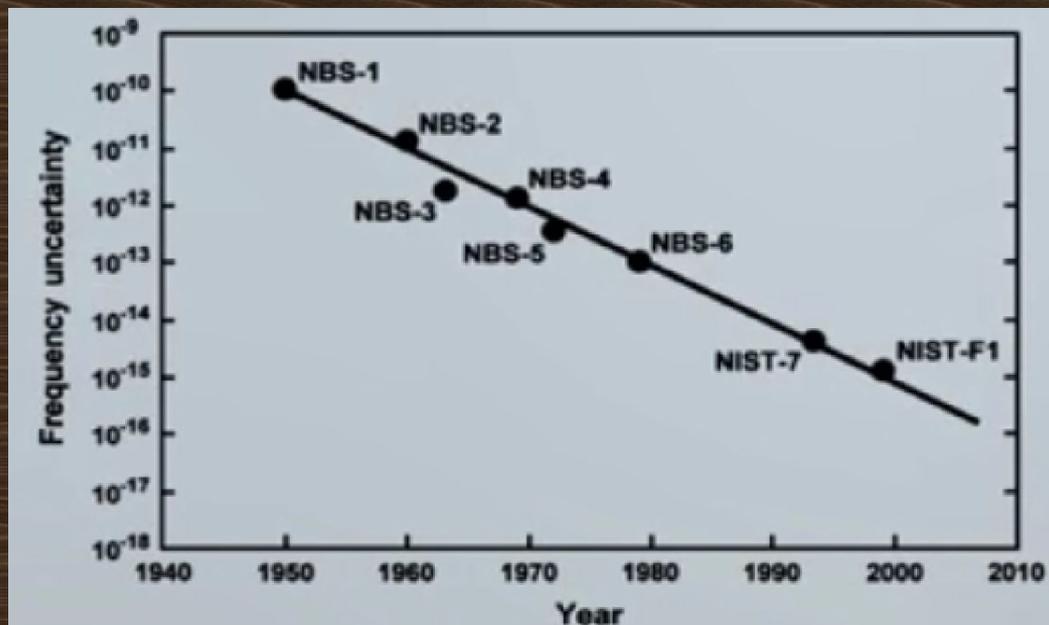
Относительная погрешность 10^{-7}

- эфемеридное время: $1 / 31556925,9744$ доля года в 1900 году на широте 12 ч по Гринвичу.

Относительная погрешность 10^{-9}

- атомное время (современный подход).

Относительная погрешность 10^{-16}



Уменьшение неопределенности частоты цезиевого репера Национального института стандартов и технологий (NIST), США

Система единиц

Как связать размерность производной величины с основными? (Метод размерностей из физики)

1. Написать уравнение (формулу), в которую входит искомая производная величина. Выразить её.
2. Если в уравнении (1) есть другие производные величины – выполнить для них п. 1.

Пример: выразить **производную** единицу мощности через **основные** единицы.

$$\underline{\text{Мощность}} = \text{Работа} / \text{Время}$$

$$\underline{\text{Вт}} = \text{Дж} / \text{с}$$

$$\text{Работа} = \text{Сила} * \text{Перемещение}$$

$$\text{Дж} = \text{Н} * \text{м}$$

$$\text{Сила} = \text{Масса} * \text{Ускорение}$$

$$\text{Н} = \text{кг} * [\text{уск}]$$

$$\text{Ускорение} = \text{Путь} / \text{Время}^2$$

$$[\text{уск}] = \text{м} / \text{с}^2$$

$$\text{Вт} = \text{кг} * \text{м}^2 / \text{с}^3 = \text{м}^2 * \text{кг} * \text{с}^{-3}$$

Система единиц

Производные единицы СИ

Наименование величин	Единица		Выражение производной единицы через единицы СИ	
	наименование	обозначение	другие единицы	основные и дополнительные единицы
Частота	герц	Гц	–	с^{-1}
Сила	ньютон	Н	–	$\text{м}\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Давление	паскаль	Па	$\text{Н}/\text{м}^2$	$\text{м}^{-1}\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Энергия, работа,	джоуль	Дж	$\text{Н}\cdot\text{м}$	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$
Мощность	ватт	Вт	$\text{Дж}/\text{с}$	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}$
Электрический заряд	кулон	Кл	$\text{А}\cdot\text{с}$	$\text{с}\cdot\text{А}$
Электрический потенциал	вольт	В	$\text{Вт}/\text{А}$	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}\cdot\text{А}^{-1}$
Электрическая емкость	фарада	Ф	$\text{Кл}/\text{В}$	$\text{м}^{-2}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{с}^4\cdot\text{А}^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ом	$\text{В}/\text{А}$	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-3}\cdot\text{А}^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	См	$\text{А}/\text{В}$	$\text{м}^{-2}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{с}^3\cdot\text{А}^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Вб	$\text{В}\cdot\text{с}$	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	Т, Тл	$\text{Вб}/\text{м}^2$	$\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-1}$
Индуктивность	генри	Г, Гн	$\text{Вб}/\text{А}$	$\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{А}^{-2}$

Система единиц

Дополнительные единицы

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенное обозначение	
		русское	международное
Плоский угол	радиан	рад	<i>rad</i>
Телесный угол	стерадиан	ср	<i>sr</i>

Приставки и множители десятичных кратных и дольных единиц СИ

Обозначения приставок и значения множителей

Экса	Э, Е	10^{18}	Деци	д	10^{-1}
Пета	П, Р	10^{15}	Сант	с	10^{-2}
Тера	Т	10^{12}	Милли	м	10^{-3}
Гига	Г	10^9	Микро	мк	10^{-6}
Мега	М	10^6	Нано	н	10^{-9}
Кило	к	10^3	Пико	п	10^{-12}
Гекто	г	10^2	Фемто	ф	10^{-15}
Дека	да	10^1	Атто	а	10^{-18}

Начиная с Мега и далее
приставка с большой буквы!

Отличия единиц измерения информации bit и байт –
приставки означают не 10^n , а 2^m

Система единиц

Чтобы записать большое или малое число в научном тексте, используют показатель степени. Например, число Авогадро $N_a = 6,02 \cdot 10^{23}$. В технике применяют кратные или дольные единицы.

Выбор десятичной кратной или дольной единицы СИ определяется удобством ее применения. Из многообразия кратных и дольных единиц, которые могут быть образованы с помощью приставок, выбирают единицу, позволяющую получать числовые значения, приемлемые на практике. Обычно кратные и дольные единицы выбирают таким образом, чтобы числовые значения величины находились в диапазоне от 0,1 до 1000.

Система единиц

Относительные единицы

Наименование единицы	Обозначение		Значение
	международное	русское	
единица	1	1	1
процент	%	%	$1 \cdot 10^{-2}$
промилле	‰	‰	$1 \cdot 10^{-3}$
миллионная доля	ppm	млн ⁻¹	$1 \cdot 10^{-6}$
миллиардная доля	ppb	млрд ⁻¹	$1 \cdot 10^{-9}$

Система единиц ГОСТ 8.417

Таблица 5 — Внесистемные единицы, допустимые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица				
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ	Область применения
		между- народное	русское		
Масса	тонна	t	т	$1 \cdot 10^3 \text{ kg}$	Все области
	атомная единица массы ^{1), 2)}	u	а.е.м	$1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ (приблизительно)	Атомная физика
Время ^{2), 3)}	минута	min	мин	60 s	Все области
	час	h	ч	3600 s	
	сутки	d	сут	86400 s	
Плоский угол ²⁾	градус ^{2), 4)}	...°	...°	$(\pi/180) \text{ rad}$ $1,745329 \dots \cdot 10^{-2} \text{ rad}$	= Все области
	минута ^{2), 4)}	...'	...'	$(\pi/18000) \text{ rad}$ $2,908882 \dots \cdot 10^{-4} \text{ rad}$	=
	секунда ^{2), 4)}	..."	..."	$(\pi/648000) \text{ rad}$ $4,848137 \dots \cdot 10^{-6} \text{ rad}$	=
	град (гон)	gon	град	$(\pi/200) \text{ rad}$ $1,57080 \dots \cdot 10^{-2} \text{ rad}$	= Геодезия
Объем, вместимость	литр ⁵⁾	l	л	$1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$	Все области

Система единиц ГОСТ 8.417

Таблица 7 - Внесистемные единицы, временно допустимые к применению

Наименование величины	Единица			Соотношение с единицей СИ	Область применения
	Наименование	Обозначение			
		между- народное	русское		
Длина	морская миля	n mile	миля	1852 m (точно)	Морская навигация
Масса	карат	—	кар	$2 \cdot 10^{-4}$ kg (точно)	Добыча и производство драгоценных камней и жемчуга
Линейная плотность	текс	tex	текс	$1 \cdot 10^{-6}$ kg/m (точно)	Текстильная промышленность
Скорость	узел	kn	уз	0,514(4) m/s	Морская навигация
Ускорение	гал	Gal	Гал	$0,01 \text{ m/s}^2$	Гравиметрия
Частота вращения	оборот в секунду оборот в минуту	r/s r/min	об/с об/мин	1 s^{-1} $1/60 \text{ s}^{-1} =$ $0,016(6) \text{ s}^{-1}$	Электротехника
Давление	бар	bar	бар	$1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$	Физика