

Рецензенты:

доктор педагогических наук А. А. Пинский,
учитель физики А. З. Сняжков

С82 Стоцкий Л. Р.
Физические величины и их единицы: Справ. Кн. для учителя.— М.: Просвещение, 1984.—239 с.

В книге изложены основные понятия метрологии, связанные со структурой и принципами построения Международной системы единиц, и даны методические рекомендации по правильному применению наименований и обозначений физических величин и единиц, изучаемых в средней общеобразовательной школе.

С 4306011100—768
103(03)—84 146—84

ББК 22.3с
531.7

© Издательство «Просвещение», 1984 г.

ГЛАВА I.

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ МЕТРОЛОГИИ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

§ 1.1. ПОНЯТИЕ О МЕТРОЛОГИИ

Метрологией (греч. metron — мера и logos — понятие, учение) называют науку об измерениях физических величин и о способах обеспечения единства и требуемой точности этих измерений.

К основным разделам метрологии относят общую теорию измерений физических величин, единицы физических величин и их системы, методы и средства измерений, метрологическое обеспечение, существенную часть которого составляют эталоны и образцовые средства измерений, а также методы передачи размеров единиц рабочим средствам измерений.

Различают теоретическую и законодательную метрологию. Основными вопросами *теоретической метрологии* являются развитие общей теории измерений физических величин, разработка теоретических вопросов построения систем физических величин и их единиц, теоретическое обоснование создания и использования эталонов единиц, разработка оптимальных средств и способов передачи размеров единиц в практику измерений, совершенствование методов обработки результатов наблюдений. *Законодательная метрология* посвящена положениям и правилам по метрологическому обеспечению, требующим регламентации со стороны правительств и их органов.

§ 1.2. ПОНЯТИЕ О ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЕ.
ЗНАЧЕНИЕ И РАЗМЕР ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Под *физической величиной* следует понимать характеристику физических объектов или явлений материального мира, *общую в качественном отношении* множеству объектов или явлений, но *индивидуальную для каждого из них в количественном отношении*.

Так, масса — физическая величина. Она является общей характеристикой физических объектов, но для каждого объекта (станка, амперметра, весов, телевизора и т. п.) имеет свое индивидуальное значение. Удельная теплоемкость — физическая величина — общая характеристика многих физических тел, но для

алюминия при 0 °С она в 4,75 раза меньше удельной теплоемкости воды при той же температуре.

Когда не возникает сомнений, что речь идет о физической величине, допускается применять краткую (усеченную) форму — *величина*.

Физическая величина представляет собой либо *обобщенное понятие* (например, длина, площадь, объем, масса, вес, удельная теплота парообразования, сила электрического тока, экспозиционная доза излучения), либо *конкретную величину* — индивидуальную характеристику конкретного объекта или явления (например, масса данного вольтметра, вместимость данного сосуда, напряженность электрического поля в данной точке пространства, удельная теплота парообразования воды при давлении 0,36 МПа).

Под значением конкретной физической величины следует понимать ее оценку, выражаемую произведением отвлеченного числа на принятую для данной физической величины единицу.

Значение конкретной физической величины может быть представлено формулой

$$X = \{X\} \cdot [X], \quad (1.1)$$

где X — значение конкретной физической величины;

$\{X\}$ — отвлеченное число, называемое числовым значением величины;

$[X]$ — принятая единица физической величины.

Например, в выражении для давления атмосферного воздуха $p = 95,2$ кПа, 95,2 — отвлеченное число, представляющее числовое значение давления воздуха, кПа — принятая в данном случае единица давления (вернее, обозначение единицы давления — килопаскаля), 95,2 кПа — значение давления атмосферного воздуха.

Количественное содержание характеристики физического объекта или явления называется *размером физической величины*.

Отсутствуют какие-либо основания для узкого толкования термина «размер величины». Этот термин можно относить ко всем физическим величинам, а не только к длине и говорить о размере площади поверхности стола, о размере вместимости сосуда, о размере давления газа, о размере силы электрического тока, о размере интенсивности звука и т. п.

Под *единицей физической величины* понимают физическую величину, фиксированную по размеру и принятую в качестве основы для количественной оценки конкретных физических величин.

Так, в качестве единиц длины применяют, в частности, метр, сантиметр, километр, астрономическую единицу, световой год, парсек, морскую милю, ангстрем, икс-единицу, фут, дюйм.

Размер величины X не зависит от выбранной единицы, он остается неизменным при использовании различных единиц.

Так, размер массы атома водорода, равной $\approx 1,66 \cdot 10^{-24}$ г, будет тот же, что и размер массы атома водорода, равной $\approx 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

Числовое же значение физической величины определяется выбором единицы (см. указанный выше пример), оно изменяется при использовании другой единицы.

$$X = \{X_1\} [X_1]; \quad (a)$$

$$X = \{X_2\} [X_2]. \quad (б)$$

Следовательно,

$$\{X_2\} / \{X_1\} = [X_1] / [X_2], \quad (1.2)$$

т. е. числовые значения одной и той же конкретной величины обратно пропорциональны выбранным единицам.

§ 1.3. РАЗМЕРНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Одной из важнейших характеристик физической величины является ее *размерность*.

Размерность физической величины отражает связь данной величины с величинами, принятыми за основные в рассматриваемой системе величин.

Так, система величин, которая определяется Международной системой единиц, содержит семь основных системных величин l, m, t, I, T, n и J , где l — длина, m — масса, t — время, I — сила электрического тока, T — термодинамическая температура, n — количество вещества, J — сила света. Для этих величин условно приняты следующие размерности: для длины — L , массы — M , времени — T , силы электрического тока — I , термодинамической температуры — Θ , количества вещества — N и силы света J . Размерности записывают прописными буквами и печатают прямым шрифтом.

Над размерностями величин, как и над самими величинами, можно производить действия умножения, деления, возведения в степень и извлечения корня. Показатель степени, в которую возведена размерность основной величины, входящей в степенной одночлен, называют *показателем размерности*.

Размерность величины X обозначается так: $\dim X$ (англ. dimension — размерность). Например,

$$\text{размерность скорости: } \dim v = LT^{-1};$$

$$\text{размерность ускорения: } \dim a = LT^{-2};$$

$$\text{размерность силы: } \dim F = LMT^{-2};$$

$$\text{размерность работы: } \dim A = L^2MT^{-2}.$$

Различают *размерные* и *безразмерные* величины.

Размерной физической величиной называют такую величину, в размерности которой хотя бы один из показателей размерности не равен нулю. Например, плотность — размерная величина,

$\dim \rho = L^{-3}M$ (показатель размерности L равен -3 , а показатель размерности M равен 1).

Безразмерной физической величиной называют физическую величину, в размерности которой все показатели размерности равны нулю. Так, относительная плотность является безразмерной величиной (она равна отношению плотности данного вещества к плотности образцового вещества, например к плотности воды при температуре $3,98^\circ\text{C}$, к плотности воздуха или водорода при нормальном атмосферном давлении и температуре 0°C):

$$\dim d = L^{-3}M / (L^{-3}M) = L^0M^0 = 1.$$

Показатели размерностей L и M равны 0 , а размерность относительной плотности d равна 1 .

Безразмерные величины могут быть относительными и логарифмическими.

Относительные величины определяют как отношения двух величин одной и той же природы (например, КПД, относительное удлинение, магнитная восприимчивость, плоский и телесный углы, тригонометрические функции, коэффициент преломления, относительные атомная и молекулярная массы, массовая, объемная и молярная доли компонента в смеси).

Так, эффективный КПД теплосилового установ (паротурбинной, газотурбинной, дизельной) равен:

$$\eta_e = P_e / m_i q, \quad (1.3)$$

где η_e — эффективный КПД теплосилового установ — относительная величина; P_e — эффективная мощность теплосилового установ, Вт; m_i — массовый расход топлива, кг/с; q — удельная теплота сгорания топлива, Дж/кг; $m_i q$ — тепловая мощность установ, Вт ($1 \text{ кг/с} \cdot 1 \text{ Дж/кг} = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт}$).

Логарифмическую величину определяют как логарифм (при том или ином основании) относительной величины (например, уровень звукового давления, уровень звуковой мощности, частотный интервал, усиление, ослабление).

Так, уровень звукового давления равен:

$$L_p = \lg(p/p_0), \quad (1.4)$$

где L_p — уровень звукового давления; p — давление; p_0 — исходное давление; p/p_0 — соотношение давлений; $\lg(p/p_0)$ — десятичный логарифм соотношения давлений.

§ 1.4. СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Под системой физических величин понимают совокупность взаимосвязанных физических величин, используемую в отдельных областях естествознания.

Система физических величин может охватывать одну или несколько областей естествознания, например механику, теоретическую теплотехнику, электричество, магнетизм, светотехнику, акустику, химическую термодинамику, физическую химию.

Система физических величин состоит из основных и производных величин.

Основная физическая величина — это физическая величина в некоторой системе величин, принятая за независимую и используемая для определения других величин этой системы.

Для обозначения системы физических величин обычно указывают группу основных величин, например: система величин механики lmt и lFt (F — сила); система величин светотехники ltI ; система электрических и магнитных величин $lmtI$; универсальная система величин, охватываемая Международной системой единиц $lmtITnJ$.

Производная физическая величина — это физическая величина в некоторой системе величин, определяемая через другие, ранее введенные величины этой системы.

Большинство производных величин определяют из простейших уравнений связи между физическими величинами (так называемых определяющих уравнений).

Две величины — плоский угол и телесный угол — не относят ни к основным, ни к производным величинам; их называют дополнительными величинами (до решения вопроса о том, к каким величинам их следует относить).

§ 1.5. УРАВНЕНИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ

Уравнениями связи между физическими величинами являются уравнения, в которых под буквенными символами понимаются физические величины. В этих уравнениях, как правило, отсутствуют коэффициенты, зависящие от единиц, в которых выражают физические величины.

Ниже приведены примеры простейших уравнений связи между величинами.

1. Уравнение связи между силой, массой и ускорением:

$$F = ma, \quad (1.5)$$

где F — сила; m — масса; a — ускорение.

2. Уравнение связи между давлением, силой, действующей на нормальную к ней поверхность, и площадью этой поверхности:

$$p = F/S, \quad (1.6)$$

где p — давление; F — сила; S — площадь поверхности.

3. Уравнение связи между мощностью, работой и временем:

$$P = A/t, \quad (1.7)$$

где P — мощность; A — работа; t — время.

4. Уравнение связи между удельной теплоемкостью, теплоемкостью и массой тела:

$$c = C/m, \quad (1.8)$$

где c — удельная теплоемкость вещества; C — теплоемкость тела; m — масса тела.

5. Уравнение связи между молярным объемом, объемом тела и количеством вещества:

$$V_m = V/n, \quad (1.9)$$

где V_m — молярный объем; V — объем тела; n — количество вещества.

В некоторых уравнениях связи между величинами могут присутствовать:

безразмерные коэффициенты, зависящие от применяемой модели (обычно для наиболее простой модели коэффициент пропорциональности равен 1).

Например, в уравнении связи между площадью круга и диаметром:

$$S = (\pi/4) d^2, \quad (1.10)$$

где S — площадь круга; d — диаметр; $\pi/4$ — безразмерный коэффициент пропорциональности (для простой модели — квадрата $S = a^2$, где S — площадь квадрата; a — длина стороны квадрата; коэффициент пропорциональности равен 1);

размерные коэффициенты, как правило, представляющие собой фундаментальные физические постоянные (значения этих постоянных устанавливают в результате измерений).

Например, уравнение связи между силой взаимного тяготения двух материальных точек, их массами и расстоянием между центрами этих точек

$$F = G m_1 m_2 / r^2, \quad (1.11)$$

где F — сила взаимного тяготения двух материальных точек; G — размерный коэффициент пропорциональности — универсальная гравитационная постоянная; m_1 и m_2 — массы материальных точек; r — расстояние между центрами этих точек.

В уравнениях связи между величинами размерности левой и правой части равны.

§ 1.6. УРАВНЕНИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ ЧИСЛОВЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Уравнениями связи между числовыми значениями величин являются уравнения, под буквенными символами которых понимаются числовые значения физических величин. К этим уравнениям относятся, в частности, все эмпирические уравнения. Характерный признак уравнений связи между числовыми значениями величин состоит в том, что входящие в них коэффициенты являются безразмерными и их значения зависят от единиц, в которых выражены величины. Приведем примеры:

$$1. Q_{1,2} = A_{1,2} J \approx A_{1,2} / 427, \quad (1.12)$$

где $Q_{1,2}$ — количество теплоты, сообщенной в изометрическом процессе идеальному газу, ккал; $A_{1,2}$ — работа изотермического процесса, кгс · м; $J \approx 427$ — безразмерный коэффициент, называемый механическим эквивалентом теплоты.

Если принять, что $J = 427 \frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{ккал}}$ (как об этом часто неправильно писали), то при подстановке $427 \text{ кгс} \cdot \text{м}$ в знаменатель вместо 1 ккал получим, что $J = \frac{427 \text{ кгс} \cdot \text{м}}{427 \text{ кгс} \cdot \text{м}} = 1$, что противоречит экспериментальному значению $J = 427$.

$$2. c = \sqrt{B \gamma R_0 T} = \sqrt{g \gamma R_0 T}, \quad (1.13)$$

где c — скорость звука, м/с; γ — безразмерный показатель адиабаты; R_0 — удельная газовая постоянная, кгс · м / (кг · К); T — термодинамическая температура, К; $B = g = 9,806 65$ — безразмерные коэффициенты, равные соотношению килограмма-силы и ньютона (1 кгс = 9,806 65 Н).

Если принять, что $B = 9,806 65 \frac{\text{Н}}{\text{кгс}}$, то при подстановке в знаменатель 9,806 65 Н вместо 1 кгс получим, что $B = \frac{9,806 65 \text{ Н}}{9,806 65 \text{ Н}} = 1$, т. е. безразмерной единице, что противоречит значению $B = 9,806 65$.

Нельзя также считать, что g — обозначение ускорения свободного падения. В действительности скорость звука не зависит от ускорения свободного падения.

$$3. M = 10^{-3} M_r; \quad (1.14)$$

$$M = M_r, \quad (1.14a)$$

где M — числовое значение молярной массы, если выражать ее в кг/моль (уравнение (1.14)) или в г/моль (уравнение (1.14a)); M_r — относительная молекулярная масса.

Нельзя говорить об уравнивании размерностей величин в правой и левой частях уравнений (1.14) и (1.14a) или об уравнивании единиц в правой и левой частях этих уравнений, поскольку M — не физическая величина, а ее числовое значение.

$$4. q = (33,9 \text{ C} + 103 \text{ H}) 10^6. \quad (1.15)$$

где q — удельная теплота сгорания жидкого топлива, состоящего из углерода и водорода, Дж/кг; C и H — массовые доли углерода и водорода в топливе, в долях единицы; 33,9 и 103 — эмпирические безразмерные коэффициенты. Неправильно считать, что 33,9 и 103 — размерные коэффициенты с единицами Дж/кг, как иногда это делают для уравнивания единиц в левой и правой частях уравнения (1.15).

§ 1.7. НАИМЕНОВАНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН (ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ)

Наименования физических величин должны соответствовать научно-техническим терминам, установленным государственными стандартами на термины и определения, терминологическими приложениями к государственным стандартам, терминологическими стандартами СЭВ, Международными терминологическими стандартами и рекомендациями ИСО (Международной организации стандартизации), Международного союза чистой и прикладной физики (МСЧПФ), Международной электротехнической комиссии (МЭК), Международной комиссии по освещению (МКО). При отсутствии таких стандартов и рекомендаций наименования физических величин должны соответствовать терминам, рекомендуемым в «Сборниках научно-технической терминологии АН СССР».

Определения физических величин должны находиться в строгом соответствии с уравнениями связи между величинами (см. § 1.5), из которых их выводят.

Буквенные обозначения величин (символы) должны соответствовать обозначениям, приведенным в государственных стандартах на обозначения физических величин, в Международных стандартах и рекомендациях ИСО на величины и единицы физических величин и в другой нормативной документации [6 ... 9].

§ 1.8. СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Под системой единиц понимают совокупность единиц физических величин, образованную в соответствии с принятыми принципами для некоторой системы физических величин.

Система единиц состоит из *основных единиц*, выбранных произвольно при построении системы и являющихся единицами основных величин, и из *производных единиц*, определяемых по уравнениям связи между единицами других физических величин и являющихся единицами производных величин.

Две системные единицы *радиан* (единица плоского угла) и *стерадиан* (единица телесного угла) не причисляют ни к основным, ни к производным единицам, их называют *дополнительными единицами*.

Необходимо отметить, что основные единицы необязательно должны быть независимыми. Важно лишь, чтобы они были единицами основных, т. е. независимых, физических величин. Такими основными единицами СИ, которые определяются через другие основные единицы, являются *ампер*, *моль*, *кандела* (см. табл. 3.1).

Большинство систем единиц сокращенно именуется по первым буквам основных единиц системы, например МКС (основные единицы — метр, килограмм, секунда), СГС (основные единицы — сантиметр, грамм, секунда), МКСА (основные единицы — метр, килограмм, секунда, ампер), МКГСС (основные единицы — метр, килограмм-сила, секунда).

Некоторые системы единиц получили специальные наименования. Например, Международная система единиц получила сокращенное наименование SI (в русской транскрипции СИ, что означает «система интернациональная», т. е. «международная»)¹.

Производные единицы, определяемые по уравнениям связи между величинами с числовым коэффициентом, равным 1, носят название *когерентных* (т. е. согласованных) производных единиц системы, а система, состоящая из одних когерентных единиц, называется *когерентной системой единиц*. В частности, Международная система единиц является когерентной системой единиц.

§ 1.9. СИСТЕМНЫЕ И ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ. КРАТНЫЕ И ДОЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ

Системной единицей физической величины называют единицу, входящую в одну из общепринятых систем единиц. Так, примерами системных единиц являются метр, джоуль, люмен, ватт на квадратный метр (единицы СИ), сантиметр, грамм, эрг на квадратный сантиметр (единицы системы СГС), килограмм-сила, килограмм-сила на квадратный метр (единицы системы МКГСС).

Внесистемной единицей физической величины называют единицу, не входящую ни в одну из общепринятых систем единиц. Примерами внесистемных единиц являются *ангстрем*, *икс-единица*, *барн*, *атмосфера*, *килограмм-сила на квадратный сантиметр*, *килограмм-сила на квадратный миллиметр*, *минута*, *час*, *сутки*, *градус Цельсия*, *калория*, *литр*, *гектар*, *центнер*.

¹ СИ — читается раздельно: «эс-я», а не слитно «си».

Кратной единицей называют единицу, в целое число раз большую системной или внесистемной единицы. Например, километр (1000 м), киловатт (10^3 Вт), минута (60 с), сутки ($86\,400\text{ с}$), мегапаскаль (10^6 Па).

Дольной единицей называют единицу, в целое число раз меньшую системной или внесистемной единицы. Например, миллиметр (10^{-3} м), нанометр (10^{-9} м), микросекунда (10^{-6} с), дюйм ($1/12\text{ фута}$), угловая секунда ($1/3600\text{ углового градуса}$).

Кратные и дольные единицы от единиц общепринятой системы не являются единицами этой системы. Так, килоджоуль (10^3 Дж), мегаватт (10^6 Вт), миллиграмм (10^{-6} кг), микросекунда (10^{-6} с) не являются единицами СИ, в то время как джоуль, ватт, килограмм, секунда — единицы СИ.

§ 1.10. НАИМЕНОВАНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН (ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ)

Как правило, производные системные единицы именуется через наименования основных, дополнительных или других производных единиц системы. Например, метр в секунду (м/с ; м/с) — единица скорости, кубический метр на килограмм ($\text{м}^3/\text{кг}$; $\text{м}^3/\text{кг}$) — единица удельного объема.

Ограниченному числу производных единиц присвоены специальные наименования, например *дина*, *эрг*, *пуаз*, *стокс*, *максвелл*, *гаусс*, *гильберт*, *эрстед*, *гал* (в системе СГС), *рад*, *бэр*, *рентген*, *кюри*, *торр*, *бар*, *ангстрем*, *икс-единица*, *барн*, *карат*, *центнер*, *ар*, *гектар* (для внесистемных единиц), *ньютон*, *паскаль*, *джоуль*, *ватт*, *кулон*, *вольт*, *фарад*, *ом*, *сименс*, *вебер*, *тесла*, *генри*, *люмен*, *люкс*, *беккерель*, *грэй*, *зиверт* (для производных единиц СИ).

Обозначения (международные и русские) единиц должны находиться в строгом соответствии с утвержденными обозначениями [3; 4].

§ 1.11. ПОНЯТИЕ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ. ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Великий русский ученый Дмитрий Иванович Менделеев о значении измерений для науки говорил: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры».

Под *измерением физической величины* понимают последовательность операций, выполняемых опытным путем при помощи технических средств, специально предназначенных для этой цели, по нахождению с известной точностью значения физической величины, характеризующей исследуемый объект или явление.

Учащимся можно давать упрощенное определение: «Измерить физическую величину — это значит найти опытным путем значение

физической величины, используя специальные технические средства».

Измерение начинают с приведения технического средства измерения во взаимодействие с исследуемым объектом. В результате возникает измерительный сигнал на входе средства измерения. Оканчивают измерение при получении информации о физической величине в виде значения величины и оценки погрешности этого значения.

Если для определения значения физической величины не применяют экспериментальных операций, в которых технические средства приводятся во взаимодействие с исследуемым объектом или явлением (в результате чего мог бы возникнуть измерительный сигнал), то следует говорить не об измерении, а об определении значений физических величин, например расчетом.

Различают следующие виды измерений физических величин: прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямым измерением называют измерение физической величины, при котором входной измерительный сигнал уже содержит информацию об измеряемой физической величине, например измерения температуры физического объекта термометром, давления газа в сосуде манометром, атмосферного давления барометром, массы тела взвешиванием на рычажных весах.

Косвенным измерением называют измерение физической величины, при котором искомое значение вычисляют с помощью известной зависимости между искомой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Например, вычисление значения электрической мощности постоянного тока по показаниям амперметра и вольтметра, определение объема тела по прямым измерениям его геометрических размеров, определение удельного электрического сопротивления цилиндрического проводника прямыми измерениями длины, диаметра поперечного сечения и электрического сопротивления проводника.

Под *совокупным измерением* понимают измерение нескольких одноименных физических величин, состоящее из прямых измерений различных сочетаний этих величин. Например, определение масс отдельных гирь по известному значению массы одной гири и разности масс нескольких целесообразно выбранных сочетаний гирь.

Совместным измерением называют измерение, состоящее из прямых измерений нескольких физических величин в изменяющихся условиях и последующего нахождения зависимости между этими величинами. Например, определение температурной зависимости электрического сопротивления путем его измерения при различных температурах.

Кроме того, различают измерения постоянной или мало изменяющейся физической величины, называемые *статическими измерениями*, и измерения переменной во времени величины, называемые *динамическими измерениями*.

Примеры статических измерений: измерения размеров физического объекта, постоянного давления манометром, остающегося постоянным действующего напряжения переменного тока вольтметром. Примеры динамических измерений: измерения вибраций, пульсирующих давлений.

§ 1.12. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Средством измерений называют техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства. Важнейшими из этих средств являются меры, и измерительные приборы и измерительные преобразователи.

Мерой называют средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины данного размера. Примеры мер: гири (мера массы), магазин сопротивлений.

Измерительным прибором называют средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Это, например, вольтметр, термометр, измеритель дозы, силонизмеритель, измеритель парциальных давлений.

Различают следующие типы измерительных приборов: аналоговые, цифровые, показывающие, регистрирующие, самопишущие и печатающие, прямого действия и сравнения, интегрирующие и суммирующие [1].

Измерительным преобразователем (сокращенно преобразователем) называют средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Это, например, измерительные преобразователи давления, температуры, частоты.

Различают измерительные преобразователи: *первичные* (например, термопара в цепи термоэлектрического пирометра, диафрагма, сопло расходомера); *промежуточные, передающие* (например, индуктивный или пневматический передающий измерительный преобразователь тока, делитель напряжения).

Специфические термины, характеризующие части шкалы отсчетного устройства измерительного прибора [1]:

отметка шкалы — знак на шкале, соответствующий некоторому значению измеряемой величины;

числовая отметка шкалы — отметка шкалы, у которой проставлено число отсчета;

деление шкалы — промежуток между двумя соседними отметками шкалы;

длина деления шкалы — расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы;

цена деления шкалы — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

§ 1.13. ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ, ОБРАЗЦОВЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ОБРАЗЦОВЫЕ ВЕЩЕСТВА

Эталоном единицы физической величины (сокращенно эталоном) называют средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим (по поверочной схеме) средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Различают следующие важнейшие виды эталонов:

международный эталон, используемый по международному соглашению для согласования единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами, а также для метрологической аттестации по нему национальных эталонов;

национальный эталон — эталон для отдельного государства;

государственный эталон — национальный эталон, официально утвержденный в качестве исходного для государства;

первичный эталон — исходный международный или государственный эталон, предназначенный для условий, наиболее благоприятных с точки зрения достижения точности;

специальный первичный эталон — первичный эталон, предназначенный для особых условий, в которых неприемлем первичный эталон;

вторичный эталон — подчиненный эталон, аттестуемый по первичному эталону;

эталон-копия — вторичный эталон, предназначенный для аттестации вторичных эталонов;

эталон-свидетель — вторичный эталон, предназначенный для проверки неизменности размера единицы, хранящейся первичным или специальным эталоном, и для замены его в случае порчи или утери.

Образцовым средством измерений называют меру, измерительный прибор или измерительный преобразователь, служащие для поверки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

Рабочее средство измерений применяют для измерений, не связанных с передачей размера единицы, например весы для взвешивания отпускаемых товаров, мера длины, применяемая для измерений размеров изделий.

Образцовое вещество — образцовая мера в виде вещества с известными свойствами, например чистая вода, чистые газы, чистые металлы.

§ 1.14. ПОГРЕШНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Различают истинное и действительное значения физической величины.

Под *истинным значением физической величины* понимают значение величины, которое стремятся найти в соответствии с поставленной измерительной задачей и которое абсолютно верно отражало бы эту величину.

Действительным значением физической величины называется значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что для поставленной измерительной задачи может его заменить.

В результате измерения может быть найдена только оценка истинного значения (а не само истинное значение), называемая действительным значением физической величины.

Под *погрешностью измерений* (абсолютной, относительной) понимают отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины.

Абсолютную погрешность выражают в единицах измеряемой величины. *Относительную погрешность*, представляющую отношение абсолютной погрешности измерений к истинному значению измеряемой величины, выражают в долях единицы или в процентах.

Абсолютную погрешность определяют по формуле

$$\Delta = X - Q, \quad (1.16)$$

где X — результат измерения; Q — истинное значение измеряемой величины.

Поскольку истинное значение измеряемой величины неизвестно, то в качестве наиболее близкого к нему можно принять среднее значение ряда измерений одной и той же величины.

Относительную погрешность определяют по формуле

$$\Delta_r = |\Delta|/Q. \quad (1.17)$$

Точностью измерений называют качество измерений, отражающее близость результатов измерений истинному значению измеряемой величины. Она равна обратному значению модуля относительной погрешности. Например, если модуль относительной погрешности измерений равен $0,004\% = 4 \cdot 10^{-5}$, то точность измерений равна $1/(4 \cdot 10^{-5}) = 2,5 \cdot 10^4 = 25\,000$. Чем меньше относительная погрешность, тем больше точность. Модуль относительной погрешности измерений всегда меньше 1, а точность всегда больше 1. В школьной практике используют только понятия абсолютной и относительной погрешностей. Пример.

Масса тела, измеренная взвешиванием на рычажных весах, составила $Q = 20$ г. Абсолютная погрешность измерения равна

$$\Delta = \pm 0,5 \text{ г}; m = (20 \pm 0,5) \text{ г}.$$

Это означает, что масса взвешенного тела находится в пределах 19,5 и 20,5 г
Модуль относительной погрешности

$$|\Delta_r| = |\Delta|/Q = 0,5/20 = 0,025, \text{ или } 2,5\%.$$

Точность взвешивания $\epsilon = 1/|\Delta_r| = 1/0,025 = 40$.

Различают систематические, случайные и грубые погрешности измерений.

Систематические погрешности связаны в основном с погрешностями средств измерений, несовершенством методов измерений и остаются постоянными при повторных измерениях.

Случайные погрешности вызываются неконтролируемыми обстоятельствами.

Грубые погрешности (или промахи) определяются главным образом неисправностью средств измерений, ошибочным отсчитыванием показаний средств измерений, значительными изменениями условий измерений.

§ 1.15. О ПРАВИЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕРМИНОВ МЕТРОЛОГИИ

К физическим величинам часто неправильно относят не измеряемые характеристики физических объектов, а наименования самих объектов (например, гиря, навеска, волна, электрическое поле, магнитное поле).

Примеры:

Правильно	Неправильно
Масса гири 5 кг Масса навески 20 г Длина волны 3 нм Напряженность электрического поля, В/м Сила электрического переменного тока, опасная для жизни человека, равна 2...10 мА	Гиря в 5 кг Навеска в 20 г Волна 3 нм Электрическое поле, В/м Электрический переменный ток (или ток), опасный для жизни человека, равен 2...10 мА

Характеристики физических объектов или явлений, которые не умеют оценивать количественно, т. е. измерять, не являются физическими величинами, например запах, вкус, влияние, воздействие.

В связи с тем что физическая величина — первичное понятие, а единица физической величины — вторичное понятие и физическая величина не зависит от единиц, в которых ее выражают, не следует применять такие наименования физических величин, в которые входили бы единицы физических величин.

Примеры:

Правильно	Неправильно
Плотность газа, кг/м ³ Молярная масса кислорода, кг/моль Молярный объем азота, м ³ /моль Линейная плотность трубы, кг/м Поверхностная плотность листовой стали, кг/м ² Масса газа объемом 5 м ³ Объемная доля кислорода в воздухе равна 0,209 (20,9%) Массовая доля кислорода в воздухе равна 0,232 (23,2%) Удельный объем кислорода	Масса 1 м ³ газа, кг Масса 1 моль кислорода, кг Объем 1 моль азота, м ³ Масса трубы длиной 1 м; масса 1 м трубы Масса 1 м ² листовой стали, кг Масса 5 м ³ газа Процентное содержание ¹ кислорода в воздухе равно 20,9% по объему (или 20,9 об.%) Процентное содержание кислорода в воздухе равно 23,2% по массе (или по весу), 23,2 мас.% (или 23,2% вес.%) Объем, отнесенный к единице массы кислорода

Не следует применять сочетания наименований двух величин, т. е. таких выражений, которые означали бы «величину величины». Примеры:

Правильно	Неправильно
Объем газа данной массы, м ³ Масса газа данного объема, кг Молярный объем, м ³ /моль	Объем массы газа, м ³ Масса объема газа, кг Объем количества вещества, м ³

Нецелесообразно вводить обозначения величин в определении величин, это затрудняет чтение и усвоение материала учащимися. Например, нельзя давать такое определение: «Теплоемкостью C называется физическая величина, численно равная количеству теплоты Q , которое необходимо сообщить телу для нагревания его на один градус Цельсия».

Слово «величина» часто применяют для выражения размера конкретной физической величины, т. е. для выражения только количественной стороны рассматриваемой характеристики физического объекта или явления. При этом говорят ошибочно «величина скорости света», «величина давления пара», «величина электрического заряда», «величина динамической вязкости». Это неправильно, поскольку скорость, давление, электрический заряд, динамическая вязкость сами являются физическими величинами и использование слова «величина» перед наименованием физи-

¹ Процент (%) — единица относительной величины.

ческой величины приводит к тавтологии («величина величины»). В приведенных примерах слово «величина» следует по возможности опускать как излишнее; в отдельных случаях его можно заменять термином «значение» или «размер» в соответствии с контекстом. Примеры:

Правильно	Неправильно
<p>Площадь поверхности нагрева котла, м² ЭДС может достигать значения 1 В</p> <p>Мощность реактивного двигателя равна 440 МВт КПД двигателя равен 25%</p> <p>Скорость по значению и направлению; скорость по модулю и направлению</p> <p>Абсолютное значение заряда электрона равно $\approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл</p> <p>Массы выделившихся на электродах веществ пропорциональны соответствующим силам электрического тока</p> <p>Размер зазора, мм</p> <p>Урожайность зерна, кг/га (т/га)</p> <p>Силу тока короткого замыкания находят из выражения: ...</p>	<p>Величина площади поверхности нагрева котла, м² Величина ЭДС может достигать 1 В</p> <p>Величина мощности реактивного двигателя равна $440 \cdot 10^3$ кВт Величина КПД двигателя равна 25%</p> <p>Скорость по величине и направлению</p> <p>Абсолютная величина заряда электрона равна $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл</p> <p>Массы выделившихся на электродах веществ пропорциональны величинам соответствующих токов</p> <p>Величина зазора, мм</p> <p>Величина урожая зерна, ц/га</p> <p>Величину тока короткого замыкания находят из выражения: ...</p>

Часто вместо правильных выражений «внутренняя энергия выражена в джоулях», «поверхностное натяжение выражено в ньютонах на метр», «расстояние между двумя точками выражено в парсеках» неправильно говорят и пишут «внутренняя энергия измерена в джоулях», «поверхностное натяжение измерено в ньютонах на метр», «расстояние между двумя точками измерено в парсеках».

Нельзя говорить об измерении значений величин, зависимостей между величинами, а также размеров величин. Измеряют саму физическую величину (объем, скорость, площадь и т. д.) и в результате получают ее значение.

Примеры:

Правильно	Неправильно
<p>Определение значения длины или измерение длины</p> <p>Определение зависимости между скоростью и временем движения</p> <p>Измерение площади</p>	<p>Измерение значения длины</p> <p>Измерение зависимости между скоростью и временем движения</p> <p>Измерение размера площади</p>

Иногда приводят не соответствующее современному состоянию науки об измерениях обобщенное определение термина «измерение». Например: «Измерить какую-либо величину — это значит сравнить ее с однородной величиной, принятой за единицу этой величины».

Приведенному обобщенному определению термина «измерение» противоречат, например, измерение температуры с помощью термоэлектрического эффекта, нахождение плотности однородного тела по его массе и геометрическим размерам, измерение расхода газа или пара по перепаду давления в диафрагме, сопле, установленных в трубопроводе. В приведенных примерах не используется сравнение измеряемой величины с однородной величиной, принятой за единицу. Сравнение же измеряемой величины с однородной величиной, принятой за единицу, следует проводить лишь в частных простейших случаях измерения.

Вместо термина «измерение» не следует использовать термин «замер».

Часто неправильно употребляют термин «размерность» (см. § 1.3) вместо терминов «единица физической величины» или «обозначение единицы». Примеры:

Правильно	Неправильно
<p>Единица скорости — метр в секунду</p> <p>Ньютон — единица силы</p> <p>Наряду с молем применяют кратную единицу количества вещества — киломоль</p> <p>Размерность молярного объема $L^{-3}N$; моль на кубический метр — единица молярного объема</p>	<p>Размерность скорости — метр в секунду</p> <p>Ньютон — единица размерности силы</p> <p>Наряду с молем применяют размерность количества вещества — киломоль</p> <p>Размерность молярного объема — моль на кубический метр</p>

Для каждой физической величины, как правило, применяют одно наименование, и только в виде исключения можно использовать второе, параллельное наименование, например, импульс и его синоним — количество движения; электрический заряд и количество электричества.

Допускается использовать, кроме основных наименований физических величин, их краткую (так называемую усеченную) форму при неперенном условии, что это не вызовет каких-либо недоразумений, например: сила электрического тока и сила тока; поглощенная доза излучения и доза излучения; линейная скорость и скорость; линейное ускорение и ускорение; электрическое напряжение и напряжение; механическое напряжение и напряжение; электрическое сопротивление и сопротивление.

Недопустимо применять одно и то же наименование для нескольких различных физических величин, имеющих неодинаковые размерности и выраженных в разных когерентных единицах одной

и той же системы единиц. Так, недопустимо применять термин «нагрузка», под которым понимают и сосредоточенную силу, и отношение силы к длине, и отношение силы к площади, и отношение теплового потока к площади поверхности. В перечисленных случаях вместо одного обобщенного термина «нагрузка» следует соответственно применять: сосредоточенную силу (или силу), линейную силу, давление, поверхностную плотность теплового потока.

Нельзя использовать устаревшие наименования физических величин, даже если они встречаются в литературе (учебниках, учебных пособиях, справочниках), например:

Современное наименование физической величины	Устаревшее наименование физической величины
Давление	Абсолютное давление
Ускорение свободного падения	Ускорение силы тяжести
Частота вращения вала	Скорость вращения вала или число оборотов вала (в единицу времени)
Частота ударов	Число ударов (в единицу времени)
Частота импульсов	Число импульсов (в единицу времени)
Подача насоса, компрессора, вентилятора	Производительность насоса, компрессора, вентилятора
Вместимость сосуда	Емкость сосуда
Относительная атомная масса	Атомный вес; атомная масса
Относительная молекулярная масса	Молекулярный вес; молекулярная масса
Относительная молекулярная масса углекислого газа	Молекулярный вес углекислого газа
Количество вещества, моль; количество вещества, кмоль	Число молей вещества; число киломолей вещества
Молярная масса	Мольная масса
Молярный объем	Мольный объем; молекулярный объем
Парциальное давление водяного пара в воздухе	Упругость водяного пара в воздухе
Теплота; количество теплоты	Тепло, количество тепла
Удельная теплота сгорания (топлива, продуктов питания и др.)	Теплотворная способность, теплотворность, калорийность (топлива, продуктов питания и др.)
Поверхностная плотность теплового потока	Удельный тепловой поток
Теплопроводность	Коэффициент теплопроводности
Энтальпия	Теплосодержание
Сила электрического тока, А	Электрический ток, А
Электрический заряд аккумулятора	Емкость аккумуляторной батареи
Электрическая проводимость	Электропроводность
Свет; видимое излучение	Видимый свет
Светимость	Светность
Световая экспозиция	Количество освещения
Излучательность	Энергетическая светимость
Лучистая экспозиция	Энергетическая экспозиция
Сила излучения	Энергетическая сила света
Лучистость	Энергетическая яркость
Облученность	Энергетическая освещенность

Для величин, представляющих собой отношение какой-либо физической величины к массе тела, следует дополнительно применять прилагательное «удельный»; при отношении к объему — прилагательное «пространственный» или «объемный»; при отношении к количеству вещества — «молярный» (а не «мольный»); при отношении к длине — «линейный»; при отношении к площади поверхности — «поверхностный». Примеры:

Правильно	Неправильно
Удельная теплота сгорания мазута 37 МДж/кг	Теплота сгорания мазута 37 МДж/кг
Объемная теплота сгорания природного газа 28 МДж/м ³	Теплота сгорания природного газа 28 МДж/м ³
Молярная теплота парообразования воды, МДж/моль	Теплота парообразования воды, МДж/моль
При неизменной температуре удельные объемы газов обратно пропорциональны их давлениям	При неизменной температуре объемы газов обратно пропорциональны их давлениям
Массовая доля кислорода в воздухе равна 23,1%, а объемная доля — 20,9%	Доля кислорода в воздухе равна 23,1%
Удельная внутренняя энергия азота, кДж/кг	Внутренняя энергия азота, кДж/кг
Молярная внутренняя энергия кислорода, МДж/моль	Внутренняя энергия кислорода, МДж/моль

ГЛАВА 2.

ПРИМЕНЕНИЕ НАИМЕНОВАНИЙ, ОБОЗНАЧЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

§ 2.1. ВЕЛИЧИНЫ ПРОСТРАНСТВА

1. Площадь поверхности и сечения

Часто поверхность и сечение неправильно рассматривают в качестве физических величин и выражают их в единицах площади. Правильно надо говорить о площади поверхности и площади сечения. Примеры:

Правильно	Неправильно
Площадь поверхности нагрева радиатора равна 1,5 м ²	Поверхность нагрева радиатора равна 1,5 м ²
Площадь полной поверхности куба равна 6a ² , где a — длина ребра	Полиная поверхность куба равна 6a ² , где a — длина ребра
Площадь сечения трубы составляет 52 см ²	Сечение трубы составляет 52 см ²

2. Частота колебаний и вращения; частота импульсов и ударов

Для характеристики колебательного процесса следует использовать термин **частота колебаний** или термин **частота** и выражать частоту в герцах или кратных единицах от герца.

Недопустимо употребление терминов «число циклов в секунду или минуту», «число колебаний в секунду или минуту».

Надо говорить о частоте ударов, частоте импульсов, а не о числе ударов в единицу времени или числе импульсов в единицу времени.

Для характеристики вращения ротационных машин (центробежных и осевых насосов, компрессоров, газовых и паровых турбин, электродвигателей), вращающихся деталей машин (валов, маховиков, трансмиссий и т. п.) следует применять термин **частота вращения**. Недопустимо говорить о скорости вращения или числе оборотов в единицу времени, выраженных в единицах частоты вращения.

Необходимо отметить, что единицы частоты вращения — оборот в минуту (об/мин) и оборот в секунду (об/с) — в последнее время заменяются минутой в минус первой степени (мин^{-1}) и секундой в минус первой степени (с^{-1}) соответственно.

Для величины, характеризующей скорость изменения угла поворота во времени, следует использовать термин **угловая скорость**, а не «частота вращения». Примеры:

Правильно	Неправильно
Частота вращения электродвигателя равна 50 с^{-1} (3000 мин^{-1}) или частота вращения электродвигателя равна 50 об/с (3000 об/мин)	Скорость вращения электродвигателя равна 3000 об/мин (50 об/с) или число оборотов электродвигателя равно 3000 об/мин (50 об/с)
Частота вращения вала трансмиссии составляет 60 мин^{-1} (или 60 об/мин)	Угловая скорость вращения вала трансмиссии составляет 60 об/мин
Угловая скорость вращения равна 50 рад/с	Частота вращения равна 50 рад/с
Частота ударов равна 50 мин^{-1}	Число ударов равно 50 уд./мин
Частота импульсов равна 100 мин^{-1}	Число импульсов равно 100 имп./мин

3. Объем, вместимость, емкость

Термин **объем** следует применять для характеристики пространства, занимаемого телом или веществом. Так, например, под объемом сосуда (аппарата) понимают объем пространства, ограниченного внешней поверхностью сосуда (аппарата).

Под **вместимостью** понимают объем внутреннего пространства сосуда или аппарата.

Правильно, например, говорить: «В сосуде объемом $8,8 \text{ м}^3$ и вместимостью $6,5 \text{ м}^3$ находится жидкость объемом $5,1 \text{ м}^3$ ».

Часто неправильно вместо термина «вместимость» используют термин «емкость», в то время как под емкостями следует понимать сами сосуды, аппараты, предназначенные для хранения и перевозки жидкостей, газов и сыпучих тел.

Если для характеристики сосуда или аппарата применяют не объем, а максимальную массу жидкостей, газов или сыпучих тел, помещаемых в сосуд или аппарат, то такую вместимость надо называть **массовой вместимостью**. Примеры:

Правильно	Неправильно
Вместимость сосуда равна 30 м^3 Массовая вместимость мазутной цистерны равна 30 т В сосуде вместимостью 22 л находится жидкость объемом 15 л На заводе имеются три емкости для бензина массовой вместимостью 150 т каждая	Емкость сосуда равна 30 м^3 Емкость мазутной цистерны равна 30 т В сосуде емкостью 22 л находится 15 л жидкости На заводе имеются три емкости для бензина емкостью 150 т каждая

§ 2.2. О ПРАВИЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ НАИМЕНОВАНИЙ ВЕЛИЧИН В РАЗДЕЛЕ «МЕХАНИКА»

1. Масса и вес

Особое внимание следует уделять правильному применению понятий «масса» и «вес». **Массу** — скалярную величину — необходимо применять во всех случаях, когда имеется в виду особое свойство тела или вещества — инертность и способность создавать гравитационное поле. Понятие **веса** — в случаях, когда имеется в виду сила, возникающая вследствие воздействия на тело гравитационного поля. Значение массы тела не зависит от ускорения свободного падения.

В соответствии с ГОСТ 1.5—68 и ГОСТ 2.108—68 учащиеся должны на чертежах указывать массу изделий, а вес — только в тех случаях, когда речь идет о силе воздействия изделий на основание под действием земного притяжения (если физические объекты расположены на Земле).

Массу тела выражают в единицах массы, а вес тела, как и любую другую силу, — в единицах силы. Примеры:

Правильно	Неправильно
Убойная масса телянка, кг Ученик массой 45 кг Жемчуг массой $1,5 \text{ кар}$ Стартовая (взлетная, полетная) масса самолета (ракеты, космического корабля), т Вес тела на Земле равен 30 Н , а на Луне — 5 Н	Убойный вес телянка, кг Ученик весом 45 кг Жемчуг весом $1,5 \text{ кар}$ Стартовый (взлетный, полетный) вес самолета (ракеты, космического корабля), т Вес тела на Земле равен 3 кг , а на Луне — $0,5 \text{ кг}$

Ряд терминов следует связывать с термином «масса», а не с термином «вес», к которому они отношения не имеют. Примеры:

Правильно	Неправильно
Эквивалентная масса, г Массовая концентрация компонента, г/л Массовые доли (в химии) Массовый расход, кг/с	Эквивалентный вес, г Весовая концентрация компонента, г/л Весовые доли (в химии) Весовой расход, кг/с (или кгс/с)

Термины, связанные с термином «весы» и не используемые в качестве наименований физических величин, допускается применять наравне с термином «весы». Примеры: взвешивание, весовщик, весовая категория спортсмена, весовая лаборатория, весовой метод.

2. Грузоподъемность, грузоподъемная (подъемная) сила

Грузоподъемностью транспортного устройства называют максимальную массу груза, который в один прием и в данных условиях способен поднять, переместить, перевезти рассматриваемое транспортное устройство (кран, домкрат, лифт, автомобиль, железнодорожный вагон, конвейер, транспортер и т. п.). Грузоподъемность следует выражать в единицах массы (кг, т и т. д.), а не в единицах силы (Н, кН, МН).

Величину, характеризующую способность транспортного устройства преодолевать при подъеме или перемещении вес груза, следует называть грузоподъемной или подъемной силой и выражать ее в единицах силы. При расчете деталей подъемного устройства (троса и др.) на прочность прежде всего учитывают их грузоподъемную силу.

3. Плотность, удельный вес, удельный объем, относительная плотность

Величину, равную отношению массы тела к его объему, называют плотностью (а не удельным или объемным весом, массовой плотностью или объемной массой).

Дополнительные к термину «плотность» пояснительные слова служат для образования наименований конкретных величин, например: плотность грунта, плотность минеральных частиц грунта, плотность частиц гравия и т. д. Для неоднородных материалов применяют термины «истинная плотность», «средняя плотность», а для материалов, представляющих собой куски различной крупности (уголь, торф, дрова, гравий), — «насыпная плотность».

Удельным весом называют величину, равную отношению веса тела к его объему.

Удельный вес, в отличие от плотности, — величина векторная. Недопустимо путать эти понятия и использовать одно вместо другого.

Удельным объемом называют величину, равную отношению объема тела к его массе, т. е. величину, обратную плотности.

Плотность и удельный объем — параметры вещества, характеризующие его состояние. Удельный вес не является параметром вещества, поскольку его значение зависит от ускорения свободного падения в пункте измерения или определения.

Применяя относительную плотность (см. § 1.3), необходимо указывать, по какому образцовому веществу она определена, чтобы не вызвать недоразумений. Примеры:

Правильно	Неправильно
Плотность керосина равна 800 кг/м ³ (0,8 г/см ³) Плотность воздуха при нормальных физических условиях равна 1,293 кг/м ³ Относительная плотность ртути (по воде) равна 13,6 Относительная плотность нефти (по воде) равна 0,8... 0,98, а природного газа (по воздуху) равна 0,88...1,10 Плотность бетона, кг/м ³	Удельный вес керосина равен 0,8 г/см ³ (0,8 кг/л или 800 кг/м ³) Удельный вес воздуха равен 1,293 кг/м ³ Удельный вес (или объемный вес) ртути равен 13,6 Удельный вес (плотность) нефти равен 0,8...0,98, а природного газа (по воздуху) равен 0,88...1,10 Объемный вес бетона, кг/м ³

4. Линейная и поверхностная плотности

Отношение массы тела к его длине называют линейной плотностью и выражают ее в кг/м, г/м и др., а отношение массы тела к площади его поверхности — поверхностной плотностью и выражают ее в кг/м², г/м² и др.

Не следует вместо терминов «линейная» и «поверхностная» плотности применять термины, содержащие единицу длины или площади. Примеры:

Правильно	Неправильно
Линейная плотность швеллера, кг/м; линейный вес швеллера, Н/м Поверхностная плотность картона, г/м ² ; поверхностный вес картона, мН/м ²	Масса (или вес) 1 м швеллера, кг Масса (или вес) 1 м ² картона, г

5. Давление

Для давления жидкости или газа, находящихся в сосуде или окружающей среде, следует применять не полный термин «абсолютное давление», а **у с е ч е н н ы й д а в л е н и е**.

Когда давление в сосуде меньше давления окружающей среды, то следует применять термин «давление» или «остаточное давление», а не «вакуум».

Для разности давлений в сосуде и в окружающей среде надо использовать термин **и з б ы т о ч н о е д а в л е н и е**, а не «давление», если давление в сосуде превышает давление окружающей среды, и термин **р а з р е ж е н и е**, а не «вакуум», если давление в сосуде меньше давления окружающей среды.

Для давления компонента в смеси следует применять термин **п а р ц и а л ь н о е д а в л е н и е**, а не «упругость».

Нельзя применять термин «удельное давление» вместо термина «давление», поскольку давление представляет собой удельную величину, равную отношению силы к площади поверхности.

Неправильно называть давление **н а п о р о м** (линейной величиной), выражаемым в единицах длины, например, правильно «давление воды 0,3 МПа» и неправильно «напор воды 0,3 МПа»; правильно «напор воды 30 м» и неправильно «давление воды 30 м».

6. Кинематическая и динамическая вязкость, поверхностное натяжение

Вязкость (динамическая, кинематическая) — характеристика текучих тел (жидкостей и газов), определяемая сопротивлением, возникающим при перемещении одной их части относительно другой. **Поверхностное натяжение** — характеристика поверхностного раздела двух фаз (тел). Таким образом, вязкость и поверхностное натяжение являются физическими величинами, а не их коэффициенты. Поэтому к вязкости и поверхностному натяжению не следует прибавлять слово «коэффициент», как излишнее, т. е. не следует говорить «коэффициент вязкости» (динамической, кинематической), «кинематический (или динамический) коэффициент вязкости», «коэффициент поверхностного натяжения».

7. Производительность, подача

Отношение массы, объема производимой продукции, числа выпускаемых машин, деталей машин и других видов производимой предприятием продукции ко времени ее выпуска следует называть **п р о и з в о д и т е л ь н о с т ь ю** машины или предприятия.

Термин «производительность» неприменим для характеристики насосов, компрессоров, вентиляторов, холодильных установок,

водогрейных котлов, транспортеров, конвейеров, поскольку они не выпускают какой-либо продукции. Для насосов, компрессоров, вентиляторов, транспортеров, конвейеров следует использовать термин «подача» (вместо «производительность»), а для водогрейных котлов и холодильных установок — «тепловая мощность» и «холодильная мощность» (вместо «производительность»). Примеры:

Правильно	Неправильно
Подача (объемная) насоса равна 30 л/мин	Производительность (объемная) насоса равна 30 л/мин
Подача (массовая) насоса равна 50 кг/мин	Производительность (массовая) насоса равна 50 кг/мин
Подача компрессора 2000 м ³ /ч	Производительность компрессора 2000 м ³ /ч
Тепловая мощность водогрейного котла 0,2 МВт	Теплопроизводительность водогрейного котла 0,2 МВт
Холодильная мощность установки 3 МВт	Холодопроизводительность установки 3 МВт

§ 2.3. О ПРАВИЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ НАИМЕНОВАНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В РАЗДЕЛЕ «ТЕПЛОТА»

В учении о теплоте следует применять следующие наименования физических величин:

теплота и количество теплоты, удельное количество теплоты и удельная теплота, а не тепло и количество тепла, удельное количество тепла и удельное тепло; энтальпия и удельная энтальпия, а не устаревшие термины «теплосодержание» и «удельное теплосодержание»;

теплопроводность, а не коэффициент теплопроводности (теплопроводность — физическая величина, характеризующая теплопроводящие свойства вещества);

температурные коэффициенты линейного и объемного расширения, давления, электрического сопротивления, а не коэффициенты теплового (термического, температурного) расширения, давления, электрического сопротивления.

Не следует температуру ниже 0 °С называть отрицательной температурой, а выше 0 °С — положительной температурой и сопровождать в последнем случае знаком «+», поскольку «отрицательная» температура, выраженная в градусах Цельсия (°С), будет положительной при ее выражении в кельвинах.

Нельзя говорить о шкале Кельвина, о шкале Цельсия, о стоградусной шкале, о температуре по Кельвину или по Цельсию. В соответствии с положением о Международной практической температурной шкале 1968 г. (МПТШ-68) можно применять только две температурные шкалы — **т е р м о д и н а м и ч е с к у ю**

и Международную практическую 1968 г., градуированные либо в кельвинах (К), либо в градусах Цельсия (см. § 3.8).

Не следует использовать термины «теплотворная способность» «калорийность» для характеристики топлива и пищевых продуктов вместо правильного термина удельная теплота сгорания жидкого и твердого топлива и пищевых продуктов или объемная теплота сгорания для газообразного топлива.

Нельзя использовать термин «точка» вместо «температура» или «температура точки» плавления (кипения и т. д.) Примеры:

Правильно	Неправильно
Объемная теплота сгорания природного газа 33,8 МДж/м ³ Низшая удельная теплота сгорания угля 23,4 МДж/кг Температура тройной точки воды равна 0,01 °С Температура плавления углерода 3550 °С	Теплотворная способность природного газа 8070 ккал/м ³ Низшая калорийность (теплотворность) угля 5500 ккал/кг Тройная точка воды равна 0,01 °С Точка плавления углерода 3550 °С

§ 2.4. О ПРАВИЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ НАИМЕНОВАНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В РАЗДЕЛЕ «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО». РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ УРАВНЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Часто термин «электрический ток» (сокращенно «ток») сопровождают значением, выраженным в амперах (кратных и дольных единицах от ампера), т. е. ошибочно рассматривают электрический ток (ток) в качестве физической величины. В действительности под *электрическим током* (или *током*) следует понимать не физическую величину, а явление направленного движения носителей зарядов и (или) явление изменения электрического поля во времени, сопровождаемое магнитным полем. Поэтому можно говорить о направлении электрического тока, о наличии электрического тока в проводниках, о действиях, производимых током, о способности веществ проводить электрический ток, о носителях тока. Во всех приведенных примерах электрический ток рассматривается как явление, а не как физическая величина.

В качестве физической величины следует применять термин *сила электрического тока* (сокращенно *сила тока*) и выражать ее в амперах, кратных и дольных от ампера (см. § 3.8).

Следует избегать наименований «электросопротивление», «электропроводность», «электроемкость» и применять термины *электрическое сопротивление*, *электрическая проводимость*, *электрическая емкость* или крат-

кую форму *сопротивление*, *проводимость*, *емкость*, если это не вызывает недоразумений.

Часто ошибочно используют термин «электрическая емкость аккумулятора» (или «электроемкость аккумулятора») и выражают емкость в кулонах или ампер-часах. На самом деле единицей электрической емкости является фарад или дольные от фарада. В этом случае правильно говорить об электрическом заряде аккумулятора, выражая его в кулонах, кратных и дольных от кулона. Примеры:

Правильно	Неправильно
Сила электрического тока (сила тока) в цепи равна 1 А Удельное электрическое сопротивление полиэтилена равно 100 ТОм · м (или 10 ¹⁴ Ом · м) Электрический заряд аккумуляторной батареи равен 97 кКл Электрическое сопротивление 0,4 Ом Электрическая проводимость, См	Электрический ток (ток) в цепи равен 1 А Удельное объемное электросопротивление полиэтилена (или удельное электросопротивление полиэтилена) равно 10 ¹⁴ Ом · м Емкость аккумуляторной батареи равна 27 А · ч Электросопротивление (нагрузка) 0,4 Ом Электропроводность, См; электропроводимость, См

В связи с тем, что производные единицы электрических и магнитных величин в Международной системе единиц устанавливаются из уравнений электромагнитного поля, записанных в рационализованной форме, только эти уравнения и следует использовать в школе при изучении электромагнитных явлений, в электротехнике и радиотехнике, и не допускать применения уравнений электромагнитного поля, записанных в нерационализованной форме. Предложение о рационализации уравнений электромагнитного поля было внесено английским физиком О. Хевисайдом (1850—1925).

Под рационализацией (лат. *rationalis* — разумный; *ratio* — разум) уравнений электромагнитного поля понимают преобразование уравнений, записанных в нерационализованной форме, которое приводит к исключению безразмерных коэффициентов 4π и $1/4\pi$ из тех соотношений, в которых наличие этих коэффициентов не оправдано, и введение их в соотношения, где они логически объяснимы. Такое преобразование упрощает наиболее часто употребляемые формулы электромагнетизма.

Например, формула емкости плоского конденсатора в нерационализованной форме содержит множитель $1/4\pi$:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{4\pi d},$$

хотя логически объяснить его присутствие здесь нельзя.

В результате рационализации этого уравнения множитель $1/4\pi$ из формулы емкости плоского конденсатора исчезает и она принимает вид

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}.$$

С другой стороны, уравнение емкости уединенной проводящей сферы (шара) в нерационализованной форме не содержит коэффициента 4π :

$$C = \epsilon_0 \epsilon R.$$

Однако емкость уединенного проводника зависит от его формы. Поэтому присутствие множителя 4π , который может выражать площадь поверхности сферы единичного радиуса, в указанной формуле логически оправдан. А рационализация уравнений приводит эту формулу к виду

$$C = 4\pi \epsilon_0 \epsilon R.$$

Величинами, единицы которых подвергаются рационализации, являются электрическое смещение D (или электрическая индукция B), поток электрического смещения (или поток электрической индукции) ψ , диэлектрическая проницаемость ϵ , магнитная проницаемость μ (и соответственно постоянные ϵ_0 и μ_0), напряженность магнитного поля H , магнитодвижущая сила F_m , магнитная восприимчивость X_m , магнитное сопротивление R_m и магнитная проводимость G_m .

С целью рационализации в уравнениях электромагнитного поля, записанных в нерационализованной форме, приписывают множитель 4π к величинам ϵ , ϵ_0 , D , H , ψ , F и R_m и множитель $1/(4\pi)$ — к величинам μ , μ_0 , X_m и G_m .

Все уравнения электромагнитного поля, не содержащие приведенных величин, следует записывать в рационализованной форме так же, как их записывали в нерационализованной форме. Примеры:

1. Уравнение связи между напряженностью однородного электрического поля и потенциалом:

$$E = (U_1 - U_2)/d. \quad (2.1)$$

2. Уравнение связи между зарядом, емкостью и потенциалом:

$$Q = CU. \quad (2.2)$$

3. Уравнение для мощности электрического тока:

$$P = UI. \quad (2.3)$$

4. Уравнение для магнитного момента контура с током:

$$p_m = IS. \quad (2.4)$$

5. Уравнение закона Ома для участка цепи:

$$I = U/R. \quad (2.5)$$

§ 2.5. О ПРАВИЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ ТЕРМИНОВ В РАЗДЕЛЕ «ОПТИКА»

1. Виды оптического излучения

К оптическому излучению относят излучения с длинами волн монохроматических составляющих 100 нм ... 1 мм. Следует различать три спектральные области оптического излучения: ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную.

Ультрафиолетовым излучением называют излучение, у которого длины волн монохроматических составляющих меньше длин волн видимого излучения (380 ... 400 нм) и больше примерно 1 нм. Международная комиссия по освещению (МКО) различает три спектральные области ультрафиолетового излучения:

УФ — А с длинами волн 315 ... 400 нм;

УФ — В с длинами волн 280 ... 315 нм;

УФ — С с длинами волн 100 ... 280 нм.

Видимым излучением (или светом) называют излучение, которое может непосредственно вызывать зрительное ощущение. Границы спектральной области видимого излучения условны. Обычно считают, что нижняя граница лежит между 380 и 400 нм, а верхняя — между 760 и 780 нм.

Инфракрасным излучением называют излучение, у которого длины волн монохроматических составляющих больше длин волн видимого излучения и меньше примерно 1 мм. МКО различает три спектральные области инфракрасного излучения:

ИК — А с длинами волн 780 ... 1400 нм;

ИК — В с длинами волн 1,4 ... 3,0 мкм;

ИК — С с длинами волн 3,0 мкм ... 1 мм.

2. Видимое и невидимое излучения

Излучение, вызывающее зрительное ощущение, называется видимым излучением, а излучение, которое не может вызывать зрительного ощущения, — невидимым излучением. К нему принадлежат ультрафиолетовое и инфракрасное оптические излучения.

Нельзя применять термины «видимый свет» и «невидимый свет», так как свет является синонимом видимого излучения и поэтому всегда виден. А так называемый «невидимый свет» вообще не является светом, поскольку он невидим и не может вызывать зрительного ощущения. Вместо термина «невидимый свет» следует применять обобщенный термин «невидимое излучение».

3. Наименования величины оптического излучения, основанных на корне «свет» и «луч»

Особое внимание следует обращать на наименование величин в области оптического излучения.

В настоящее время рекомендуется термин «свет» заменять

термином «видимое излучение», а «скорость света» — обобщенным термином «скорость распространения электромагнитных волн» (это наименование распространяется на излучение с любыми длинами волн ($\lambda = 0 \dots \infty$)).

Следует помнить, что только излучения видимой части оптической области спектра, попадая в глаз — один из важнейших приемников лучистой энергии, — способны вызывать световые ощущения. Однако глаза человека неодинаково чувствительны к излучениям различных длин волн видимой части спектра и поэтому по-разному на них реагируют. Самые коротковолновые излучения видимой части спектра вызывают у человека ощущения фиолетового цвета, затем при увеличении длины волны появляются ощущения синего, голубого, желтого, оранжевого и, наконец, красного цвета при наибольшей длине волны. Совокупное действие излучений видимого спектра вызывает у человека ощущение белого цвета.

Терминология оптического излучения рассматривалась в течение ряда лет. Хотя исходными (первичными) величинами являются величины излучения (или лучистые величины), а световые величины — вторичные, характеризующие воздействие лучистых величин на глаз, вначале была разработана терминология видимого излучения. Поэтому большинство наименований величин видимого излучения основано на корне «свет», например, сила света, световой поток, световая энергия, светность (в дальнейшем переименованная в светимость), освещенность, яркость, количество освещения (в дальнейшем замененное на световую экспозицию). Однако для энергии и мощности светового излучения применяли термины «лучистая энергия» (или «энергия излучения») и «лучистый поток» (или «поток излучения»), т. е. термины, основанные на корне «луч».

В тридцатых годах XX столетия появилась необходимость дать наименования величинам оптического излучения, а терминология того времени не располагала необходимым арсеналом нужных терминов. В связи с этим для невидимого излучения были использованы наименования световых величин с добавлением прилагательного «энергетический». Так появились наименования «энергетическая сила света», «энергетическая светимость», «энергетическая освещенность», «энергетическое количество освещения» (в дальнейшем переименованное в энергетическую экспозицию), «энергетическая яркость». Большинство из них, основанные на корне «свет», предназначались для невидимого оптического излучения и к свету отношения не имели. Однако ими пользовались до середины пятидесятых годов XX столетия, пока не были разработаны специальные термины для величин оптического излучения, основанные на корне «луч».

Эти термины следующие: энергия излучения и поток излучения, применявшиеся и ранее, сила излучения (вместо энергетической силы света), излучательность (вместо энергетической

светимости), облученность (вместо энергетической освещенности), лучистая экспозиция (вместо энергетического количества освещения, или энергетической экспозиции), сила излучения (вместо энергетической силы света), лучистость (вместо энергетической яркости). Этими терминами, основанными на корне «луч», и рекомендуется пользоваться для наименований лучистых величин.

4. Черное и белое тела

В соответствии с рекомендацией МКО тепловой излучатель, имеющий при заданной температуре максимальную плотность излучательности (т. е. полностью поглощающий все падающее на него излучение, независимо от длины волны, направления падения и состояния поляризации излучения), следует называть черным телом, полным излучателем или излучателем Планка, а не абсолютно черным телом.

Тело с шероховатой поверхностью, обладающее диффузным отражением, следует называть белым телом, а не абсолютно белым телом.

5. Терминология, рекомендуемая для наименований процессов излучения

Процесс излучения следует называть лучеиспусканием; падения излучения на объект — облучением; возвращения излучения объектом без изменения частот составляющих его монохроматических излучений — отражением; прохождения излучения сквозь среду без изменения частот составляющих его монохроматических излучений — пропусканием; превращения энергии излучения в другую форму энергии в результате взаимодействия с веществом — поглощением; изменения пространственного распределения пучка лучей, отклоняемых во множестве направлений поверхностью или средой без изменения частот составляющих его монохроматических излучений, — рассеянием; изменения направления распространения излучения вследствие изменения скорости его распространения в оптически неоднородной среде или при переходе из одной среды в другую — преломлением.

6. Особенности обозначений лучистых и световых величин

Для отличия лучистых величин от световых, обозначаемых одинаковыми буквами, применяют индексы «e» — для лучистой величины и «v» — для световой. Индексы можно опускать, если это не вызывает недоразумений.

§ 2.6. О ПРАВИЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ НАИМЕНОВАНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ХИМИИ

В школьном курсе химии применяют наименования (и обозначения) специальных физических величин. Важнейшими являются относительная атомная масса, относительная молекулярная масса, количество вещества, молярная масса и молярный объем, массовая, объемная и молярная доли компонента в смеси, растворе и сплаве, массовая и молярная концентрации, массовое, объемное и молярное отношения.

1. Относительная атомная и относительная молекулярная массы, массы атома и молекулы.

Относительная атомная масса элемента равна отношению средней массы атома естественного изотопического состава элемента к $1/12$ массы атома углерода-12 (^{12}C).

Относительная молекулярная масса вещества равна отношению средней массы молекулы естественного изотопического состава вещества к $1/12$ массы атома углерода-12.

Обозначать относительную атомную массу следует через A_r , а относительную молекулярную массу через M_r (индекс «г» от латинского слова *relative*, что означает «относительный»).

Под *массой атома элемента* понимают массу одного атома элемента, равную произведению атомной единицы массы ($1 \text{ а. е. м.} = 1,660 57 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$) на относительную атомную массу элемента.

Под *массой молекулы вещества* понимают массу одной молекулы вещества, равную произведению атомной единицы массы (а. е. м.) на относительную молекулярную массу вещества.

Нельзя использовать вместо стандартизованных терминов «относительная атомная масса» и «относительная молекулярная масса» усеченные (краткие) термины «атомная масса» и «молекулярная масса». Последние могут восприниматься как «масса атома» и «масса молекулы», т. е. как размерные величины.

Недопустимо применять термины «относительный атомный вес», «атомный вес», «относительный молекулярный вес» и «молекулярный вес» вместо указанных стандартизованных терминов. Аналогично следует искоренять бытующий в химии термин «вес» (вместо массы) и связанные с ним термины «весовая доля», «весовая концентрация», «закон сохранения веса», «эквивалентный вес», «весовое отношение», «весовое количество вещества» и т. п., применяемые вместо терминов «массовая доля», «массовая концентрация», «закон сохранения массы», «эквивалентная масса», «массовое отношение», «масса вещества» и т. п.

2. Количество вещества системы

Количеством вещества системы называется физическая величина, определяемая числом структурных элементов (атомов, молекул, ионов, электронов и других частиц или специфицированных групп частиц), содержащихся в системе.

Под *системой* (греч. *sýstēma* — соединение, составленное из частей) понимают множество элементов, определенным образом связанных друг с другом и образующих единство, целостность.

Системы, рассматриваемые в химии, могут состоять из одного вещества, например из одинаковых атомов или молекул (атомарный водород, молекулярный кислород) или из нескольких веществ (растворы, сплавы).

Вместо обобщенного выражения «количество вещества системы» можно использовать конкретные выражения «количество вещества кальция», «количество вещества соляной кислоты» и т. п., применяя конкретное наименование системы (кальций, соляная кислота и т. п.) вместо слова «система».

Не следует допускать применения термина «количество» вместо терминов «количество вещества», «масса», «объем». Примеры:

Правильно	Неправильно
Количество вещества соли 2 моль Масса воды 5 г Объем масла 3,2 л	Соль количеством 2 моль Количество воды 5 г Количество масла 3,2 л

Не следует в термине «количество вещества» переставлять слова, разрывая его на две части «количество» и «вещество» или опускать слово «вещество». Примеры:

Правильно	Неправильно
Количество вещества 5 моль	Вещество количеством 5 моль Количество 5 моль вещества Количество 5 моль

Нельзя применять сочетания «масса количеством...», «объемное количество», «объем количеством».

Недопустимо вводить единицу физической величины в наименования терминов и писать «число молей кислоты» или «количество молей кислоты», «количество или число литров азота» вместо «количество вещества кислоты, моль», «объем азота, л».

Недопустимо отождествление терминов «масса» и «количество вещества» — наименований двух основных, а следовательно, независимых друг от друга величин.

3. Прилагательное «молярный»

Для выражения отношения какой-либо величины (массы, объема, теплоемкости, энтальпии, внутренней энергии, теплового эффекта химической реакции и т. п.) к количеству вещества системы следует применять стандартизованное прилагательное «молярный», а не «мольный», например: молярная масса, молярный объем, молярная теплоемкость и т. д. (аналогично тому, как для отношения какой-либо величины к массе или к объему применяют (соответственно) прилагательные «удельный» или «объемный»)

4. Доля компонента

Величины, представляющие собой отношения массы, объема и количества вещества компонента смеси, сплава к массе, объему и количеству вещества всей смеси, всего сплава (соответственно), следует называть массовой, объемной, молярной долей компонента (соответственно) и выражать их в единицах относительных величин — 1 (единица), % (процент), ‰ (промилле) и млн⁻¹ (миллионная доля).

Долю — безразмерную относительную величину — ни в коем случае нельзя называть концентрацией (массовой, объемной, молярной).

5. Термин «отношение»

Для безразмерного отношения массы, объема или количества вещества компонента к массе, объему или количеству вещества (соответственно) остальной части смеси, раствора, сплава следует применять стандартизованный термин «отношение» (массовое, объемное, молярное). Такое отношение не следует именовать ни долей, ни концентрацией.

Термин «отношение» используют и в тех случаях, когда речь идет об отношении двух разных величин. Например, массовое отношение расхода воздуха к расходу топлива.

6. Концентрация

В химии «концентрация» применяется для двух размерных величин — *массовой* и *молярной концентраций*.

Молярная концентрация — физическая величина, равная отношению массы компонента ко всему объему смеси, раствора, сплава.

Молярная концентрация — физическая величина, равная отношению количества вещества компонента ко всему объему смеси, раствора, компонента.

Нередко ошибочно применяют:

1. Долевую концентрацию по массе, весовую долевую концентрацию, процентную концентрацию по массе. Под этими ве-

личинами понимают *безразмерное отношение массы компонента В ко всей массе системы* (смеси, раствора, сплава). Это безразмерное отношение следует называть *массовой долей* компонента В и обозначать w_B .

2. Долевую объемную концентрацию, процентную объемную концентрацию, под которыми понимают *безразмерное отношение объема компонента В ко всему объему системы* (смеси, раствора, сплава). Это безразмерное отношение следует называть *объемной долей* компонента В и обозначать v_B .

3. Долевую атомную (или мольную) концентрацию, мольную долю, под которыми понимают *безразмерное отношение количества вещества компонента В к количеству вещества системы*. Это отношение следует называть *молярной долей* компонента В и обозначать x_B .

4. Мольно-объемную концентрацию (молярность) для растворов, под которой понимают *отношение количества вещества растворенного компонента В к объему раствора*. Это размерное отношение следует называть *молярной концентрацией*, не допуская применения параллельного термина «молярность».

Молярная концентрация компонента В обозначается c_B . Единица СИ — моль на кубический метр (моль/м³). Используют кратную единицу моль на литр (1 моль/л = 10³ моль/м³). Записывают молярную концентрацию так: $c(\text{HCl}) = 0,2$ моль/л; $c(\text{CH}_4) = 15$ моль/л.

Не рекомендуется вместо записи $c(\text{HCl}) = 0,2$ моль/л применять запись «0,2 молярная соляная кислота» или «соляная кислота 0,2 М».

5. Мольно-массовую концентрацию (для растворов), под которой понимают *отношение количества вещества растворенного компонента В к массе растворителя*. Это размерное отношение следует называть *моляльностью* раствора и обозначать b (запасное обозначение m). Единица СИ — моль на килограмм (моль/кг). Используют кратную единицу моль на грамм (моль/г). Записывают моляльность раствора так: $b(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}) = 0,1$ моль/кг; $b(\text{нафталин/бензол}) = 0,05$ моль/кг.

Не следует вместо записи $b(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}) = 0,1$ моль/кг применять запись: «0,1 моляльная серная кислота».

6. Массово-объемную концентрацию, под которой понимают *отношение массы компонента В к объему системы* (смеси, раствора, сплава). Это размерное отношение следует называть *массовой концентрацией* компонента В и обозначать ρ_B . Единица массовой концентрации СИ — килограмм на кубический метр (кг/м³); в химии используют единицу грамм на литр (1 г/л = 1 кг/м³).

7. Эквивалентную концентрацию (для растворов) или нормальность, под которой понимают *отношение эквивалентного количества вещества растворенного компонента к объему раствора*.

Это размерное отношение следует называть эквивалентной молярной концентрацией и обозначать $c_{в,эф}$; единица СИ — моль на кубический метр (моль/м³). В химии используют кратную единицу моль на литр (моль/л).

Ниже изложены примеры правильного и неправильного применения наименований величин в химии. Примеры:

Правильно	Неправильно
<p>Количество вещества молекулярно-кислорода</p> <p>Массовая доля углерода в стали 2,5% (или 0,025)</p> <p>Массовая концентрация сухого остатка в воде 200 мг/л</p> <p>Различные газы с одним и тем же количеством вещества занимают одинаковый объем</p> <p>Массовая доля сухого остатка в воде 0,1% или 1‰</p> <p>Объемная доля кислорода в воздухе составляет 20,9%</p> <p>Молярная доля азота в воздухе составляет 77,3%</p> <p>Отношение количества вещества соли к массе воды (или молярность раствора) равно 0,2 моль/кг</p> <p>Массовое отношение расходуемого воздуха к сжигаемому мазуту равно 15</p> <p>Объемное (или молярное) отношение воздуха к сжигаемому природному газу равно 12,5</p> <p>Какое количество вещества хлорида железа (II) требуется получить?</p>	<p>Количество вещества молекул кислорода</p> <p>Содержание углерода в стали 2,5%, концентрация углерода в стали 2,5%</p> <p>Сухой остаток в воде 20 мг/100 мл</p> <p>Моли разных газов занимают одинаковый объем (моль — единица и не может занимать объема)</p> <p>Концентрация сухого остатка в воде 10 мг на 100 г</p> <p>Объемная концентрация кислорода в воздухе составляет 20,9%</p> <p>Молярная концентрация азота в воздухе составляет 77,3%</p> <p>Концентрация соли в растворе составляет 0,02 моль соли на 1 кг воды (0,2 моль/кг)</p> <p>Расход воздуха на сжигание мазута составляет 15 кг на 1 кг мазута</p> <p>Расход воздуха на сжигание природного газа равен 1,25 м³ на 1 м³ газа</p> <p>Сколько молей хлорида железа (II) требуется получить?</p>

§ 2.7. ОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В определениях физических величин рекомендуется применять слово «равен». Это означает, что указанное определение не является единственным.

Определения физических величин формулируют так:

1. Плотность однородного вещества — физическая величина, равная отношению его массы к объему:

$$\rho = m/V. \quad (2.6)$$

2. Плотность газа — физическая величина, равная произведению массы молекулы газа на объемную концентрацию молекул:

$$\rho = mn. \quad (2.7)$$

3. Путь, пройденный равномерно движущейся точкой, — физическая величина, равная произведению скорости точки на время движения:

$$s = vt. \quad (2.8)$$

4. Удельное электрическое сопротивление однородного цилиндрического проводника — физическая величина, равная отношению произведения электрического сопротивления проводника на его площадь поперечного сечения к длине проводника:

$$\rho = RS/l. \quad (2.9)$$

5. Удельная теплоемкость вещества — физическая величина, равная отношению теплоемкости вещества к его массе:

$$c = C/m. \quad (2.10)$$

6. Площадь — физическая величина, равная для квадрата произведению сторон квадрата или равная для треугольника произведению основания на половину высоты треугольника:

$$S = a^2, S = \frac{1}{2} ah. \quad (2.11)$$

Неприемлемы такие определения, которые содержат единицы или обозначения физических величин, например:

1. Плотность однородного тела определяется массой единицы объема или плотность однородного тела численно равна массе 1 м³ этого тела (для формулы (2.6)).

2. Плотность газа равна произведению массы молекулы на число молекул в единице объема (для формулы (2.7)).

3. Единичный путь, пройденный точкой, равен произведению единичной скорости на единичный промежуток времени (для формулы (2.8)).

4. Удельное электрическое сопротивление однородного цилиндрического проводника равно его сопротивлению при единичной длине и единичной площади поперечного сечения (для формулы (2.9)).

Указанное определение не следует давать по двум причинам: во-первых, удельное электрическое сопротивление и электрическое сопротивление — разные физические величины и нельзя писать: «Удельное электрическое сопротивление равно электрическому сопротивлению...»; во-вторых, неоднозначны термины «единичная длина» и «единичная площадь поперечного сечения», поскольку любая длина (1 м, 1 см, 1 фут, 1 дюйм, 1 Å и т. д.) и любая площадь (1 м², 1 см², 1 фут², 1 га и т. д.) могут быть приняты в качестве единичной длины и единичной площади (соответственно).

Недопустимо такое определение: «Удельной теплоемкостью вещества c называют величину, равную количеству теплоты Q , которое необходимо сообщить 1 кг вещества, чтобы увеличить его температуру на 1 °С». Во-первых, удельная теплоемкость не может равняться количеству теплоты (это разные величины); во-вторых, определение физической величины не зависит от единиц, в которых выражены величины; в-третьих, введение в определение обозначений величин усложнило его.

Однако, кроме определений величин, следующих из формул связи между физическими величинами, полезно учащимся давать дополнительные пояснения, которые способствуют усвоению физического смысла величины. Например, для лучшего восприятия определения скорости можно пояснить, что если точка, двигаясь равномерно, проходит в 1 с путь, равный 1 м, то ее скорость равна 1 м/с. Но не следует такое пояснение называть определением скорости.

§ 2.8. О ПРИМЕНЕНИИ БУКВЕННЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ИНДЕКСАЦИИ

Буквенные обозначения физических величин, представляющие собой условные обозначения понятий, должны быть по возможности краткими, простыми для запоминания, легко изображаемыми и едиными для всех дисциплин, изучаемых в школе.

Как правило, для каждой физической величины следует применять одно (основное) буквенное обозначение. Однако допускается использовать дополнительные и запасные обозначения (приводимые в таблицах, как правило, в скобках, см. приложение II.1) в тех случаях, когда в одном тексте встречаются разные физические величины, обозначаемые одинаковыми буквами. В отдельных случаях можно использовать строчные буквы вместо прописных и прописные вместо строчных (когда прописные или строчные буквы уже применены и когда указанная замена не вызывает недоразумений).

Наибольшее распространение для обозначений физических величин получил латинский алфавит, ограниченное (для специальных понятий) — греческий алфавит, весьма редко применяется готический алфавит, в отдельных случаях (главным образом в экономической литературе) — русский алфавит.

Буквы латинского алфавита печатают, согласно международным соглашениям, курсивным (наклонным) шрифтом, буквы греческого и немецкого готического алфавитов — прямым шрифтом.

Некоторые обозначения физических и математических величин печатают буквами латинского алфавита в прямом начертании:

а) тригонометрические, обратные круговые функции, например: \cos , \sin , \arcsin ;

б) условные математические сокращения, например: \max , \min , \cot , const , idem , \lim , Lim , \lg , \ln , \log ;

в) химические элементы и соединения, например: Cl , Fe , H_2 , C_2H_6 , H_2SO_4 , C_mH_n .

Векторные величины обозначают буквами латинского алфавита в полужирном наклонном начертании (преимущественно), например \vec{A} , \vec{a} .

В учебниках для средней школы для обозначения векторных

величин применяют стрелку или черточку над буквенным обозначением вектора, например \vec{A} , \vec{a} (преимущественно), \vec{A} , \vec{a} , поскольку учащимся трудно изображать полужирное обозначение вектора и отличать таким образом его от скалярной величины.

Расчленение общего понятия на частные достигается применением: 1) самостоятельных буквенных обозначений, например при обозначении составляющих сил и равнодействующей силы (P , Q , R , G); 2) индексации, т. е. применением индексов у одних и тех же буквенных обозначений, например: ρ — для плотности; ρ_l — линейной плотности; ρ_s — поверхностной плотности.

Индексы, как правило, располагают справа внизу у основания буквенного обозначения величины; при этом не рекомендуется использовать для индекса более трех букв.

В качестве нижних индексов справа применяют: а) буквы латинского или греческого алфавита во всех тех случаях, когда эти индексы стандартизованы в международном масштабе; б) арабские (преимущественно) или римские цифры для обозначения порядковых номеров; в) буквенные обозначения коэффициентов, входящих в состав химических формул, а также арабские цифры, обозначающие число атомов в молекуле, например: CH_4 , N_2 , C_7H_{16} ; $\text{C}_m\text{H}_{2(m+n)+2}$; г) строчные (в отдельных случаях прописные) буквы русского алфавита в случаях, когда отсутствуют стандартизованные международные индексы, например: η_A — коэффициент полезного действия антенны; P_v — мощность возбуждения.

В качестве нижнего индекса слева применяют без скобок атомный (порядковый) номер химического элемента, например: ${}^6\text{C}$, ${}_{36}\text{Kr}$, ${}_{26}\text{Fe}$, т. е. углерод с порядковым номером 6, криптон с порядковым номером 36, железо с порядковым номером 26.

В качестве верхних индексов слева применяют без скобок массовые числа изотопов (числа нуклонов), например: ${}^{14}\text{N}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{86}\text{Kr}$.

Верхние индексы справа при необходимости используют для обозначения степени ионизации, например: Ca^{2+} , PO_4^{3-} ; возбужденного состояния, например: ${}^{110}\text{Ag}^m$, He^* ; степени окисления (римскими цифрами), например: Pb^{II} , $\text{Pb}^{\text{IV}}\text{O}_4$.

В качестве верхних индексов справа применяют показатели степени и штрихи.

Допускается применение специальных знаков (точки, стрелки, линейки, тильды, дуги и др.) над буквенными обозначениями (и когда это необходимо, правее или левее их), например:

\dot{D} , \bar{Q} , \bar{q} , \tilde{D} , \tilde{D} , $\overset{\sim}{AB}$.

Для обозначения античастицы используют метку в виде черты или тильды («~») над символом элементарной частицы.

Заряд частицы указывают добавлением верхнего индекса справа (например, π^+ , π^- , π^0 , p^+ , p^- , e^+ , e^- , где π — обозначение пиона, p — протона, e — электрона). Если символы p и e при-

меняются без обозначения зарядового состояния, то они соответственно характеризуют положительно заряженный протон и отрицательно заряженный электрон.

Допускается сочетание простых индексов, состоящих

а) из нескольких чисел в цифровой форме, отделяемых запятой, например $a_{1,2,3...}$ — коэффициент для тел 1, 2, 3...;

б) из десятичной дроби и сокращения слова (или из буквы); после десятичной дроби ставят точку с запятой, например $\sigma_{2,5\%}$;

в) из двух-трех сокращенных русских слов, отделяемых друг от друга точками; после последнего сокращения точки не ставят, например $\Delta_{\text{от. доп. п}}$ — относительная допускаемая погрешность;

г) из цифры, буквы латинского или греческого алфавита и сокращения русского слова (цифры не отделяют от буквы или сокращения знаками препинания), например $I_{1\text{sin}}$ — сила первого синусоидного тока.

Буквы латинского алфавита, используемые в индексах, печатают:

а) курсивным шрифтом, если они являются обозначениями величин или порядковым номером, например: C_p — теплоемкость при постоянном давлении p ; F_x — x — составляющая силы; a_n — коэффициент с $n = 1, 2, 3...$;

б) в остальных случаях прямым шрифтом, например: A_r — относительная атомная масса; M_r — относительная молекулярная масса; N_A — постоянная Авогадро; m_p — масса протона.

Буквы русского алфавита, используемые в индексах, набирают прямым шрифтом.

В приложении II приведены буквенные обозначения физических величин, рекомендуемые Международной организацией стандартизации (ИСО) и Международным союзом чистой и прикладной физики [9].

ГЛАВА 3.

ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

§ 3.1. ДОМЕТРИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В истории развития единиц физических величин различают три основных периода: применение наборов субъективных и объективных единиц; применение наборов сопряженных единиц и применение систем единиц.

Самым древним является первый период набора субъективных единиц длины, отождествлявшихся, в частности, с названиями частей человеческого тела. Так, в качестве единиц длины применяли дюйм (длина сустава большого пальца), ладонь (ширина четырех пальцев без большого), малую пядь (расстояние между концами расставленных большого и среднего пальцев), большую пядь (расстояние между концами большого и

мизинца), фут (длина ступни), аршин или локоть (длина локтя), шаг и др.

В качестве субъективных единиц площади применялись колодец (площадь, которую можно полить из одного колодца), соха или плуг у славян (средняя площадь, обработанная за день сохой или плугом), морген у немцев (площадь, пропаханная за утро) и др.

Для установления большей определенности в XIV—XVI вв. субъективные единицы были заменены набором объективных единиц. Так, например, в XIV в. в Англии были установлены законный дюйм, представлявший длину трех приставленных друг к другу ячменных зерен, фут, представлявший ширину 64 ячменных зерен, положенных бок о бок, ярд, равный, по преданию, расстоянию от середины носа английского короля Генриха I до среднего пальца вытянутой руки.

В качестве единиц массы были введены гран (масса зерна) и карат (масса семени одного из видов бобов).

Второй период развития единиц физических величин, в отличие от первого, характеризуется применением сопряженных единиц, т. е. единиц, которые находятся во взаимной связи. Например, в качестве единиц длины использовали милю, ярд, фут, дюйм; при этом миля содержала 1760 ярдов, ярд — 3 фута, фут — 12 дюймов.

Необходимо отметить, что почти во всех европейских странах в XVII и XVIII вв. царил хаос в области применяемых мер и соответствующих единиц. Свои особые меры длины, площади, массы применяли не только разные государства, но и отдельные области внутри одного и того же государства. В Европе использовали около полусотни миль — единиц длины различного размера — и более 120 различных фунтов — мер массы.

Особый разноречивый наблюдался в конце XVIII в. во Франции накануне Великой французской революции; каждый феодал имел право в пределах своих владений устанавливать свои меры.

Множественность и разнообразие мер в Европе мешали развитию торговых связей и промышленности, а также прогрессу естественных и технических наук. Однако только в конце XVIII в. во Франции была предложена метрическая система мер, послужившая основой для международной унификации единиц длины, массы и важнейших производных единиц площади, объема, вместимости и плотности.

§ 3.2. МЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МЕР. МЕТРИЧЕСКАЯ КОНВЕНЦИЯ

В 1789 г. крупные торговые центры Франции обратились к французскому правительству с просьбой установить единые меры для всей страны. 8 мая 1790 г. Национальное собрание Франции приняло декрет о реформе мер. Парижская академия

наук по предложению крупнейшего математика и механика Ж. Лагранжа (1736—1813) рекомендовала установить десятичное подразделение кратных и дольных единиц и по предложению крупнейших французских ученых (Ж. Борда, Ж. Кондорсе, П. Лапласа, Г. Монжа и др.) принять одну сорокамиллионную часть длины Парижского земного меридиана в качестве единицы длины.

На основе этой единицы длины, названной метром (франц. mètre от греч. μέτρον — мера), и была построена система мер, получившая наименование метрической системы мер.

Рекомендации Парижской академии наук были утверждены Национальным собранием Франции 26 марта 1791 г. Декрет о новых мерах и весах был принят Конвентом Франции 7 апреля 1795 г.

В соответствии с этим декретом были установлены основная мера длины метр как одна десятиллионная часть четверти Парижского меридиана и производные меры (и единицы): ар — площадь квадрата, длина стороны которого равна 10 м; стер — объем дров, равный 1 м³; литр — объем и вместимость жидкостей и сыпучих тел, равный объему куба с длиной ребра 0,1 м; грамм — масса чистой воды, занимающей объем куба с длиной ребра 0,01 м.

Были введены десятичные кратные и дольные единицы, образуемые с помощью приставок: мириа (10⁴), кило (10³), гекто (10²), дека (10¹), деци (10⁻¹), санти (10⁻²) и милли (10⁻³).

Работы по определению размера метра измерениями длины дуги Парижского меридиана от Дюнкерка до Барселоны, начатые в 1792 г., были закончены к 1798 г. В 1799 г. были изготовлены платиновые прототипы метра и килограмма, переданные на хранение Национальному архиву Франции, в связи с чем они получили наименования «архивный метр» и «архивный килограмм».

Однако привычка использовать старые меры представляла психологический барьер и препятствовала быстрому и успешному внедрению метрической системы мер, и только в 1832 г. эту систему стали в обязательном порядке применять во Франции.

Со второй половины XIX в. метрическая система мер получила признание во многих странах Европы, Азии, Америки в качестве международной системы мер. Этому способствовали русские ученые (академики О. В. Струве, Б. С. Якоби), выступавшие от имени Российской академии наук.

В 1872 г. Международная комиссия по прототипам метрической системы приняла решение о создании платино-иридиевых прототипов метра и килограмма, а 20 мая 1875 г. в Париже 17 государств подписали Метрическую конвенцию «для обеспечения международного единства измерений и усовершенствования метрической системы мер». В число этих государств входили

Австро-Венгрия, Германия, Италия, Россия, США, Франция и др.

К столетию Метрической конвенции (1975) ее подписали и подтвердили присоединение к ней 43 государства мира, в том числе Великобритания, Канада, США, Франция, СССР и другие страны — члены СЭВ.

В России метрическая система мер была допущена для факультативного применения (наравне с русскими национальными мерами) законом от 4 июня 1899 г. Проект этого закона был разработан великим русским ученым Д. И. Менделеевым.

Затем декретом СНК РСФСР от 14 сентября 1918 г. был установлен полный переход в РСФСР на метрическую систему мер, начавшийся 1 января 1919 г. и закончившийся 1 января 1927 г. В соответствии с этим декретом были изъяты из применения и запрещены к использованию русские национальные меры (см. приложение II.3). Постановлением СНК СССР от 21 июля 1925 г. Метрическая конвенция была признана как имеющая силу и для Советского Союза.

Метрическая конвенция 1875 г., несколько измененная соглашением, подписанным в Севре в октябре 1921 г., предусматривала основание и содержание на общие средства Международного бюро мер и весов (МБМВ) — первого в мире научно-исследовательского учреждения, существующего на взносы стран, подписавших конвенцию, и ведущего исследования по совместно вырабатываемым программам.

Международное бюро мер и весов действует под руководством Международного комитета мер и весов (МКМВ), который, в свою очередь, подчиняется Генеральной конференции по мерам и весам.

Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) созывается Международным комитетом мер и весов в Париже не реже одного раза в шесть лет. Задача ГКМВ — обсуждение и предложение мероприятий, необходимых для распространения и усовершенствования метрической системы, а также утверждения новых основных метрологических определений, произведенных между ее сессиями.

Велика роль Метрической конвенции и в первую очередь в расширении и укреплении сотрудничества по унификации единиц на основе метрической системы мер, а также в развитии торговли, промышленности и культурного обмена между странами.

К 1983 г. состоялись 17 Генеральных конференций по мерам и весам: I ГКМВ — в 1889 г., XVII ГКМВ — в октябре 1983 г.

Международный комитет мер и весов образовал семь специализированных консультативных комитетов: по электричеству (ККЭ), по фотометрии и радиометрии (ККФР), по термометрии (ККТ), по определению метра (ККОМ), по определению секунды (ККОС), по эталонам для измерений ионизирующих

излучений (ККЭИИ), по единицам (ККЕ). Эти консультативные комитеты проводят огромную работу по метрологии.

Столетие Метрической конвенции весь мир отметил (в мае 1975 г.) как важнейшую дату в деле международной унификации измерений с недостижимыми ранее точностями и по созданию и распространению во всех странах мира Международной системы единиц (СИ).

С современной точки зрения единицы метрической системы мер не образовали систему единиц, они представляли собой совокупность сопряженных единиц, основанную на метре и килограмме и десятичным подразделении кратных и дольных единиц.

Метрическая система мер, кроме того, не охватывала тепловых, световых, электрических и магнитных величин в то время, как в первой половине XIX в. появилась потребность в единицах этих величин в связи с развитием учений о теплоте, свете, электричестве и магнетизме.

§ 3.3. СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ СГС

Первой правильно построенной когерентной системой единиц являлась «абсолютная система единиц», предложенная в 1832 г. крупнейшим немецким математиком К. Гауссом (1777—1855) в работе «Напряжение земной магнитной силы, приведенное к абсолютной мере». В этой работе Гаусс впервые ввел понятие о системе единиц физических величин, состоящей из основных и производных единиц, и разработал методiku построения такой системы. В качестве основных единиц им были предложены м и л л и м е т р (единица длины), м и л л и г р а м м (единица массы) и с е к у н д а (единица времени). Все остальные единицы — производные единицы — устанавливались с помощью уравнений связи между величинами.

Вначале Гаусс по выведенной им формуле для земного магнетизма выразил напряженность магнитного поля через основные единицы длины, массы и времени, а затем и остальные единицы магнитных величин через указанные основные единицы — миллиметр, миллиграмм и секунду. При этом он указал, что таким же образом можно выразить единицы электрических величин. Это и сделал в 1851 г. немецкий физик В. Вебер (1804—1891), выразив через основные единицы силу тока, электродвижущую силу и электрическое сопротивление.

В 1881 г. Первый международный конгресс электриков принял систему единиц CGS (в русской транскрипции СГС) для механических, электрических и магнитных величин по принципу, предложенному Гауссом. Конгресс установил три основные единицы системы: с а н т и м е т р, г р а м м, с е к у н д а, ввел специальные наименования: д и н а для единицы силы ($1 \text{ г} \cdot \text{см}/\text{с}^2 = 1 \text{ дин}$) и э р г для единицы энергии ($1 \text{ г} \cdot \text{см}^2/\text{с}^2 = 1 \text{ дин} \cdot \text{см} = 1 \text{ эрг}$) и принял для электродинамики две системы СГС:

электромагнитную (CGSM; СГСМ) и электростатическую (CGSE; СГСЭ).

В основу построения электромагнитной системы единиц был положен закон Кулона для магнитных зарядов (в то время понятия о магнитных зарядах применяли по аналогии с электрическими зарядами). Магнитная проницаемость вакуума принималась равной безразмерной единице ($\mu_0 = 1$). Все единицы системы СГСМ определяли по единице силы тока. Конгресс предложил специальные наименования:

а) для магнитного потока — м а к с в е л л (Mx; Mкс), в честь Дж. Максвелла (1831—1879) — английского физика, создателя классической электродинамики, одного из основателей статистической физики;

б) для магнитной индукции — г а у с с (Gs; Гс), в честь К. Гаусса;

в) для напряженности магнитного поля — э р с т е д (Oe; Э), в честь датского физика Х. Эрстеда (1777—1851), установившего связи между электрическими и магнитными явлениями в опытах по отклонению магнитной стрелки под действием проводника с током;

г) для магнитодвижущей силы — г и л ь б е р т (Gb; Гб), в честь английского физика У. Гильберта (1544—1603), разработавшего первую теорию магнитных явлений.

Электрические единицы системы СГСМ не получили специальных наименований.

В основу построения электростатической системы единиц был положен закон Кулона для электрических зарядов. Электрическая проницаемость вакуума принималась равной безразмерной единице ($\epsilon_0 = 1$). Все единицы системы СГСЭ определяли по единице количества электричества (электрического заряда). Единицам системы СГСЭ не были присвоены специальные наименования, размер их оказался неудобным для практического применения, и их использовали главным образом в теоретических работах по физике.

Со второй половины XX в. наибольшее распространение в физической литературе получила так называемая симметричная система единиц СГС, или гауссова система единиц СГС, которая объединяла две системы — СГСЭ и СГСМ. В этой системе все электрические единицы совпадают с электрическими единицами системы СГСЭ, а магнитные — с магнитными единицами системы СГСМ; $\epsilon_0 = 1$ и $\mu_0 = 1$.

Кроме приведенных трех систем единиц электрических и магнитных величин, были введены еще четыре системы единиц: CGS ϵ_0 , CGS μ_0 , CGSF и CGSB (в русской транскрипции СГС ϵ_0 , СГС μ_0 , СГСФ и СГСБ).

Системы СГС ϵ_0 и СГС μ_0 имели, кроме трех основных единиц (сантиметр, грамм, секунда), четвертую основную единицу. Система СГС ϵ_0 — диэлектрическую проницаемость вакуума ϵ_0

($\epsilon_0 = 1$), а система СГС μ_0 — магнитную проницаемость вакуума μ_0 ($\mu_0 = 1$).

Единицы этих систем определяют так же, как и в системах СГСЭ и СГСМ, но размерности ряда единиц однородных величин оказываются различными, поскольку в них входит четвертая единица ϵ_0 и μ_0 (соответственно). Введение этих двух систем единиц дало возможность избежать совпадения размерностей единиц разных по природе величин.

В системе единиц СГСФ четвертой основной единицей был франклин — электростатическая единица электрического заряда, а в системе единиц СГСБ — био — электромагнитная единица силы электрического тока. Обе эти системы, принятые в 1951 г. Международным союзом чистой и прикладной физики, построены аналогично системе единиц МКСА. Это давало возможность легко переходить с помощью пересчетных коэффициентов от единиц системы СГСФ или СГСБ к единицам системы МКСА.

Таким образом, в области электромагнетизма применяли одновременно семь систем единиц, что вызывало большие неудобства. Преимущественно использовалась симметричная система единиц СГС, допущенная в 1956 г. к применению Государственным стандартом СССР (ГОСТ 8033—56 «Электрические и магнитные единицы») наряду с системой единиц МКСА.

§ 3.4. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ НА СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ В СССР, ОТМЕНЕННЫЕ С 1 ЯНВАРЯ 1980 г.

Исторически метрическая система мер развивалась по отраслевому принципу: в каждой отрасли знания выбирали удобные для нее единицы и системы единиц.

Для механических величин ГОСТ 7664—55 «Механические единицы», замененный в 1961 г. на ГОСТ 7664—61, предусматривал применение трех систем единиц: МКС, СГС, МКГСС — и несколько внесистемных единиц.

Система единиц механических величин МКС, предназначенная для преимущественного применения и предложенная итальянским электротехником и физиком Дж. Джорджи в 1901 г., имела три основные единицы: метр, килограмм и секунду. Она вошла в качестве составной части в Международную систему единиц для механических измерений.

Система единиц механических величин СГС имела три основные единицы: сантиметр, грамм и секунду.

Обе системы единиц для механических величин (МКС и СГС) охватывают систему величин *lmt* (длина — масса — время). Размерности однородных величин в этих системах одни и те же, а размеры единиц системы МКС в 10^n раз больше единиц соответствующих величин системы СГС. Так, например, $1\text{ м} = 10^2\text{ см}$; $1\text{ кг} = 10^3\text{ г}$; $1\text{ Н} = 10^5\text{ дин}$; $1\text{ Дж} = 10^7\text{ эрг}$.

Система единиц механических величин МКГСС, впервые предложенная в начале XX в. и часто называемая технической системой единиц, имела три основные единицы: метр для длины, килограмм-силу для силы и секунду для времени. Выбор килограмма-силы в качестве основной единицы системы привел к широкому использованию некоторых единиц системы МКГСС в технике, в первую очередь в механике (килограмм-сила для силы и веса; килограмм-сила на квадратный метр для давления и механического напряжения; килограмм-сила-метр для работы и момента силы).

Однако для практики оказались неудобны такие единицы, как единица массы килограмм-сила-секунда в квадрате на метр ($\text{кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}$), называемая технической единицей массы (т. е. м.), или инертной, и единица плотности килограмм-сила-секунда в квадрате на метр в четвертой степени ($\text{кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$). Неудобны также их соотношения с широко применяемыми на практике единицами массы и плотности ($1\text{ т. е. м.} = 9,80665\text{ кг}$, $1\text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4 = 9,80665\text{ кг}/\text{м}^3$). Кроме указанных недостатков системы МКГСС, можно привести и ряд других: несогласованность между единицами системы и практическими единицами электрических и магнитных величин; отсутствие эталона килограмма-силы; значительные погрешности воспроизведения единицы силы (значительно больше, чем при воспроизведении единицы массы); образование производных величин с участием веса вместо массы (что приводило к частому смешению понятий массы и веса); ошибочное использование на практике обозначения кг вместо кгс и др.

Указанные недостатки системы МКГСС привели к тому, что на XI ГКМВ в 1960 г. было принято решение о категорическом отказе от системы МКГСС.

ГОСТ 7664—61 допускал к применению, кроме трех указанных систем единиц (МКС, СГС, МКГСС), группу внесистемных механических единиц (микрон, ангстрем; тонна, центнер, карат; час, минута; угловые градус, минута и секунда; ар и гектар; литр; оборот; оборот в минуту, оборот в секунду; тонна-сила; лошадиная сила, ватт-час; техническая атмосфера, бар, миллиметр ртутного столба, миллиметр водяного столба).

Введенная во Франции в 1919 г. и применявшаяся в СССР в 1927—1933 гг. система единиц механических величин МТС с основными единицами метр, тонна, секунда была отменена во Франции в 1961 г. и в СССР в 1955 г.

Для измерений электрических и магнитных величин ГОСТ 8033—56 «Электрические и магнитные единицы» допускал к применению две системы единиц — МКСА и СГС (симметричная) и внесистемную единицу — электрон-вольт, а также две кратные единицы — килоэлектрон-вольт и мегаэлектрон-вольт.

Система единиц МКСА, предусматривавшая единицы электрических и магнитных величин для рационализованной формы урав-

нений электромагнитного поля (иногда называемая «системой единиц Джорджи»), имела четыре основные единицы: метр, килограмм, секунду и ампер. Эта система единиц была рекомендована для преимущественного применения. Все электрические и магнитные единицы системы МКСА совпадали с уже получившими практическое применение единицами электрических и магнитных величин, например с такими, как ампер, вольт, ом, кулон и др. Система МКСА вошла в качестве составной части в Международную систему единиц (СИ) для электрических и магнитных измерений.

Симметричная система единиц СГС с основными единицами сантиметр, грамм, секунда построена для нерационализованной системы уравнений электромагнитного поля; ее не применяли для измерений электрических и магнитных величин, а использовали только в теоретической физике.

ГОСТ 8550—57 «Тепловые единицы», замененный в 1961 г. на ГОСТ 8550—61, устанавливал применение одной системы единиц МКСГ с четырьмя основными единицами: метр, килограмм, секунда и градус Кельвина (замененный впоследствии на кельвин решением XIII ГКМВ в 1967 г.). Кроме того, ГОСТ 8550—61 допускал (при необходимости) использование тепловых единиц, основанных на калории. Кроме кельвина, разрешалось применять градус Цельсия. Система единиц МКСГ вошла как составная часть в Международную систему единиц (СИ).

ГОСТ 8849—58 «Акустические единицы» предусматривал применение двух систем единиц: МКС (с основными единицами метр, килограмм, секунда) и СГС (с основными единицами сантиметр, грамм, секунда) и, кроме того, трех внесистемных единиц (децибел, фон и октава). Система единиц МКС для акустических измерений рекомендована стандартом к преимущественному применению, она вошла как составная часть в Международную систему единиц (СИ).

ГОСТ 7932—56 «Световые единицы» устанавливал применение одной системы единиц МСС с основными единицами метр, секунда, свеча (переименованная на кандела в 1948 г. на IX ГКМВ). Система единиц МСС вошла как составная часть в Международную систему единиц (СИ).

ГОСТ 8848—58 «Единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности» устанавливал для интенсивности излучения единицу ватт на квадратный метр, вошедшую в СИ, и эрг в секунду на квадратный сантиметр. Этим стандартом предусматривалось использование внесистемных единиц (рентген, рентген в секунду, кюри, рад и миллиграмм-эквивалент радия).

В итоге большой работы по созданию и стандартизации отраслевых систем единиц получилось множество системных и внесистемных единиц со сложными соотношениями для единиц однородных величин. Поэтому в 1960 г. XI ГКМВ приняла

решение о введении *единой универсальной системы* — Международной системы единиц (СИ) на основе слияния систем единиц МКС, МКСА, МКСГ и МСС и внесения в эту упорядоченную когерентную совокупность единиц дополнений и некоторых изменений в соответствии с развитием науки и техники.

В 1961 г. в СССР был разработан Государственный стандарт ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», введенный в СССР с 1 января 1963 г. для *предпочтительного применения* во всех областях науки, техники, народного хозяйства, а также при преподавании.

Все государственные отраслевые стандарты на единицы и ГОСТ 9867—61 были постановлением Госстандарта за № 113 от 6 апреля 1979 г. отменены в связи с введением с 1 января 1980 г. стандарта СЭВ 1052—78 «Метрология. Единицы физических величин» в качестве государственного стандарта СССР.

§ 3.5. ЕСТЕСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ

В отдельных разделах теоретической физики применяют так называемые естественные системы единиц. Это позволяет упростить многие уравнения. Размер основных единиц в этих системах определяется явлениями природы, а не требованиями практики измерений, как это принято при построении практических систем единиц типа СГС, МКС, МКГСС, СИ и др.

В естественной системе единиц, предложенной в 1906 г. немецким физиком-теоретиком М. Планком (1858—1947), в качестве основных величин приняты гравитационная постоянная G , скорость распространения электромагнитных волн в вакууме c , постоянная Планка h и постоянная Больцмана k (см. главу 4). Все остальные величины этой системы являются производными; их выражают через основные единицы системы. Единица длины в системе Планка равна $\approx 4,02 \cdot 10^{-35}$ м, единица массы равна $\approx 5,43 \cdot 10^{-8}$ кг, единица времени равна $1,34 \cdot 10^{-43}$ с, единица температуры $3,63 \cdot 10^{23}$ К. Естественная система единиц Планка не приводит в теоретической физике к упрощениям, в связи с чем она не получила распространения.

В естественной системе единиц Хартри, предложенной в 1929 г. английским физиком Д. Хартри (1897—1958), в качестве основных величин приняты заряд электрона e , масса покоящегося электрона m_e , радиус Бора a_0 и постоянная Планка $\hbar = h/(2\pi)$ (см. главу 4). В этой системе единица длины, равная боровскому радиусу a_0 , составляет $\approx 5,29 \cdot 10^{-11}$ м; единица массы, равная массе электрона m_e , составляет $\approx 9,11 \cdot 10^{-20}$ кг, а единица времени равна $\approx 2,42 \cdot 10^{-17}$ с. Систему единиц Хартри применяют в квантовой механике, поскольку она позволяет упростить написание ряда уравнений.

Предложены и другие естественные системы единиц, в которых в качестве основных величин приняты, кроме указанных,

диэлектрическая и магнитная проницаемости вакуума, постоянная Авогадро и др. Эти естественные системы единиц предназначены для применения в различных разделах теоретической физики.

Неудобства практического применения естественных систем единиц связаны с тем, что размеры отдельных единиц (по сравнению с единицами практических систем) либо слишком малы, либо слишком велики. Кроме того, точность воспроизведения единиц естественных систем на несколько порядков ниже точности воспроизведения единиц практических систем, например Международной системы единиц (СИ).

§ 3.6. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (ПОДГОТОВКА, ПРИНЯТИЕ, РАЗВИТИЕ)

В 1948 г. на IX ГКМВ поступило предложение Международного союза чистой и прикладной физики (МСЧПФ) об установлении Международной практической системы единиц. Кроме того, был внесен проект международной унификации единиц, составленный французским правительством. IX ГКМВ, рассмотрев этот вопрос, приняла решение провести соответствующий опрос всех государств, примкнувших к Метрической конвенции (см. § 3.2), и поручила Международному комитету мер и весов выполнить работы по подготовке соответствующих рекомендаций относительно установления практической системы единиц, которая могла бы быть принята в международном масштабе. С этого времени дело становления международной практической системы единиц стало быстро продвигаться.

В 1954 г. X ГКМВ приняла шесть основных единиц Международной системы: метр, килограмм, секунду, ампер, градус Кельвина и канделу (в русском написании того времени свечу). Одновременно специальная Комиссия по единицам, выделенная Международным комитетом мер и весов, готовила соответствующие предложения для представления XI ГКМВ.

XI ГКМВ (1960) в принятой резолюции установила шесть указанных выше основных единиц; две дополнительные единицы (радиан и стерадиан) и двадцать семь первых производных единиц системы, которой было присвоено полное наименование *Système International d'Unités* (т. е. Международная система единиц) и сокращенное наименование SI (в русской транскрипции СИ), от первых букв двух первых слов полного наименования. Кроме того, были приняты двенадцать десятичных кратных и дольных приставок (для множителей 10^{12} , 10^9 , 10^6 , 10^3 , 10^2 , 10^1 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} и 10^{-12}). Было указано, что в будущем к двадцати семи производным единицам системы могут быть добавлены и другие производные единицы.

Резолюцией XI ГКМВ была завершена огромная подготови-

тельная работа по принятию Международной системы единиц, единой универсальной практической системы единиц для всех отраслей науки, техники, народного хозяйства и преподавания.

Дальнейшее развитие Международной системы единиц происходило в следующем порядке.

На XII ГКМВ (1964) принято решение об отмене старого определения литра как единицы объема чистой воды массой 1 кг при температуре $3,98^\circ\text{C}$ (т. е. при температуре, соответствующей максимальной плотности) и при нормальном атмосферном давлении и установлено, что литр — особое наименование кубического дециметра ($1\text{ л} = 1\text{ дм}^3$).

Утверждены две десятичные дольные приставки — фемто (множитель 10^{-15} от датского femten, что означает пятнадцать) и атто (множитель 10^{-18} от датского atten, что означает восемнадцать).

На XIII ГКМВ (1967—1968) было принято новое наименование и обозначение единицы термодинамической температуры и температурного интервала — кельвин (K) (вместо градуса Кельвина ($^\circ\text{K}$) для единицы термодинамической температуры и вместо градуса (degree, deg; град) для единицы температурного интервала). Указано, что температурный интервал может выражаться и в градусах Цельсия ($^\circ\text{C}$). Был дополнен (с 28 до 32) перечень производных единиц СИ. Отменено наименование дольной единицы длины микрон (μ , мк), которая получила наименование микрометр ($\mu\text{м}$; мкм), поскольку обозначения μ и мк стали обозначениями приставки микро (10^{-6}). Уточнены определения канделы и кельвина.

XIV ГКМВ (1971) приняла специальные наименования паскаль (Pa; Па) для единицы давления и механического напряжения вместо ньютона на квадратный метр (N/m^2 ; H/m^2); сименс (S; См) для единицы электрической проводимости вместо ома в минус первой степени (Ω^{-1} ; Om^{-1}). XIV ГКМВ ввела в Международную систему единиц седьмую основную единицу СИ — моль (mol; моль) для количества вещества системы и дала ей определение (см. § 3.8).

На XV ГКМВ (1975) были утверждены две новые кратные приставки: пета (P; П), соответствующая множителю 10^{15} (означает пять разрядов по 10^3), и экса (E; Э), соответствующая множителю 10^{18} (от греч. ἕξ, что означает шесть, т. е. шесть разрядов по 10^3), и присвоены два специальных наименования: беккерель (Bq; Бк) — единице активности нуклида вместо секунды в минус первой степени (s^{-1} ; c^{-1}) и грэй — единице поглощенной дозы излучения (Gy; Гр) вместо джоуля на килограмм (J/kg ; Дж/кг).

XVI ГКМВ (1979) присвоила специальное наименование зиверт (Sv; Зв) единице эквивалентной дозы излучения вместо джоуля на килограмм (J/kg ; Дж/кг) и ввела новые определения для метра (с 1983 г.) и канделы (см. § 3.8).

XVII ГКМВ (1983) утвердила новое определение метра (см. § 3.8).

Важнейшими достоинствами Международной системы единиц являются:

1) *универсальность* — охват всех областей науки, техники и народного хозяйства;

2) *унификация единиц* физических величин для всех видов измерения механических, тепловых, электрических, магнитных, акустических, световых и других величин.

Так, вместо ряда единиц работы и энергии (кгс · м, гс · см, эрг, кал, ккал, эВ, л.с. · ч, Вт · с, кВт · ч, Дж и др.) в СИ предусмотрена одна системная единица работы, энергии, количества теплоты — джоуль (Дж). Вместо ряда единиц давления (ат, атм, кгс/см², кгс/м², кгс/мм², мм рт. ст., мм вод. ст., бар, барий, дин/см², Н/м², Н/см², Торр, Па и др.) в СИ имеется одна универсальная системная единица давления, механического напряжения, модуля упругости — паскаль (Ра; Па);

3) *удобные по размеру* для практического применения основные, дополнительные и производные единицы (м², м³, Гц, м/с, м/с², Вт, Кл, В, Ом и др.);

4) *когерентность* (согласованность, связность) системы: все производные единицы системы получают из уравнений связи между величинами, в которых коэффициенты равны безразмерной единице;

5) *четкое разграничение* в СИ единиц массы (килограмм), силы и веса (ньютон);

6) *устранение существовавшего разнобоя* и путаницы в единицах физических величин в связи с избавлением от множественности системных и внесистемных единиц, что нередко приводило к ошибкам и недоразумениям;

7) *упрощенные записи уравнений и формул* в физике, химии и других науках, а также в технических расчетах в связи с отсутствием в расчетных формулах пересчетных коэффициентов;

8) *облегчение педагогического процесса* и лучшая усвояемость учебного материала в средней и высшей школе;

9) *лучшее взаимопонимание* при дальнейшем развитии научно-технических и торговых связей между различными странами.

Потребность в практической системе единиц, являющейся единой для всего мира, настолько велика и перечисленные преимущества Международной системы единиц (универсальность, простота и др.) столь убедительны, что за относительно короткое время она получила широкое международное признание и распространение во всем мире.

Большинство капиталистических стран (Франция, ФРГ, Италия, Испания, Япония и др.), а также развивающихся стран (Индия, Гана, Пакистан, Шри-Ланка, Сомали и др.) приняли

решение о переходе на применение Международной системы единиц. Такие же решения приняты в странах, использовавших британскую систему мер (Великобритания (в 1965 г.); США (в 1975 г.); Австралия, Канада, Новая Зеландия и др.).

В соответствии с директивой Европейского Комитета по стандартизации завершение перехода на СИ в западноевропейских странах было намечено к 1978 г.

В нашей стране проведена большая работа по подготовке к переходу от предпочтительного к обязательному применению Международной системы единиц (в средних и высших учебных заведениях, в профтехучилищах, в издательствах, в научно-исследовательских и проектных институтах, в конструкторских бюро, в научно-производственных объединениях, на фабриках и заводах и т. д.).

В единицах СИ утверждено большое число новых и пересмотренных государственных стандартов, выпущено значительное число учебников и учебных пособий по различным дисциплинам для высших, средних и средних специальных учебных заведений, а также справочников, монографий, заводских каталогов, руководящих технических материалов (РТМ), пособий по медицине и методик расчетов. В единицах Международной системы составлено много массовых изданий: Большая советская энциклопедия (3-е издание), Политехнический словарь (1-е и 2-е издания), Детская энциклопедия (2-е издание), Энциклопедия полимеров, СЭС, Физический и Химический энциклопедические словари и др.

Такая же работа к переходу на обязательное применение СИ проведена и в странах — членах СЭВ, что в конечном счете привело к разработке и утверждению стандарта СЭВ «Метрология. Единицы физических величин. СТ СЭВ 1052—78». Этот стандарт устанавливал для всех стран — членов СЭВ обязательное применение с 1979—1980 гг. Международной системы единиц (см. [2]).

Унификация единиц на базе Международной системы предусмотрена в международных стандартах и рекомендациях Международной организации по стандартизации (ИСО), Международного союза чистой и прикладной физики (МСЧПФ), Международного союза чистой и прикладной химии (МСЧПХ), Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ), Международной электротехнической комиссии (МЭК), Международной конфедерации по измерительной технике (ИМЕКО), Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), Международного астрономического союза (МАС), Международной комиссии по освещению (МКО), Международной комиссии по радиологическим единицам и измерениям (МКРЕ), Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ), в работе которых Советский Союз принимает активное участие.

§ 3.7. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ ГОСТ 8.417—81
(СТ СЭВ 1052—78) «ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН»

Постановлением от 25 июня 1979 г. № 2242 Госстандарт СССР ввел в действие СТ СЭВ 1052—78 в качестве Государственного стандарта [2] и утвердил Методические указания к нему РД 50—160—79 [3] со сроком начала применения их с 1 января 1980 г. Постановлением Госстандарта от 19 марта 1981 г. № 1449 стандарт СЭВ заменен Государственным стандартом ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) «Единицы физических величин» со сроком введения в действие с 1 января 1982 г. [4].

ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) устанавливает единицы физических величин, применяемые в СССР, их наименования, обозначения и правила применения этих единиц.

Стандарт состоит из пяти разделов (общие положения; единицы Международной системы — основные, дополнительные и производные единицы СИ; единицы, не входящие в СИ; правила образования десятичных кратных и дольных единиц, а также их наименований и обозначений; правила написания обозначений единиц) и четырех приложений (правила образования когерентных производных единиц СИ; соотношения некоторых внесистемных единиц с единицами СИ; рекомендации по выбору десятичных кратных и дольных единиц; информационные данные о соответствии ГОСТ 8.417—81 стандарту СТ СЭВ 1052—78).

Стандарт не распространяется на единицы физических величин, применяемые в научных исследованиях и при публикации результатов этих исследований, если в последних не рассматривают и не используют результаты измерений конкретных физических величин [3; 4].

Стандарт не распространяется, кроме того, на единицы величин, оцениваемых по условным шкалам. Такие шкалы обычно применяются в тех случаях, когда связь рассматриваемых основных величин однозначно не установлена. К таким шкалам, в частности, относятся шкалы твердости металлов, светочувствительности фотоматериалов, землетрясений, волнения на море, системы координат цвета, условной вязкости и др.

Методические указания РД 50—160—79 [3] определяют порядок внедрения и применения в СССР совокупности единиц, устанавливаемых ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78).

В первую очередь должны внедряться единицы СИ, кратные и дольные от них при разработке и издании новой нормативно-технической документации (Государственных, Республиканских и отраслевых стандартов и стандартов предприятий, строительных норм и правил (СН и П), конструкторской и технологической документации); при выпуске новой продукции (и прежде всего новых средств измерений), при издании публикаций всех видов (включая учебники и учебные пособия для

средней школы и высших учебных заведений, журналы, справочники, энциклопедии), при проведении учебного процесса во всех учебных заведениях (в том числе в средней и высшей школе), в радио- и телевизионных передачах.

Пересматриваются и приводятся в соответствие с ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) [4] вся нормативно-техническая документация и парк рабочих средств измерений, градуированных в единицах, подлежащих изъятию.

Учебный процесс (включая учебники и учебные пособия) во всех учебных заведениях должен быть основан на применении единиц СИ, чтобы выработать у учащихся привычку пользоваться взаимосвязанными (когерентными) единицами СИ и освободить их от бесполезной траты времени на изучение разрозненного множества узкоспециализированных единиц, находящихся в сложных соотношениях, и перевода одних единиц в другие.

Отличительные особенности ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78):

1) обязательность (а не предпочтительность) применения единиц СИ, а также десятичных кратных и дольных от них, образуемых с помощью множителей и приставок СИ (табл. 8 стандарта);

2) разрешение применять наравне с единицами СИ без ограничения срока восемнадцать внесистемных единиц (табл. 6 и 8 стандарта), четыре единицы относительных и пять единиц логарифмических величин;

3) введение в стандарт трех новых наименований единиц (беккерель, грэй, зиверт) и двух новых приставок СИ (экса и пета);

4) изъятие девяти единиц системы СГС, имеющих специальные наименования (дина, эрг, максвелл, гаусс, гильберт, эрстед, пуаз, стокс, галл), и всех остальных единиц системы СГС, не имеющих таких наименований;

5) изъятие в сроки, которые будут установлены международными решениями, восьми внесистемных единиц, не входящих в СИ, но допущенных к временному применению до этих сроков (табл. 7 стандарта);

6) изъятие всех единиц, кроме единиц, входящих в СИ, единиц, являющихся кратными и дольными от них, а также единиц, допускаемых к постоянному или временному применению наравне с единицами СИ;

7) запись в таблицах и тексте стандарта на первом месте международных обозначений единиц, а на втором русских обозначений с указанием, что в нормативно-технической, конструкторской и технологической документации на средства измерений, а также на изделия, составными частями которых являются средства измерения (в том числе и в документации на шкалы приборов и щитки, помещаемые на изделиях), будут использованы только международные обозначения.

В печатных изданиях допускается применение международных

или русских обозначений; при этом запрещается применять оба вида обозначений в одном и том же издании (за исключением публикаций по единицам физических величин);

8) образование электрических и магнитных единиц в соответствии с рационализованной формой уравнений электромагнитного поля, в связи с чем из учебников, учебных пособий, справочников и учебного процесса должна быть изъята нерационализованная форма уравнений электромагнитного поля и соответствующие единицы систем СГС, СГСЭ, СГСМ и т. п.;

9) установление световых единиц СИ для спектрального состава при температуре затвердения платины, соответствующей давлению 101 325 Па.

§ 3.8. ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В таблице 3.1 приведены семь основных единиц СИ в полном соответствии с таблицей 1, приведенной в ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78). Кроме того, даны размерности и рекомендуемые обозначения основных величин, для которых приведены основные единицы СИ. Для единиц указаны наименования, обозначения (международные и русские) и определения. Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц от единиц СИ даны в соответствии со справочным приложением 2 стандарта и Международным стандартом ИСО (МС ИСО 1000—73).

Размерности физических величин выражены в размерной системе: *длина, масса, время, сила электрического тока, температура, количество вещества, сила света* (L, M, T, I, Θ , N, J); соответствующей группе основных единиц СИ [3].

Определения основных единиц даны в полном соответствии с резолюциями, принятыми (на 1983 г.) Генеральной конференцией по мерам и весам (в частности, определение канделы по резолюции XVI ГКМВ (1979) и метра по резолюциям XVI ГКМВ и XVII ГКМВ (1983)).

1. Метр — единица длины СИ

В качестве основной единицы длины СИ принят метр.

Первое определение метра, как одной десятиmillionной части четверти Парижского меридиана, было дано в 1791 г. при установлении метрической системы мер.

На основе измерений части дуги Парижского меридиана в 1799 г. был изготовлен первый эталон метра — платиновая концевая мера, представлявшая линейку шириной около 25 мм, толщиной около 4 мм с расстоянием между концами 1 м. Этот эталон метра получил наименование «архивный метр» или «метр Архива», в связи с тем что он был передан на хранение в Национальный архив Франции.

В 1872 г. Международная комиссия по прототипам метри-

ческой системы, созданная по инициативе Российской академии наук, приняла рекомендацию об отказе от «естественного» эталона метра и о принятии «метра Архива» в качестве исходной меры длины. Эта рекомендация учитывала отсутствие точных данных о фигуре Земли, значительные погрешности геодезических измерений при установлении размера метра и возможность получения разных значений основной единицы длины при новых, более точных измерениях. По решению этой же Комиссии, подтвержденному в 1875 г. Международной дипломатической конференцией по метру, на которой была подписана Метрическая конвенция, был изготовлен 31 эталон метра в виде штриховой меры из наиболее стойкого в то время сплава платины (массовая доля 90%) и иридия (массовая доля 10%).

Метр № 6 оказался при 0 °С равным «метру Архива», в связи с чем он был утвержден на I ГКМВ в 1889 г. в качестве международного прототипа метра, хранящегося вместе с двумя контрольными копиями в Международном бюро мер и весов в Севре (Франция). Остальные копии распределены по жребию между государствами. Две копии (№ 11 и № 28) получила Россия. Они хранятся во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. Копия № 28 была признана в 1918 г. при введении метрической системы мер в России государственным эталоном метра.

Международный штриховой прототип метра (и его копии) представляет собой платино-иридиевый брусок общей длиной 102 см, имеющий в поперечном сечении форму X, придающую эталону необходимую прочность на изгиб. На нейтральной отполированной плоскости нанесены две продольные параллельные линии на расстоянии 0,2 мм одна от другой, а вблизи обоих концов этой плоскости бруска перпендикулярно к этим продольным линиям нанесено по три штриха. Расстояние между осями средних штрихов равно 1 м при температуре 0 °С при условии, что эталон метра находится при нормальном давлении и поддерживается двумя роликами диаметром не менее 1 см, расположенными симметрично на одной горизонтальной плоскости на расстоянии 571 мм один от другого (из резолюции VII ГКМВ в 1927 г., действовавшей до 1960 г.).

Относительная погрешность международного прототипа метра $1 \cdot 10^{-7}$ (точность 10^7); абсолютная погрешность воспроизведения метра — единицы длины — 0,1 мкм.

Рост требований к повышению точности измерений, а также целесообразность перехода к естественному и неразрушаемому эталону единицы длины привели к тому, что XI ГКМВ (1960) приняла решение об отмене определения метра, действовавшего с 1889 г. и основанного на международном платино-иридиевом эталоне, и о введении нового, «светового» метра, выраженного в длинах световых волн: «Метр равен 1 650 763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86».

Излучение криптона-86, определяющее метр, охарактеризовано в решении XI ГКМВ спектральными терминами¹ с обозначениями по Пашену. (Ф. Пашен (1865—1947) — немецкий физик, обнаруживший в 1908 г. первые две линии спектральной серии водорода, названные его именем.)

XVI ГКМВ (в октябре 1979 г.) заслушала доклад Консультативного комитета по определению метра о переходе с 1983 г. на новое определение метра (см. табл. 3.1) с целью повышения точности его определения, значительно превосходящей возможности современного эталона, использующего криптоновый излучатель при реализации эталона единицы длины. На XVII ГКМВ в октябре 1983 г. принято указанное определение метра.

Реализация эталона метра на основе нового определения связана с абсолютным измерением частоты стабилизированного лазера, используемого в качестве источника электромагнитных волн. Точность нового эталона единицы длины порядка $10^9 \dots 10^{11}$ (относительная погрешность $10^{-9} \dots 10^{-11}$).

2. Килограмм — единица массы СИ

В качестве единицы массы СИ принят килограмм (франц. kilo ... , от греч. chilioi — тысяча + франц. gramme, от лат. и греч. gramma — мелкая мера массы).

Килограмм — одна из семи основных единиц Международной системы единиц (СИ) — равен массе международного прототипа килограмма, хранящегося в Международном бюро мер и весов в Севре (Франция).

При создании (в конце XVIII в.) метрической системы мер килограмм определили как массу 1 дм³ чистой воды при ее наибольшей плотности ($t = 4^\circ\text{C}$). Однако масса прототипа килограмма, выполненного в 1799 г. в виде платино-иридиевой цилиндрической гири (диаметром и высотой по 39 мм), оказалась больше массы чистой воды объемом 1 дм³ на 0,028 г. Как и прототип метра, он был передан на хранение в Национальный архив Франции (и получил впоследствии наименование «архивный килограмм»).

В 1872 г. Международная комиссия по эталонам метрической системы приняла решение изготовить 40 платино-иридиевых эталонов килограмма массой, равной массе прототипа «килограмма Архива». Это решение объяснялось тем, чтобы при дальнейших более точных взвешиваниях не менять значения исходной единицы массы. Две копии международного прототипа килограмма по жребью получила Россия (№ 12 и № 26). Эталон № 12

¹ Спектральные термины (англ. term, от лат. terminus, что означает «граница», «предел») — величины (применяемые в спектроскопии), пропорциональные энергиям стационарных состояний атомов и молекул. Впервые были введены эмпирически при анализе закономерностей расположенных линий в спектре.

принят в СССР в качестве первичного эталона единицы массы, а № 26 — в качестве эталона-копии.

Необходимо отметить, что в момент установления метрической системы мер и затем в течение почти 100 последующих лет не было четкого различия между массой и весом. Поэтому международный прототип килограмма считался как эталоном массы, так и эталоном веса. Однако на I ГКМВ (1889) килограмм был утвержден в качестве прототипа единицы массы, а в резолюции III ГКМВ (1901) было подчеркнуто, что прототип килограмма — эталон массы, а вес тела равен произведению его массы на ускорение свободного падения. При этом было установлено, что нормальный вес тела равен произведению его массы на нормальное ускорение свободного падения ($g_n = 9,806\,65 \text{ м/с}^2$). С этого времени была введена специальная единица силы и веса — килограмм-сила, равная силе, сообщаемой телу массой 1 кг нормальное ускорение свободного падения.

Современное определение килограмма приведено в таблице 3.1.

Основной недостаток наименования единицы массы — килограмма — содержание приставки «кило», в связи с чем были внесены предложения о замене килограмма другим наименованием, не содержащим приставки, как, например, галилео, кило, квант, эйнштейн, молео. Однако X ГКМВ (1954) признала необходимым сохранить наименование «килограмм».

3. Секунда — единица времени СИ

В основу измерений промежутков времени уже в глубокой древности легли астрономические явления, связанные с движением небесных светил — Земли, Луны и др. Различают звездное, истинное и среднее солнечное время, атомное, местное, поясное, декретное, всемирное (или мировое) время.

Звездное время определяют вращением Земли вокруг оси относительно звезд. Звездное время измеряют относительно точки весеннего равноденствия, движение которой среди звезд хорошо известно. Момент ее верхней кульминации считается началом звездных суток. Звездные сутки равны 24 звездным часам; 1 ч = 60 мин и 1 мин = 60 с. Звездное время используют при астрономических наблюдениях, в геодезии, навигации.

Истинное солнечное время определяется видимым суточным движением Солнца. Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра Солнца представляет собой истинные солнечные сутки. Эти сутки непостоянны по своей продолжительности из-за неравномерного движения Солнца по эллиптике и неперпендикулярности оси Земли к плоскости ее орбиты. В связи с неравномерностью истинного солнечного времени единицу времени — секунду

(с) — до относительно недавнего времени (до 1960 г.) определяли как $1/86400$ часть средних солнечных суток.

Средними солнечными сутками называется интервал времени между двумя последовательными верхними кульминациями среднего солнца. Под средним солнцем понимали воображаемое солнце, равномерно движущееся по небесному экватору и совершающее один оборот по небесному своду за тот же промежуток времени, что и истинное Солнце, движущееся неравномерно по эклиптике.

Однако продолжительные наблюдения показали, что с 1872 по 1903 г. средняя продолжительность средних солнечных суток увеличилась на 0,007 с, а с 1903 по 1934 г. уменьшилась на 0,005 с, после чего она вновь увеличилась. Таким образом, средние солнечные сутки определены были с погрешностью порядка $1 \cdot 10^{-7}$. Соответствующая точность 10^7 совершенно недостаточна при современном состоянии техники измерений времени. Приведенные изменения продолжительности средних солнечных суток объясняются неравномерными и нерегулярными колебаниями вращения Земли вокруг своей оси.

Для более точного определения секунды как единицы времени XI ГКМВ (1960) приняла решение о переходе к единице времени, основанной на обращении Земли вокруг Солнца, так как этот процесс весьма постоянен, а его возмущения под влиянием других планет малы. Секунда была определена так: «Секунда равна $1/31\,556\,925,974\,7$ части тропического года для 1900 г. января 0 в 12 ч эфемеридного времени¹».

Ссылка на 1900 г. в этом определении секунды объясняется тем, что тропический год, т. е. интервал времени между двумя весенними равноденствиями, следующими одно за другим, сам по себе не является постоянным. Это определение секунды сделало секунду равной средней продолжительности секунды за последние 300 лет.

Новое определение секунды учитывало непостоянство средних солнечных суток и повысило точность ее воспроизведения, доведя относительную погрешность до $1 \cdot 10^{-11}$. Однако и такая точность измерения времени не удовлетворяла науку и технику.

Достигнутые в физике успехи по созданию новых молекулярных и атомных эталонов частоты и времени, основанных на излучении и поглощении энергии молекулами и атомами во время перехода между двумя энергетическими уровнями в области радиоэлектронных частот, дали возможность XIII ГКМВ (1967) принять новое определение а т о м н о й с е к у н д ы, приведенное в таблице 3.1.

¹ Эфемеридное время — это равномерно текущее время, входящее в уравнения для вычислений эфемерид планет (астрономических таблиц, указывающих заранее геоцентрические координаты небесных тел).

Атомное время (обозначение ТАИ) не зависит от астрономических наблюдений и основано на применении высокоточных кварцевых часов, контролируемых квантовыми генераторами.

4. Ампер — единица силы электрического тока СИ

В качестве единицы силы электрического тока СИ принят а м п е р. Наименование этой единицы дано на I Международном конгрессе электриков в 1881 г. в честь французского физика и математика А. Ампера (1775—1836). Определение ампера с момента его введения претерпело ряд изменений. Вначале ампер определяли как силу электрического тока, который протекает по проводнику сопротивлением 1 Ом при разности потенциалов на концах проводника 1 В; при этом 1 Ом был принят как 10^9 , а 1 В — как 10^8 соответствующих единиц электромагнитной системы единиц (СГСМ).

В соответствии с введением в 1893 г. международных электрических единиц, основанных на вещественных эталонах, международный ампер определяли как силу неизменяющегося электрического тока, который, проходя через водный раствор азотно-кислого серебра, выделяет серебро массой 1,118 мг за время 1 с.

С 1948 г. ампер определяют в соответствии с законом Ампера о механическом взаимодействии двух токов. Современное определение ампера, принятое IX ГКМВ в 1948 г., приведено в таблице 3.1.

Ампер воспроизводят с помощью так называемых токовых весов или ампер-весов, изготовленных из немагнитных материалов и представляющих собой рычажные равноплечие весы. Подвижная катушка, подвешенная к одной из чашек весов, уравновешивается грузом, положенным на другую чашку весов, и входит во вторую неподвижную коаксиально расположенную катушку.

При прохождении по этим катушкам постоянного электрического тока подвижная катушка опускается в соответствии с законом Ампера. Для компенсации силы взаимодействия токов следует положить на чашку весов с грузом добавочный груз.

По закону Ампера $F = kI_1I_2 = kI^2$, (а)

где F — сила взаимодействия токов в катушках; I_1 и I_2 — силы токов в катушках (при последовательном соединении $I_1 = I_2 = I$); k — постоянный коэффициент, зависящий от формы, размеров и взаимного расположения катушек, от диаметра сечений проводов катушек, от проницаемости среды и учитывающий особенности взаимодействия катушек по сравнению с взаимодействием прямолинейных проводников.

С другой стороны, в соответствии со вторым законом Ньютона

$$F = mg, \quad (б)$$

где F — уравновешивающая сила тяжести добавочного груза, m — масса добавочного груза; g — ускорение свободного падения в месте расположения токовых весов.

Из выражений (а) и (б) можно получить:

$$kI^2 = mg, \quad (в)$$

или

$$I = \sqrt{mg/k}. \quad (3.1)$$

Таким образом, по массе добавочного груза m можно определить силу электрического тока I , проходящего по катушкам.

Государственный первичный эталон ампера — единицы постоянного электрического тока (ГОСТ 8.132—74) — состоит из токовых весов (динамической системы), весов с дистанционным управлением, цена деления которых не превышает 0,1 мг, и меры электрического сопротивления (эталона сравнения). Пределы измерения ($1 \cdot 10^{-12}$... 30) А.

Относительная случайная погрешность $4 \cdot 10^{-6}$, относительная систематическая погрешность $8 \cdot 10^{-16}$.

5. Кельвин — единица термодинамической температуры СИ

Поскольку температура не является непосредственно измеряемой величиной, ее значение определяют по изменению какого-либо свойства термометрического вещества (ртути, спирта), удобного для измерения, например по изменению его объема, происходящему в результате теплового расширения, по изменению электрического сопротивления проводников при изменении температуры и т. д.

В температурной шкале, представляющей собой систему сопоставимых числовых значений температуры, обычно устанавливают две основные температуры, соответствующие точкам фазовых равновесий однокомпонентных систем. Эти точки называют *реперными точками* (франц. *repère* — метка, знак, исходная точка) или *постоянными точками* температурной шкалы. Размер единицы температуры определяют как долю температурного интервала между двумя принятыми реперными точками.

Одними из первых температурных шкал были шкалы Фаренгейта, Реомюра и Цельсия.

В шкале Фаренгейта, предложенной в 1714 г. немецким физиком Д. Фаренгейтом (1686—1736) для сконструированного им спиртового термометра, были выбраны две реперные точки; соответствующие температуре таяния льда (32°F) и температуре человеческой крови (96°F). Интервал между этими температурами был разделен на 64 равные части, названные градусами Фаренгейта ($^\circ\text{F}$). На расстоянии, равном 32 таким делениям, ниже точки таяния льда была помещена нулевая точка (0°F), соответствующая самой низкой из известных тогда температур.

Впоследствии шкала Фаренгейта была применена для ртутного термометра с двумя реперными точками — точкой таяния льда ($t = 32^\circ\text{F}$) и точкой кипения воды при нормальном атмосферном давлении ($t = 212^\circ\text{F}$) и делением температурного промежутка между этими точками на 180 равных частей, представляющих размер одного градуса Фаренгейта. Эта шкала применялась до недавнего времени в странах, которые использовали британскую систему единиц (США, Великобритания, Канада, Австралия и др.). В связи с переходом этих стран на метрическую систему единиц, а затем и на Международную систему там стали отходить от применения шкалы Фаренгейта.

В 1730 г. французский естествоиспытатель Р. Реомюр (1683—1757) предложил температурную шкалу с двумя реперными точками: таяния льда и кипения воды при нормальном атмосферном давлении. Первой точке Реомюр приписал значение 0°R , а второй точке 80°R и разделил температурный промежуток на 80 равных частей. Выбор цифры «80» для температуры кипения воды объяснялся тем, что термометр Реомюра был наполнен смесью спирт — вода, обладавшей температурным коэффициентом объемного расширения, равным $\alpha \approx 1,25 \cdot 10^{-3}$, в связи с чем при изменении температуры рабочей жидкости на 1°R она расширялась на 0,001, или на 10^{-4} .

В 1742 г. шведским ученым А. Цельсием (1701—1744) была предложена температурная шкала, в которой интервал между температурой таяния льда и температурой кипения воды при нормальном атмосферном давлении был разделен на 100 равных частей, названных градусами Цельсия. Первоначально Цельсий присвоил температуре точки таяния льда значение 100°C , а температуре точки кипения воды 0°C . Впоследствии были изменены присвоенные значения температур для реперных точек шкалы Цельсия на 0°C для точки таяния льда и 100°C для точки кипения воды при нормальном атмосферном давлении. Это обратное обозначение используется и в наше время.

Жидкостные термометры, заполняемые ртутью или этиловым спиртом, а при низких температурах — пентаном, применяют и в настоящее время, несмотря на присущие им недостатки, связанные с зависимостью их показаний от свойств термометрического вещества (с зависимостью температурного коэффициента объемного расширения от температуры).

Особое место занимают газовые термометры, в которых термометрическим веществом являются газы (азот, водород, гелий) при весьма большом разрежении. Поскольку свойства газов в этом состоянии близки к свойствам идеальных газов и их температурные коэффициенты объемного расширения при постоянном давлении (α_V) и изменения давления при постоянном объеме (α_p) одни и те же в большом интервале температур ($\alpha_p = \alpha_V = 1/273,15 \text{ K}^{-1} = 0,003661 \text{ K}^{-1}$), то газовые термометры, в

частности, конструкции ВНИИМ им. Д. И. Менделеева применяют для определения температур некоторых реперных точек.

В соответствии с решением XI ГКМВ (1960) в настоящее время предусматривается применение двух температурных шкал: *термодинамической*, основанной на втором начале термодинамики, и *международной практической* (МПТШ), основанной на ряде постоянных и воспроизводимых температур фазового равновесия химически чистых веществ. Обе шкалы могут градуироваться и в кельвинах, и в градусах Цельсия.

Термодинамическая шкала является основной, она имеет одну реперную точку — тройную точку воды (вторая — точка абсолютного нуля — 0 К). Под тройной точкой воды понимается такая точка на диаграмме состояния, в которой жидкое, твердое и газообразное агрегатные состояния воды одновременно находятся в равновесии друг с другом. Температуре тройной точки воды присвоено значение 273,16 К. Давление воды в тройной точке равно 611 Па.

Наименование «кельвин» (первоначально «градус Кельвина») для единицы термодинамической температуры было введено в честь английского ученого У. Томсона (лорда Кельвина) (1824—1907), впервые предложившего принцип построения термодинамической шкалы температур с одной реперной точкой — тройной точкой воды.

Современное определение кельвина, принятое XIII ГКМВ (1967), приведено в таблице 3.1.

Преимуществами термодинамической температурной шкалы являются независимость ее от свойств термометрического тела и высокая точность воспроизведения температуры тройной точки воды (в метрологических лабораториях ее реализуют с абсолютной погрешностью порядка 0,000 1 К).

Температура таяния льда на 0,01 К меньше температуры тройной точки воды, т. е. она равна 273,15 К.

Соотношение между двумя значениями температуры по термодинамической температурной шкале, выраженными в кельвинах и градусах Цельсия для одной и той же точки шкалы, записывают так:

$$t = T - 273,15. \quad (3.2)$$

Международная температурная шкала впервые была введена на VII ГКМВ в 1927 г. (МТШ-27). Она имела шесть реперных точек: точку таяния льда (0 °С); точки кипения воды (100 °С), кислорода (—183 °С) и серы (445 °С); точки плавления серебра (962 °С) и золота (1063 °С). Для установления температуры промежуточных точек применяли термометр сопротивления для интервала от —183 до 660 °С, термоэлемент для интервала от 660 до 1063 °С и пирометр для температур больше 1063 °С.

На IX ГКМВ (1948) шкала МТШ-27 была заменена Международной температурной шкалой 1948 г. Вышеприведенные шесть

реперных точек остались без изменения, но требования к чистоте термометрических веществ, используемых для установления температуры реперных точек, стали более высокими, чтобы осуществить более тесное согласование этой шкалы с основной термодинамической шкалой. Приближенная формула Вина, применявшаяся для градуировки температур выше 1063 °С, была заменена точной формулой Планка. Кроме того, было уточнено значение второй постоянной излучения [см. табл. 4.1].

XI ГКМВ (1960) переименовала Международную температурную шкалу 1948 г. в Международную практическую температурную шкалу 1948 г. (МПТШ-48), подчеркивая этим, что практическая шкала в общем не совпадает с термодинамической шкалой. Точка таяния льда (0 °С) была исключена из состава основных реперных точек и заменена тройной точкой воды (0,01 °С), а точка кипения серы (445 °С) заменена точкой плавления цинка (420 °С).

На XIV ГКМВ (1971) была объявлена обязательной новая Международная практическая шкала 1968 г. (МПТШ-68) с одиннадцатью основными реперными точками. С помощью пяти дополнительных реперных точек МПТШ-68 была продолжена ниже точки кипения кислорода (90,188 К, или —182,962 °С) до тройной точки равновесного водорода (13,81 К, или —259,34 °С). В таблице 3.2 приведены температуры, соответствующие одиннадцати основным реперным точкам (в К и в °С), и оценочные погрешности, с которыми эти точки устанавливались. Наряду с основными реперными точками МПТШ-68 содержит двадцать семь вторичных точек отсчета (табл. 3.3), температуры которых определяются обычными измерителями температуры.

Установлены символы обозначений международной практической температуры, выраженной в градусах Цельсия, — t_{68} и международной практической температуры, выраженной в кельвинах, — T_{68} . Соотношения между значениями температуры в одной и той же точке МПТШ-68 записывают так:

$$T_{68} = t_{68} + 273,15. \quad (3.3)$$

Индекс 68 может быть опущен, если это не вызывает недоумений.

Международная практическая температурная шкала 1968 г. (МПТШ-68) выбрана таким образом, чтобы температура, измеренная по этой шкале, была бы близка к термодинамической температуре, и разности между ними оставались в пределах современной погрешности измерений.

В США, Великобритании, Канаде и других странах, использующих температурную шкалу, выраженную в градусах Фаренгейта (°F), применяли термодинамическую температурную шкалу, выраженную в градусах Ренкина (°R), получивших такое наименование в честь шотландского инженера и физика Ренкина

(1820—1872). В этой шкале абсолютный нуль совпадает с абсолютным нулем в шкале, выраженной в кельвинах ($0^{\circ}\text{R} = 0\text{ K}$). По размеру градус Ренкина равен градусу Фаренгейта ($1^{\circ}\text{R} = 1^{\circ}\text{F}$).

Соотношения между значениями температуры, выраженными в кельвинах (T , K), в градусах Цельсия (t , $^{\circ}\text{C}$), в градусах Фаренгейта (t_F , $^{\circ}\text{F}$) и в градусах Ренкина (T_R , $^{\circ}\text{R}$), таковы:

$$\left. \begin{aligned} t &= T - 273,15 = (t_F - 32)/1,8 = T_R/1,8 - 273,15; \\ T &= t + 273,15 = t_F/1,8 + 255,37 = T_R/1,8. \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

На рисунке 1 (см. передний форзац) представлены соотношения температур, выраженных в $^{\circ}\text{C}$, K, $^{\circ}\text{F}$ и $^{\circ}\text{R}$. Температура таяния льда равна 0°C , $273,15\text{ K}$, 32°F , $491,67^{\circ}\text{R}$. Температура тройной точки воды равна $0,01^{\circ}\text{C}$, $273,16\text{ K}$, $32,018^{\circ}\text{F}$, $491,688^{\circ}\text{R}$. Температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении равна 100°C , $373,15\text{ K}$, 212°F , $671,67^{\circ}\text{R}$.

Интерполяцию между температурами реперных точек выполняют по формулам, устанавливающим связь между показаниями интерполяционных приборов и значениями температур по Международной практической температурной шкале.

В диапазоне $13,81\text{ K}$ и $630,74^{\circ}\text{C}$ для интерполяции применяют платиновый термометр сопротивления, а в диапазоне $630,74$ и $1064,43^{\circ}\text{C}$ — термодатчик с электродами из платино-родия (массовая доля родия 10%). Выше $1064,43^{\circ}\text{C}$ ($1337,58\text{ K}$) используют закон излучения Планка.

В приложении II.6 приведены данные о государственных эталонах СССР кельвина — единицы температуры.

6. Моль — единица количества вещества СИ

Определение моля, принятое XIV ГКМВ (1971), приведено в таблице 3.1.

Моль служит для образования производных единиц молярных величин: молярной массы (кг/моль), молярного объема ($\text{м}^3/\text{моль}$), молярного количества теплоты, молярной энергии и молярной энтальпии (Дж/моль), молярных теплоемкостей и газовой постоянной [Дж/(моль · K)], молярной концентрации (моль/ м^3) и др.

Моль — расчетная единица, и эталона для его воспроизведения не существует.

В определении моля, принятом XIV ГКМВ, не указывается точное число структурных частиц, содержащихся в системе количеством вещества в 1 моль. Принято считать его равным числу Авогадро. (А. Авогадро (1776—1856) — итальянский физик и химик.) Независимо от возможного уточнения числа Авогадро (числового значения постоянной Авогадро) определение моля, принятое XIV ГКМВ, останется без изменения.

7. Кандела — единица силы света СИ

В качестве световых эталонов в разное время использовали пламя свечи или лампы.

В 1881 г. на Международном конгрессе электриков была принята единица силы света, предложенная французским физиком Л. Виолем (1841—1923). Эта единица, названная свечой Виоля, равна силе света, излучаемого поверхностью затвердевающей платины по направлению нормали к этой поверхности, площадь которой 1 см^2 . В 1889 г. на Международном конгрессе электриков $1/20$ единицы Виоля была принята в качестве практической единицы силы света. В связи с большими затруднениями в реальном осуществлении эталона свечи Виоля Международный конгресс электриков в 1893 г. принял новый эталон силы света — нормальную лампу Гейфнера — Альтенека, в которой при сжигании чистого амилацетата высота пламени 40 мм , ширина 8 мм .

В 1909 г. отказались от пламенного эталона силы света, заменив его электрической лампой накаливания. За единицу силы света была принята международная свеча, являющаяся производной от свечи Виоля. Это решение было подтверждено в 1921 г. Международной комиссией по освещению.

В связи с большой погрешностью эталона Международный комитет мер и весов принял решение о переходе с 1948 г. на «новую свечу», определяемую по световому эталону, основу которого составляет полный излучатель (черное тело). Излучателем служит трубка, стенки которой изготовлены из плавного оксида тория. Трубка помещена в сосуд с расплавленной платиной. Этот сосуд вставлен во внешний, заполненный оксидом тория и служащий тепловым изолятором. Трубка нагревается от расплавленной платины, находящейся при температуре затвердевания $2046,65\text{ K}$.

IX ГКМВ (1948) приняла следующее определение единицы силы света — канделы (нового присвоенного свече наименования от латинского слова *candela*, что означает «свеча»): «Кандела равна силе света, при которой яркость полного излучателя при температуре затвердевания платины равна $60\text{ кд на } 1\text{ см}^2$ ».

XIII ГКМВ (1967) приняла новое, более точное определение канделы: «Кандела равна силе света, испускаемого с поверхности площадью $1/600\,000\text{ м}^2$ полного излучателя в перпендикулярном направлении, при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при давлении $101\,325\text{ Па}$ ».

XVI ГКМВ (1979) решила отменить вышеприведенное определение канделы, основанное на использовании полного излучателя и не обеспечивающее достаточной точности, и принять новое определение канделы, приведенное в таблице 3.1.

1. Радиан — единица плоского угла СИ

За единицу плоского угла СИ принят *радиан* (лат. *rādīus* — луч, радиус). Определение радиана приведено в таблице 3.4.

Радиан как единица плоского угла СИ имеет большое чисто теоретическое и расчетное значение, но он неудобен для практических измерений. Прежде всего в настоящее время не существует образцовых угловых мер и измерительных приборов со шкалой, градуированной в радианах, и, кроме того, большинство важных практических значений углов (прямой угол, полный угол и др.) выражается трансцендентными числами ($\pi/2$, 2π и др.). Однако радиан применяют для образования некоторых производных единиц, например для угловой скорости, углового ускорения и др.

Размерность плоского угла, равная 1, не влияет на размерности производных величин, в которые входит плоский угол.

Практически плоский угол в настоящее время выражают чаще всего в допускаемых к применению внесистемных единицах: угловых градусах (...°), минутах (...') и секундах (..."). Но и эти единицы неудобны, так как при умножении и делении составное именованное число, выражающее значение плоского угла, вначале приходится раздроблять на самые мелкие единицы, а затем после выполнения действий умножения и деления снова превращать полученный результат в составное именованное число. Например, $42^{\circ}13'43,2'' : 5,2 = 152\ 023,2'' : 5,2 = 29\ 235,23'' = 8^{\circ}7'15,2''$.

В геодезии плоский угол выражают в *град*ах (или *го*х), впервые введенных французскими астрономами и геодезистами Делабром (1749—1820) и Мешеном (1744—1804) при определении длины отрезка Парижского меридиана и установлении размера метра.

Град равен 0,01 прямого угла (1 град = 0,01*d*, или 1 град = $\pi/200$); град разделен на 100 метрических минут и минута — на 100 метрических секунд. Но и такое на первый взгляд удобное десятичное подразделение угла не привилось. Это объясняется, в частности, тем, что $1/3$ и $2/3$ прямого угла выражаются периодическими дробями (33,333 ... и 66,666 ...) град, и тем, что в мореплавании неудобно пользоваться картами, размеченными в градах. (Десятичные угловые единицы не согласованы со временем поворота Земли на соответствующие углы. Так, например, за 1 ч Земля поворачивается на 15° , или 16,666 ... град.)

Плоскому углу 1° , т. е. центральному углу, опирающемуся на дугу длиной в $1/360$ окружности, соответствует угол $\pi/180$ рад, а углу в n° — $n\pi/180$ рад. Так, углам в 30; 45; 60; 90; 180; 270 и 360° соответствуют углы $\pi/6$; $\pi/4$; $\pi/3$; $\pi/2$; π ; $3\pi/2$ и 2π рад. И наоборот, поскольку углу в 1 рад соответствует угол $(180/\pi)^{\circ}$ (или $\approx 57^{\circ}14'44,8''$), то углу в n рад — $(180n/\pi)^{\circ}$.

2. Стерadian — единица телесного угла СИ

За единицу телесного угла СИ принимают *стерадиан* (греч. *stereós* — телесный, объемный, пространственный и π радиан).

Определение стерадиана приведено в таблице 3.4.

Полная сфера образует телесный угол, равный 4π ср.

§ 3.10. ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ (ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ)

Производные единицы СИ образуют из основных, дополнительных и ранее образованных производных единиц СИ по правилам образования когерентных производных единиц.

Восемнадцать производным единицам СИ Генеральной конференцией по мерам и весам присвоены специальные, обязательные к применению наименования, в том числе *люмен* и *люкс*, и шестнадцать единиц названы в честь ученых (табл. 3.5).

Так, например, в качестве единицы работы и энергии следует применять *джоуль* (Дж), а не *ньютон-метр* (Н·м), хотя $1\ Н \cdot м = 1\ Дж$, так как именно ньютон-метру в этом случае и присвоено специальное наименование *джоуль*. В качестве единицы давления и механического напряжения следует применять *паскаль* (Па), а не *ньютон на квадратный метр* (Н/м²), хотя $1\ Н/м^2 = 1\ Па$. В качестве единицы активности нуклида в радиоактивном источнике следует применять *беккерель* (Бк), а не *секунду в минус первой степени* (с⁻¹); для поглощенной дозы излучения — *грэй* (Гр) и для мощности поглощенной дозы излучения — *грэй в секунду* (Гр/с), а не *джоуль на килограмм* (Дж/кг) и *ватт на килограмм* (Вт/кг) (соответственно).

Специальные наименования единиц могут быть использованы при образовании других производных единиц.

Недопустимо вводить специальные наименования для производных единиц без соответствующего решения Генеральной конференции по мерам и весам, как, например, нельзя применять для единицы мощности бактерицидного излучения предлагаемое специальное наименование *бакт*, а для единицы мощности эрмитного излучения *эр* вместо *ватта* в обоих случаях.

В приложении II (с. 174) приведены производные величины, применяемые в школе, указаны их наименования, размерности, рекомендуемые обозначения. Кроме того, даны производные единицы для этих величин с указанием их наименования и обозначения (международного и русского), а также приведены кратные и дольные единицы от единиц СИ.

Наименования, размерности и рекомендуемые обозначения величин в основном соответствуют документу U.J.P. 20 Международного союза чистой и прикладной физики (МСЧПФ) [9], а наименования и обозначения единиц строго соответствуют ГОСТ

8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) и РД 50—160—79 [3]. Рекомендуемые кратные и дольные единицы, приведенные в приложениях, соответствуют Международному стандарту МС ИСО 1000—78 и ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78).

В отдельных случаях определения единиц отличаются от определений, приведенных в учебниках и учебных пособиях для средней школы. Это объясняется главным образом различной последовательностью изложения материала в учебниках и учебных пособиях по сравнению с последовательностью, принятой в Методических указаниях Госстандарта.

Международная система единиц (СИ), как указывалось выше, — когерентная система, и когерентные единицы СИ образуют с помощью простейших уравнений связи между величинами (так называемых определяющих уравнений), в которых числовые коэффициенты равны 1. С этой целью величины в правой и левой частях уравнений связи принимают равными единицам СИ. Примеры:

1. Для определения единицы скорости СИ записывают уравнение связи между скоростью прямолинейно и равномерно движущейся точки, длиной пройденного пути и временем движения точки:

$$v = s/t, \quad (3.3)$$

где v — скорость точки; s — длина пути; t — время движения точки. Затем вместо s и t подставляют в правую часть уравнения (3.3) единицы СИ (вернее, обозначения единиц — м и с) и получают:

$$[v] = [s]/[t] = 1 \text{ м}/1 \text{ с} = 1 \text{ м/с}.$$

Следовательно, единицей скорости СИ является метр в секунду, равный скорости прямолинейно и равномерно движущейся точки; при которой эта точка за время 1 с перемещается на расстояние 1 м.

2. Для определения единицы количества электричества СИ записывают уравнение связи между количеством электричества, проходящим сквозь поперечное сечение, силой электрического тока и временем прохождения тока:

$$Q = It, \quad (3.4)$$

где Q — количество электричества; I — сила тока; t — время прохождения тока. После подстановки вместо I и t единиц СИ получают:

$$[Q] = [I][t] = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ А} \cdot \text{с} = 1 \text{ Кл},$$

поскольку ампер-секунда (А · с) присвоено специальное наименование кулон (Кл).

Следовательно, единицей количества электричества СИ является кулон, равный количеству электричества, проходящему сквозь поперечное сечение при силе тока 1 А за время 1 с.

Если уравнение связи содержит числовой коэффициент, отличный от 1, то для образования когерентной производной единицы СИ в правую часть уравнений подставляют такие величины со значениями в единицах СИ, которые после умножения на коэффициент дают общее числовое значение, равное числу 1.

Например, для образования когерентной единицы энергии СИ можно использовать уравнение связи между кинетической энергией материальной точки E , массой материальной точки m и скоростью движения точки v :

$$E = \frac{1}{2} mv^2. \quad (3.5)$$

После подстановки единиц СИ в правую часть уравнения (3.5) получают:

$$\begin{aligned} [E] &= \frac{1}{2} [2[m][v]^2] = \frac{1}{2} (2 \text{ кг}) \cdot (1 \text{ м/с})^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2 = \\ &= (1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2) \cdot (1 \text{ м}) = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Дж}, \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} [E] &= \frac{1}{2} [m] \{ \sqrt{2} |v| \}^2 = \frac{1}{2} (1 \text{ кг}) (\sqrt{2} \text{ м/с})^2 = \\ &= 1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2 \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Следовательно, единицей энергии СИ является джоуль (присвоенное специальное наименование ньютон-метру для работы и энергии), равный кинетической энергии материальной точки массой 2 кг, движущейся со скоростью 1 м/с, или же материальной точки массой 1 кг, движущейся со скоростью $\sqrt{2}$ м/с.

Очевидно, что единицы СИ скорости (метр в секунду), количества электричества (кулон), кинетической энергии (джоуль), найденные из простейших уравнений связи между величинами, могут быть использованы в качестве единиц других величин той же физической природы.

§ 3.11. РАЗМЕРНОСТИ И ЕДИНИЦЫ СИ ВАЖНЕЙШИХ ПРОИЗВОДНЫХ ВЕЛИЧИН ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

Площадь

Определяющее уравнение (для площади квадрата):

$$S = l^2, \quad (3.6)$$

где S — площадь квадрата; l — длина стороны квадрата.

Размерность и единица площади СИ:

$$\begin{aligned} \dim S &= \dim l^2 = L^2; \\ [S] &= [l^2] = [l]^2 = (1 \text{ м})^2 = 1 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Квадратный метр равен площади квадрата, длины сторон которого равны 1 м.

Объем, вместимость

Определяющее уравнение (для объема куба):

$$V = l^3, \quad (3.7)$$

где V — объем куба; l — длина ребра куба.

Размерность и единица объема СИ:

$$\begin{aligned} \dim V &= \dim l^3 = L^3; \\ [V] &= [l^3] = [l]^3 = (1 \text{ м})^3 = 1 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Кубический метр равен объему куба с ребрами, длины которых равны 1 м.

Скорость (линейная)

Определяющее уравнение, единица и определение единицы скорости см. с. 72. Размерность: $\dim v = LT^{-1}$.

Ускорение (линейное)

Определяющее уравнение:

$$a = \Delta v / t = (v_2 - v_1) / t, \quad (3.8)$$

где a — ускорение прямолинейно и равноускоренно движущейся точки; v_2 и v_1 — конечная и начальная скорости движущейся точки ($\Delta v = v_2 - v_1$); t — время изменения скорости от значения v_1 до значения v_2 .

Размерность и единица ускорения СИ:

$$\dim a = \dim \Delta v / \dim t = LT^{-1} / T = LT^{-2};$$
$$[a] = [\Delta v] / [t] = (1 \text{ м/с}) / 1 \text{ с} = 1 \text{ м/с}^2.$$

Метр на секунду в квадрате равен ускорению прямолинейно и равноускоренно движущейся точки, при котором за время 1 с скорость точки изменяется на 1 м/с.

Ускорение свободного падения (часто неправильно называемое ускорением силы тяжести) зависит от пункта определения или измерения и уменьшается по мере удаления от Земли. В качестве нормального ускорения свободного падения g_n принята величина, равная 9,806 65 м/с².

Угловая скорость

Определяющее уравнение:

$$\omega = \varphi / t, \quad (3.9)$$

где ω — угловая скорость равномерно вращающейся точки; φ — угол поворота точки относительно оси вращения; t — время, за которое точка совершает поворот.

Размерность и единица угловой скорости СИ:

$$\dim \omega = \dim \varphi / \dim t = 1 / T = T^{-1};$$
$$[\omega] = [\varphi] / [t] = 1 \text{ рад/с} = 1 \text{ рад/с}.$$

Радян в секунду равен угловой скорости равномерно вращающейся точки, при которой за время 1 с точка совершает поворот относительно оси вращения на угол 1 рад.

Угловое ускорение

Определяющее уравнение:

$$\alpha = \Delta \omega / t = (\omega_2 - \omega_1) / t, \quad (3.10)$$

где α — угловое ускорение равноускоренно вращающейся точки; ω_1 и ω_2 — начальное и конечное значения угловой скорости точки; t — время, в течение которого произошло изменение угловой скорости ω .

Размерность и единица углового ускорения СИ:

$$\dim \alpha = \dim \Delta \omega / \dim t = T^{-1} / T = T^{-2};$$
$$[\alpha] = [\Delta \omega] / [t] = (1 \text{ рад/с}) / 1 \text{ с} = 1 \text{ рад/с}^2.$$

Радян на секунду в квадрате равен угловому ускорению равноускоренно вращающейся точки, при котором за время 1 с угловая скорость точки изменяется на 1 рад/с.

§ 3.12. РАЗМЕРНОСТИ И ЕДИНИЦЫ СИ ВАЖНЕЙШИХ ПРОИЗВОДНЫХ ВЕЛИЧИН ПЕРИОДИЧЕСКИХ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ЯВЛЕНИЙ

Частота периодического процесса (сокращенно частота)

Определяющее уравнение:

$$\nu = 1 / T, \quad (3.11)$$

где ν — частота периодического процесса; T — период, равный времени свершения одного цикла.

Размерность и единица частоты СИ:

$$\dim \nu = \dim (1 / T) = 1 / \dim T = 1 / T = T^{-1};$$
$$[\nu] = 1 / [T] = 1 / 1 \text{ с} = 1 \text{ с}^{-1}.$$

Единице частоты периодического процесса СИ присвоено специальное наименование — герц (Гц), в честь немецкого физика Генриха Герца (1857—1894).

Герц равен частоте периодического процесса, при которой за время 1 с совершается один цикл периодического процесса.

Частота вращения

Определяющее уравнение (для равномерного вращения):

$$n = N / t, \quad (3.12)$$

где n — частота вращения (часто неправильно называемая числом оборотов, числом оборотов в минуту, числом оборотов в секунду); N — число циклов равномерного вращения; t — время вращения.

Размерность и единица вращения СИ:

$$\dim n = \dim N / \dim t = 1 / T = T^{-1};$$
$$[n] = [N] / [t] = 1 / 1 \text{ с} = 1 \text{ с}^{-1}.$$

Секунда в минус первой степени равна частоте равномерного вращения, при которой за время 1 с тело совершает один цикл вращения (один полный оборот).

Аналогично определяется единица частоты дискретных событий (частоты импульсов, частоты ударов), равная отношению числа дискретных событий ко времени их свершения.

Секунда в минус первой степени равна частоте дискретных событий (ударов, импульсов), при которой за время 1 с совершается одно дискретное событие.

Угловая частота

Определяющее уравнение:

$$\omega = 2\pi\nu, \quad (3.13)$$

где ω — угловая (циклическая, круговая) частота; ν — частота (колебаний).

Размерность и единица угловой частоты СИ:

$$\dim \omega = \dim 2\pi\nu = \dim \nu = T^{-1};$$

$$[\omega] = [2\pi\nu] = [\nu] = 1 \text{ с}^{-1}.$$

Секунда в минус первой степени равна угловой частоте, при которой за время 1 с совершается 2π циклов вращения.

Длина волны

Определяющее уравнение:

$$\lambda = cT = c/\nu, \quad (3.14)$$

где λ — длина волны; c — скорость распространения волны; T — период колебаний; ν — частота колебаний.

Размерность и единица длины волны СИ:

$$\dim \lambda = \dim c/\dim \nu = LT^{-1}/T^{-1} = L;$$

$$[\lambda] = [c]/[\nu] = 1 \text{ м}/1 \text{ с}^{-1} = 1 \text{ м}.$$

Метр равен длине волны, при которой частота колебаний 1 Гц соответствует скорости распространения волны 1 м/с.

Волновое число

Определяющее уравнение:

$$\sigma = 1/\lambda, \quad (3.15)$$

где σ — волновое число; λ — длина волны.

Размерность и единица волнового числа СИ:

$$\dim \sigma = 1/\dim \lambda = 1/L = L^{-1};$$

$$[\sigma] = 1/[\lambda] = 1/1 \text{ м} = 1 \text{ м}^{-1}.$$

Метр в минус первой степени равен волновому числу колебаний с длиной волны 1 м.

§ 3.13. РАЗМЕРНОСТИ И ЕДИНИЦЫ СИ ВАЖНЕЙШИХ ПРОИЗВОДНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Плотность (плотность массы)

Определяющее уравнение (для однородного вещества):

$$\rho = m/V, \quad (3.16)$$

где ρ — плотность однородного вещества; m — масса вещества; V — объем вещества.

Размерность и единица плотности СИ:

$$\dim \rho = \dim m/\dim V = M/L^3 = L^{-3}M;$$

$$[\rho] = [m]/[V] = 1 \text{ кг}/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Килограмм на кубический метр равен плотности однородного вещества, масса которого при объеме 1 м^3 равна 1 кг.

Линейная плотность

Определяющее уравнение:

$$\rho_l = m/l, \quad (3.17)$$

где ρ_l — линейная плотность тела; m — масса тела; l — длина тела.

Размерность и единица линейной плотности СИ:

$$\dim \rho_l = \dim m/\dim l = M/L = L^{-1}M;$$

$$[\rho_l] = [m]/[l] = 1 \text{ кг}/1 \text{ м} = 1 \text{ кг}/\text{м}.$$

Килограмм на метр равен линейной плотности тела, масса которого при длине 1 м равна 1 кг.

Поверхностная плотность

Определяющее уравнение:

$$\rho_s = m/S, \quad (3.18)$$

где ρ_s — поверхностная плотность тела; m — масса тела; S — площадь поверхности тела.

Размерность и единица поверхностной плотности СИ:

$$\dim \rho_s = \dim m/\dim S = M/L^2 = L^{-2}M;$$

$$[\rho_s] = [m]/[S] = 1 \text{ кг}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ кг}/\text{м}^2.$$

Килограмм на квадратный метр равен поверхностной плотности тела, масса которого при площади поверхности 1 м^2 равна 1 кг.

Удельный объем

Определяющее уравнение (для однородного вещества)

$$v = V/m, \quad (3.19)$$

где v — удельный объем однородного вещества; V — объем вещества; m — масса вещества.

Размерность и единица удельного объема СИ:

$$\dim v = \dim V / \dim m = L^3/M = L^3M^{-1}; \\ [v] = [V]/[m] = 1 \text{ м}^3/1 \text{ кг} = 1 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Кубический метр на килограмм равен удельному объему однородного вещества, объем которого при массе 1 кг равен 1 м³.

Импульс (количество движения)

Определяющее уравнение (для поступательного движения материальной точки):

$$p = mv, \quad (3.20)$$

где p — импульс поступательно движущейся точки; m — масса точки; v — скорость точки.

Размерность и единица импульса СИ:

$$\dim p = \dim m \cdot \dim v = M \cdot LT^{-1} = LMT^{-1}; \\ [p] = [m][v] = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

Килограмм-метр в секунду равен импульсу материальной точки массой 1 кг, движущейся со скоростью 1 м/с.

Момент инерции (динамический момент инерции)

Определяющее уравнение (для материальной точки):

$$I = mr^2, \quad (3.21)$$

где I — момент инерции материальной точки относительно некоторой оси вращения; m — масса материальной точки; r — расстояние материальной точки от оси вращения.

Размерность и единица момента инерции СИ:

$$\dim I = \dim m \cdot \dim r^2 = M \cdot L^2 = L^2M; \\ [I] = [m][r^2] = 1 \text{ кг} \cdot (1 \text{ м})^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Килограмм-метр в квадрате равен моменту инерции материальной точки массой 1 кг, находящейся на расстоянии 1 м от оси вращения.

Момент инерции тела относительно некоторой оси вращения равен сумме произведений масс всех частиц тела на квадраты их расстояний от этой оси.

Сила

Определяющее уравнение:

$$F = ma, \quad (3.22)$$

где F — сила, действующая на тело; m — масса тела; a — ускорение тела в направлении действия силы.

Размерность и единица силы СИ:

$$\dim F = \dim m \cdot \dim a = M \cdot LT^{-2} = LMT^{-2}; \\ [F] = [m][a] = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2.$$

Этой единице присвоено специальное наименование ньюто н (Н), в честь английского физика, математика и астронома Исаака Ньютона (1643—1727).

Ньютон равен силе, сообщаемой телу массой 1 кг ускорение 1 м/с² в направлении действия силы.

Ньютон является также единицей веса и силы тяжести СИ.

Момент силы

Определяющее уравнение:

$$M = Fr, \quad (3.23)$$

где M — момент силы относительно некоторой точки; F — сила; r — расстояние от линии действия силы.

Размерность и единица момента силы СИ:

$$\dim M = \dim F \cdot \dim r = LMT^{-2} \cdot L = L^2MT^{-2}; \\ [M] = [F][r] = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ньютон-метр равен моменту силы, создаваемому силой 1 Н, относительно точки, расположенной на расстоянии 1 м от линии действия силы.

Импульс силы

Определяющее уравнение:

$$J = Ft, \quad (3.24)$$

где J — импульс силы; F — сила; t — время, в течение которого действует сила.

Размерность и единица импульса силы СИ:

$$\dim J = \dim F \cdot \dim t = LMT^{-2} \cdot T = LMT^{-1}; \\ [J] = [F][t] = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ Н} \cdot \text{с}.$$

Ньютон-секунда равна импульсу силы, вызываемому силой 1 Н, действующей в течение времени 1 с.

Давление

Определяющее уравнение (для равномерно распределенной по поверхности силы):

$$p = F/S, \quad (3.25)$$

где p — давление, вызванное силой F , равномерно распределенной по поверхности; S — площадь поверхности, расположенной перпендикулярно силе.

Размерность и единица давления СИ:

$$\dim p = \dim F / \dim S = \text{LMT}^{-2} / \text{L}^2 = \text{L}^{-1} \text{MT}^{-2}; \\ [p] = [F]/[S] = 1 \text{ Н} / 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Н/м}^2.$$

Этой единице давления СИ присвоено специальное наименование **п а с к а л ь** (Па), в честь французского математика и физика Блеза Паскаля (1623—1662).

Паскаль равен давлению, вызываемому силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м², расположенной перпендикулярно силе.

Нормальное механическое напряжение

Определяющее уравнение (для равномерно распределенной по сечению упругой силы):

$$\sigma = F/S, \quad (3.26)$$

где σ — нормальное механическое напряжение; F — равномерно распределенная упругая сила; S — площадь сечения тела, расположенного перпендикулярно силе.

Размерность и единица нормального механического напряжения СИ:

$$\dim \sigma = \dim F / \dim S = \text{LMT}^{-2} / \text{L}^2 = \text{L}^{-1} \text{MT}^{-2}; \\ [\sigma] = [F]/[S] = 1 \text{ Н} / 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Н/м}^2.$$

Этой единице нормального механического напряжения (как и тангенциального механического напряжения) присвоено наименование **п а с к а л ь** (Па), как и единице давления.

Паскаль равен нормальному механическому напряжению, вызываемому упругой силой 1 Н, при равномерном ее распределении по сечению площадью 1 м², расположенному перпендикулярно силе.

Модуль продольной упругости (модуль Юнга)

Определяющее уравнение:

$$E = \sigma/\epsilon, \quad (3.27)$$

где E — модуль продольной упругости (модуль Юнга); σ — нормальное механическое напряжение упругого материала; ϵ — относительное удлинение тела (безразмерная величина), рав-

ное отношению абсолютного удлинения тела к первоначальной длине ($\epsilon = \Delta l/l_0 = (l - l_0)/l_0$).

Размерность и единица модуля продольной упругости СИ:

$$\dim E = \dim \sigma / \dim \epsilon = \text{L}^{-1} \text{MT}^{-2} / 1 = \text{L}^{-1} \text{MT}^{-2}; \\ [E] = [\sigma]/[\epsilon] = 1 \text{ Па} / 1 = 1 \text{ Па}.$$

Паскаль равен модулю продольной упругости тела, испытывающего относительное удлинение, равное 1, при нормальном механическом напряжении 1 Па.

Динамическая вязкость (сокращенно вязкость) среды

Определяющее уравнение (для ламинарного течения жидкости или газа):

$$\eta = \tau / \text{grad } v = \tau / [(v_2 - v_1)/l], \quad (3.28)$$

где η — динамическая вязкость среды; τ — тангенциальное напряжение в движущейся среде (жидкости или газе); $\text{grad } v = (v_2 - v_1)/l$ — градиент скорости — отношение разности скоростей $(v_2 - v_1)$ двух слоев жидкости, находящихся на расстоянии l по нормали к направлению скорости.

Размерность и единица динамической вязкости среды СИ:

$$\dim \eta = \dim \tau / \dim \text{grad } v = \text{L}^{-1} \text{MT}^{-2} / (\text{LT}^{-1}/\text{L}) = \text{L}^{-1} \text{MT}^{-1}; \\ [\eta] = [\tau]/[\text{grad } v] = 1 \text{ Па} / (1 \text{ с}^{-1}) = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Паскаль-секунда равна динамической вязкости среды, тангенциальное напряжение в которой при ламинарном движении и при разности скоростей слоев 1 м/с, находящихся на расстоянии 1 м по нормали к направлению скорости, составляет 1 Па.

Кинематическая вязкость среды

Определяющее уравнение:

$$\nu = \eta/\rho, \quad (3.29)$$

где ν — кинематическая вязкость среды; η — динамическая вязкость среды; ρ — плотность среды.

Размерность и единица кинематической вязкости СИ:

$$\dim \nu = \dim \eta / \dim \rho = \text{L}^{-1} \text{MT}^{-1} / \text{L}^{-3} \text{M} = \text{L}^2 \text{T}^{-1}; \\ [\nu] = [\eta]/[\rho] = 1 \text{ Па} \cdot \text{с} / (1 \text{ кг/м}^3) = 1 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Квадратный метр на секунду равен кинематической вязкости, при которой динамическая вязкость среды плотностью 1 кг/м³ равна 1 Па · с.

Поверхностное натяжение

Определяющее уравнение:

$$\gamma = F_n/l, \quad (3.30)$$

где γ — поверхностное натяжение; F_n — сила, приложенная по

нормали к участку контура свободной поверхности жидкости или газа; l — длина участка контура.

Размерность и единица поверхностного натяжения СИ:

$$\dim \gamma = \dim F_n / \dim l = \text{ЛМТ}^{-2} / \text{Л} = \text{МТ}^{-2};$$

$$[\gamma] = [F_n] / [l] = 1 \text{ Н} / 1 \text{ м} = 1 \text{ Н/м}.$$

Ньютон на метр равен поверхностному натяжению, создаваемому силой 1 Н, приложенной к участку контура свободной поверхности длиной 1 м и действующей нормально к контуру и по касательной к поверхности.

Работа

Определяющее уравнение (для постоянной силы):

$$A = Fs, \quad (3.31)$$

где A — работа, совершенная постоянной силой F ; s — прямолинейное перемещение точки приложения силы в направлении действия силы.

Размерность и единица работы СИ:

$$\dim A = \dim F \cdot \dim s = \text{ЛМТ}^{-2} \cdot \text{Л} = \text{Л}^2\text{МТ}^{-2};$$

$$[A] = [F][s] = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Этой единице работы присвоено специальное наименование **джоуль (Дж)**, в честь английского ученого Джеймса Джоуля (1818—1889).

Джоуль равен работе, совершаемой силой 1 Н при перемещении точки приложения силы на расстояние 1 м в направлении действия силы.

Джоуль также является единицей энергии (кинетической, потенциальной) СИ.

Удельная работа

Определяющее уравнение:

$$a = A/m, \quad (3.32)$$

где a — удельная работа; A — работа; m — масса тела, совершающего работу.

Размерность и единица удельной работы СИ:

$$\dim a = \dim A / \dim m = \text{Л}^2\text{МТ}^{-2} / \text{М} = \text{Л}^2\text{Т}^{-2};$$

$$[a] = [A] / [m] = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ кг} = 1 \text{ Дж/кг}.$$

Джоуль на килограмм равен удельной работе, совершаемой силой, приложенной к телу массой 1 кг, при которой работа силы равна 1 Дж.

Мощность

Определяющее уравнение (для равномерной работы):

$$P = A/t, \quad (3.33)$$

где P — мощность; A — равномерно совершенная работа; t — время совершения работы.

Размерность и единица мощности СИ:

$$\dim P = \dim A / \dim t = \text{Л}^2\text{МТ}^{-2} / \text{Т} = \text{Л}^2\text{МТ}^{-3};$$

$$[P] = [A] / [t] = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ с} = 1 \text{ Дж/с}.$$

Единице мощности СИ — джоулю в секунду — присвоено специальное наименование **ватт (Вт)**, в честь английского механика и изобретателя Джеймса Уатта (1736—1819).

Ватт равен мощности, при которой за время 1 с совершается работа 1 Дж.

Объемный расход

Определяющее уравнение (для равномерно перемещающегося вещества):

$$Q_V = V/t, \quad (3.34)$$

где Q_V — объемный расход вещества (жидкости или газа); V — объем перемещающегося вещества; t — время перемещения вещества.

Размерность и единица объемного расхода СИ:

$$\dim Q_V = \dim V / \dim t = \text{Л}^3 / \text{Т} = \text{Л}^3\text{Т}^{-1};$$

$$[Q_V] = [V] / [t] = 1 \text{ м}^3 / 1 \text{ с} = 1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Кубический метр в секунду равен объемному расходу, при котором сквозь определенное сечение за время 1 с равномерно перемещается вещество объемом 1 м³.

Массовый расход

Определяющее уравнение (для равномерно перемещающегося вещества):

$$Q_m = m/t, \quad (3.35)$$

где Q_m — массовый расход вещества (жидкости или газа); m — масса перемещающегося вещества; t — время перемещения вещества.

Размерность и единица массового расхода СИ:

$$\dim Q_m = \dim m / \dim t = \text{М} / \text{Т} = \text{МТ}^{-1};$$

$$[Q_m] = [m] / [t] = 1 \text{ кг} / 1 \text{ с} = 1 \text{ кг/с}.$$

Килограмм в секунду равен массовому расходу, при котором сквозь определенное сечение за время 1 с равномерно перемещается вещество массой 1 кг.

Температура Цельсия

Определяющее уравнение:

$$t = T - 273,15, \quad (3.36)$$

где t — температура Цельсия, °С; T — температура Кельвина, К. По размеру градус Цельсия равен кельвину:

$$\Delta t = \Delta T, \quad (3.36 \text{ а})$$

где Δt — разность температур Цельсия, °С (или К); ΔT — разность температур Кельвина, К.

Температурный коэффициент линейного расширения

Определяющее уравнение:

$$\alpha_l = \Delta l / (l_0 \Delta T), \quad (3.37)$$

где α_l — температурный коэффициент линейного расширения; Δl — изменение длины тела; l_0 — начальная длина тела; ΔT — изменение температуры тела по отношению к температуре, принятой за начальную; $\Delta l / l_0$ — относительное изменение длины тела.

Размерность и единица температурного коэффициента линейного расширения СИ:

$$\dim \alpha_l = \dim \Delta l / (\dim l_0 \cdot \dim \Delta T) = L / (L \cdot \Theta) = \Theta^{-1};$$

$$[\alpha_l] = [\Delta l] / (l_0 [\Delta T]) = 1 \text{ м} / (1 \text{ м} \cdot 1 \text{ К}) = 1 \text{ К}^{-1}.$$

Кельвин в минус первой степени равен температурному коэффициенту линейного расширения, при котором изменение температуры на 1 К (по отношению к температуре, принятой за начальную) вызывает относительное изменение длины, равное единице.

В определении вместо 1 К допускается применять 1 °С и вместо выражения «кельвин в минус первой степени» — выражение «градус Цельсия в минус первой степени».

Температурный коэффициент объемного расширения

Определяющее уравнение:

$$\alpha_v = \Delta V / (V_0 \Delta T), \quad (3.38)$$

где α_v — температурный коэффициент объемного расширения; ΔV — изменение объема тела; V_0 — начальный объем тела; ΔT — изменение температуры тела по отношению к температуре, принятой за начальную; $\Delta V / V_0$ — относительное изменение объема тела.

Размерность и единица температурного коэффициента объемного расширения СИ:

$$\dim \alpha_v = \dim \Delta V / (\dim V_0 \cdot \dim \Delta T) = L^3 / (L^3 \cdot \Theta) = \Theta^{-1};$$

$$[\alpha_v] = [\Delta V] / (V_0 [\Delta T]) = 1 \cdot \text{м}^3 / (1 \cdot \text{м}^3 \cdot 1 \text{ К}) = 1 \text{ К}^{-1}.$$

Кельвин в минус первой степени равен температурному коэффициенту объемного расширения, при котором изменение температуры на 1 К (по отношению к температуре, принятой за начальную) вызывает относительное изменение объема, равное единице.

В определении вместо 1 К допускается применять 1 °С и вместо выражения «кельвин в минус первой степени» — выражение «градус Цельсия в минус первой степени».

Температурный коэффициент давления

Определяющее уравнение:

$$\alpha_p = \Delta p / (p_0 \Delta T), \quad (3.39)$$

где α_p — температурный коэффициент давления; Δp — изменение давления тела; p_0 — начальное давление тела; $\Delta p / p_0$ — относительное изменение давления тела; ΔT — изменение температуры тела по отношению к температуре, принятой за начальную.

Размерность и единица температурного коэффициента давления СИ:

$$\dim \alpha_p = \Theta^{-1}; [\alpha_p] = 1 \text{ К}^{-1}.$$

Кельвин в минус первой степени равен температурному коэффициенту давления, при котором изменение температуры на 1 К (по отношению к температуре, принятой за начальную) вызывает относительное изменение давления, равное единице.

Температурный градиент

Определяющее уравнение:

$$\text{grad } T = \Delta T / l, \quad (3.40)$$

где $\text{grad } T$ — температурный градиент поля; ΔT — изменение температуры на участке в направлении градиента температур; l — длина участка.

Размерность и единица температурного градиента СИ:

$$\dim \text{grad } T = \dim \Delta T / \dim l = \Theta / L = L^{-1} \Theta;$$

$$[\text{grad } T] = [\Delta T] / [l] = 1 \text{ К} / 1 \text{ м} = 1 \text{ К} / \text{м}.$$

Кельвин на метр равен температурному градиенту поля, в котором на участке длиной 1 м температура в направлении градиента температур изменяется на 1 К.

Количество теплоты (теплота)

Определяющее уравнение:

$$Q = A, \quad (3.41)$$

где Q — количество теплоты; A — работа, эквивалентная количеству теплоты.

Размерность количества теплоты та же, что и размерность работы: $\dim Q = L^2MT^{-2}$; единица количества теплоты СИ та же, что и единица работы СИ: $[Q] = 1 \text{ Дж}$.

Джоуль равен количеству теплоты, эквивалентному работе 1 Дж.

Размерность и единица СИ внутренней энергии, энтальпии ($H = U + pV$, где H — энтальпия, U — внутренняя энергия, p — давление, V — объем), теплоты фазового превращения, теплоты химической реакции те же, что и количества теплоты.

Удельное количество теплоты

Определяющее уравнение:

$$q = Q/m, \quad (3.42)$$

где q — удельное количество теплоты процесса; Q — количество теплоты, подводимое к веществу или отводимое от него; m — масса вещества.

Размерность и единица удельного количества теплоты СИ:

$$\dim q = \dim Q / \dim m = L^2MT^{-2}/M = L^2T^{-2}; \\ [q] = [Q]/[m] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ кг} = 1 \text{ Дж}/\text{кг}.$$

Джоуль на килограмм равен удельному количеству теплоты процесса, в котором к веществу массой 1 кг подводится (или отводится от него) количество теплоты 1 Дж.

Теплоемкость тела (или системы тел)

Определяющее уравнение:

$$C = Q/\Delta T, \quad (3.43)$$

где C — теплоемкость тела (системы); Q — количество теплоты, подводимое к телу (или отводимое от него); ΔT — изменение температуры при подводе (или отводе) теплоты.

Размерность и единица теплоемкости СИ:

$$\dim C = \dim Q / \dim \Delta T = L^2MT^{-2}/\Theta = L^2MT^{-2}\Theta^{-1}; \\ [C] = [Q]/[\Delta T] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ К} = 1 \text{ Дж}/\text{К}.$$

Джоуль на кельвин равен теплоемкости тела, повышающего температуру на 1 К при сообщении ему количества теплоты 1 Дж. Вместо 1 Дж/К допускается применять 1 Дж/°С.

Удельная теплоемкость

Определяющее уравнение:

$$c = C/m, \quad (3.44)$$

где c — удельная теплоемкость вещества; C — теплоемкость вещества; m — масса тела.

Размерность и единица удельной теплоемкости СИ:

$$\dim c = \dim C / \dim m = L^2MT^{-2}\Theta^{-1}/M = L^2T^{-2}\Theta^{-1}; \\ [c] = [C]/[m] = (1 \text{ Дж}/\text{К})/1 \text{ кг} = 1 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Джоуль на килограмм-кельвин равен удельной теплоемкости вещества, имеющего при массе 1 кг теплоемкость 1 Дж/кг. Допускается применять 1 Дж/(кг · °С) вместо 1 Дж/(кг · К).

Тепловой поток

Определяющее уравнение:

$$\Phi = Q/t, \quad (3.45)$$

где Φ — тепловой поток (или тепловая мощность); Q — подводимое или отводимое количество теплоты; t — время, в течение которого подводится или отводится теплота.

Размерность и единица теплового потока СИ:

$$\dim \Phi = \dim Q / \dim t = L^2MT^{-2}/T = L^2MT^{-3}; \\ [\Phi] = [Q]/[t] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ с} = 1 \text{ Дж}/\text{с}.$$

Единице теплового потока СИ присвоено специальное наименование в атт (Вт).

Ватт равен тепловому потоку, при котором в 1 с подводится или отводится количество теплоты 1 Дж.

Поверхностная плотность теплового потока

Определяющее уравнение (для потока, равномерно распределенного по поверхности):

$$\varphi = \Phi/S, \quad (3.46)$$

где φ — поверхностная плотность теплового потока; Φ — тепловой поток, равномерно распределенный по поверхности; S — площадь поверхности, расположенной перпендикулярно потоку.

Размерность и единица поверхностной плотности теплового потока СИ:

$$\dim \varphi = \dim \Phi / \dim S = L^2MT^{-3}/L^2 = MT^{-3}; \\ [\varphi] = [\Phi]/[S] = 1 \text{ Вт}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Ватт на квадратный метр равен поверхностной плотности теплового потока 1 Вт, равномерно распределенного по поверхности площадью 1 м².

Теплопроводность вещества

Определяющее уравнение (для стационарного режима):

$$\lambda = \varphi / (\Delta T / d) = \varphi / \text{grad } T, \quad (3.47)$$

где λ — теплопроводность вещества; φ — поверхностная плотность теплового потока, направленного по нормали к изотермической поверхности; $\Delta T / d$ — температурный градиент (ΔT — разность температур; d — толщина образца).

Размерность и единица теплопроводности СИ:

$$\dim \lambda = \dim \varphi / (\dim \Delta T / \dim d) = \text{MT}^{-3} / (\Theta / \text{L}) = \text{LMT}^{-3} / \Theta = \\ = \text{LMT}^{-3} \Theta^{-1};$$

$$[\lambda] = [\varphi] / [(\Delta T) / d] = (1 \text{ Вт/м}^2) / (1 \text{ К/м}) = 1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Ватт на метр-кельвин равен теплопроводности вещества, в котором при стационарном режиме с поверхностной плотностью теплового потока 1 Вт/м^2 устанавливается температурный градиент 1 К/м .

Если школьники незнакомы с понятием температурного градиента, то можно предложить следующее определяющее уравнение для теплопроводности:

$$\lambda = \varphi d / \Delta T. \quad (3.47 \text{ а})$$

Ватт на метр-кельвин равен теплопроводности вещества, в котором при стационарном режиме с поверхностной плотностью потока 1 Вт/м^2 и толщине образца 1 м устанавливается разность температур 1 К .

Вместо $1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ допускается применять $1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

§ 3.15. РАЗМЕРНОСТИ И ЕДИНИЦЫ СИ ВАЖНЕЙШИХ ПРОИЗВОДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН

Электрический заряд (количество электричества)

Определяющее уравнение:

$$Q = It, \quad (3.48)$$

где Q — электрический заряд; I — сила электрического тока, действующего в течение времени t .

Размерность и единица электрического заряда СИ:

$$\dim Q = \dim I \cdot \dim t = \text{I} \cdot \text{T} = \text{TI};$$

$$[Q] = [I] [t] = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}.$$

Этой единице присвоено специальное наименование кулон (К), в честь французского ученого Шарля Кулона (1736—1806).

Кулон равен количеству электричества, проходящему сквозь поперечное сечение проводника при силе тока 1 А за время 1 с .

Плотность электрического заряда (пространственная плотность электрического заряда)

Определяющее уравнение:

$$\rho = Q / V, \quad (3.49)$$

где ρ — плотность (пространственная плотность) электрического заряда, равномерно распределенного в пространстве; Q — электрический заряд, находящийся в пространстве объемом V .

Размерность и единица пространственной плотности электрического заряда СИ:

$$\dim \rho = \dim Q / \dim V = \text{TI} / \text{L}^3 = \text{L}^{-3} \text{TI};$$

$$[\rho] = [Q] / [V] = 1 \text{ Кл/1 м}^3 = 1 \text{ Кл/м}^3.$$

Кулон на кубический метр равен пространственной плотности электрического заряда, при которой заряд, равномерно распределенный в пространстве объемом 1 м^3 , равен 1 Кл .

Поверхностная плотность электрического заряда

Определяющее уравнение:

$$\sigma = Q / S, \quad (3.50)$$

где σ — поверхностная плотность электрического заряда, равномерно распределенного по поверхности; Q — электрический заряд; S — площадь поверхности.

Размерность и единица поверхностной плотности электрического заряда СИ:

$$\dim \sigma = \dim Q / \dim S = \text{TI} / \text{L}^2 = \text{L}^{-2} \text{TI};$$

$$[\sigma] = [Q] / [S] = 1 \text{ Кл/1 м}^2 = 1 \text{ Кл/м}^2.$$

Кулон на квадратный метр равен поверхностной плотности электрического заряда, при которой заряд, равномерно распределенный по поверхности площадью 1 м^2 , равен 1 Кл .

Линейная плотность электрического заряда

Определяющее уравнение (для заряда, равномерно распределенного по длине линии):

$$\tau = Q / l, \quad (3.51)$$

где τ — линейная плотность электрического заряда, равномерно распределенного по длине линии (нити, цилиндра); Q — электрический заряд; l — длина линии.

Размерность и единица линейной плотности электрического заряда СИ:

$$\dim \tau = \dim Q / \dim l = \text{TI} / \text{L} = \text{L}^{-1} \text{TI};$$

$$[\tau] = [Q] / [l] = 1 \text{ Кл/1 м} = 1 \text{ Кл/м}.$$

Кулон на метр равен линейной плотности электрического заряда, при которой заряд, равномерно распределенный по линии длиной 1 м, равен 1 Кл.

Плотность (поверхностная) электрического тока

Определяющее уравнение (для тока, равномерно распределенного по поперечному сечению):

$$J = I/S, \quad (3.52)$$

где J — плотность электрического тока; I — сила электрического тока; S — площадь поперечного сечения проводника.

Размерность и единица плотности электрического тока СИ:

$$\dim J = \dim I / \dim S = I/L^2 = L^{-2}I;$$

$$[J] = [I]/[S] = 1 \text{ А}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ А}/\text{м}^2.$$

Ампер на квадратный метр равен плотности электрического тока, при которой сила тока, равномерно распределенного по поперечному сечению проводника площадью 1 м², равна 1 А.

Линейная плотность электрического тока

Определяющее уравнение (для тонкого листового материала):

$$A = I/b, \quad (3.53)$$

где A — линейная плотность электрического тока; I — сила тока; b — ширина тонкого листового проводника.

Размерность и единица линейной плотности электрического тока:

$$\dim A = \dim I / \dim b = I/L = L^{-1}I;$$

$$[A] = [I]/[b] = 1 \text{ А}/1 \text{ м} = 1 \text{ А}/\text{м}.$$

Ампер на метр равен линейной плотности электрического тока, при которой сила тока, равномерно распределенного по сечению тонкого листового проводника шириной 1 м, равна 1 А.

Электрический потенциал

Определяющее уравнение:

$$\varphi = A/Q, \quad (3.54)$$

где φ — электрический потенциал в данной точке электрического поля; A — работа по перемещению положительного электрического заряда Q по любой траектории из данной точки поля в точку с нулевым потенциалом (в нулевую точку).

Размерность и единица электрического потенциала СИ:

$$\dim \varphi = \dim A / \dim Q = L^2MT^{-2}/TI = L^2MT^{-3}I^{-1};$$

$$[\varphi] = [A]/[Q] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ Кл} = 1 \text{ Дж}/\text{Кл}.$$

Единице Дж/Кл присвоено специальное наименование вольт (В), в честь итальянского ученого Алессандро Вольта (1745—1827).

Вольт равен электрическому потенциалу в данной точке электрического поля, при котором работа по перемещению положительного заряда 1 Кл по любой траектории из данной точки в точку с нулевым потенциалом равна 1 Дж.

Электрическое напряжение (или разность потенциалов)

Определяющее уравнение:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = A_{AB}/Q, \quad (3.55)$$

где U_{AB} — электрическое напряжение между двумя точками A и B электрического поля; $\varphi_A - \varphi_B$ — разность электрических потенциалов в точках A и B ; Q — электрический заряд; A_{AB} — работа по перемещению положительного заряда Q из точки A в точку B .

Размерность и единица электрического напряжения СИ:

$$\dim U_{AB} = \dim A_{AB} / \dim Q = L^2MT^{-2}/TI = L^2MT^{-3}I^{-1};$$

$$[U_{AB}] = [A_{AB}]/[Q] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ Кл} = 1 \text{ Дж}/\text{Кл} = 1 \text{ В}.$$

Вольт равен электрическому напряжению между двумя точками внутри проводника, при котором работа по перемещению положительного заряда 1 Кл по любой траектории между этими двумя точками равна 1 Дж.

Электродвижущая сила (ЭДС)

Определяющее уравнение:

$$\mathcal{E} = A/Q, \quad (3.56)$$

где \mathcal{E} — электродвижущая сила источника тока; A — работа сторонних сил; Q — положительный электрический заряд, переносимый от отрицательного полюса источника к положительному полюсу.

Размерность и единица электродвижущей силы СИ:

$$\dim \mathcal{E} = \dim A / \dim Q = L^2MT^{-2}/TI = L^2MT^{-3}I^{-1};$$

$$[\mathcal{E}] = [A]/[Q] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ Кл} = 1 \text{ Дж}/\text{Кл} = 1 \text{ В}.$$

Вольт равен электродвижущей силе источника тока, при которой совершается работа сторонними силами по перемещению положительного заряда 1 Кл от отрицательного к положительному полюсу источника вдоль всей электрической цепи, равная 1 Дж.

Напряженность электрического поля

Определяющее уравнение (для однородного электрического поля):

$$E = F/Q, \quad (3.57)$$

где E — напряженность электрического поля в данной точке; F — сила, с которой поле действует на точечный заряд; Q — точечный заряд.

Размерность и единица напряженности электрического поля СИ:

$$\dim E = \dim F / \dim Q = \text{LMT}^{-2} / \text{T} = \text{LMT}^{-3}\text{I}^{-1}; \\ [E] = [F] / [Q] = 1 \text{ Н} / 1 \text{ Кл} = 1 \text{ Н/Кл} = 1 \text{ В/м}.$$

Вольт на метр равен напряженности электрического поля, при которой поле действует на точечный заряд 1 Кл с силой 1 Н.

Электрическая емкость

Определяющее уравнение для конденсатора:

$$C = Q/U, \quad (3.58)$$

где C — емкость конденсатора; Q — заряд конденсатора; U — напряжение между двумя обкладками конденсатора.

Размерность и единица электрической емкости СИ:

$$\dim C = \dim Q / \dim U = \text{T} / \text{L}^2 \text{MT}^{-3}\text{I}^{-1} = \text{L}^{-2} \text{M}^{-1} \text{T}^4 \text{I}^2; \\ [C] = [Q] / [U] = 1 \text{ Кл} / 1 \text{ В} = 1 \text{ Кл/В}.$$

Единице электрической емкости СИ — кулону на вольт (Кл/В) — присвоено специальное наименование фарад (Ф), в честь английского ученого Майкла Фарадея (1791—1867).

Фарад равен электрической емкости конденсатора, при которой заряд 1 Кл создает между обкладками конденсатора напряжение 1 В.

Электрическое (омическое) сопротивление

Определяющее уравнение (для постоянного тока):

$$R = U/I, \quad (3.59)$$

где R — электрическое сопротивление проводника; U — напряжение между концами проводника; I — сила электрического тока в проводнике.

Размерность и единица электрического сопротивления СИ:

$$\dim R = \dim U / \dim I = \text{L}^2 \text{MT}^{-3}\text{I}^{-1} / \text{I} = \text{L}^2 \text{MT}^{-3}\text{I}^{-2}; \\ [R] = [U] / [I] = 1 \text{ В} / 1 \text{ А} = 1 \text{ В/А}.$$

Этой единице (1 В/А) присвоено специальное наименование ом, в честь немецкого физика Георга Ома (1787—1854).

Ом равен электрическому сопротивлению проводника, между концами которого возникает напряжение 1 В при силе постоянного тока 1 А.

Удельное электрическое сопротивление

Определяющее уравнение:

$$\rho = RS/l, \quad (3.60)$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление материала проводника; S — площадь поперечного сечения проводника; l — длина проводника; R — сопротивление проводника.

Размерность и единица удельного электрического сопротивления СИ:

$$\dim \rho = \dim R \cdot \dim S / \dim l = \text{L}^2 \text{MT}^{-3}\text{I}^{-2} \cdot \text{L}^2 / \text{L} = \text{L}^3 \text{MT}^{-3}\text{I}^{-2}; \\ [\rho] = [R] [S] / [l] = 1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ м}^2 / 1 \text{ м} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Ом-метр равен удельному электрическому сопротивлению материала проводника площадью поперечного сечения 1 м² и длиной 1 м, имеющего сопротивление 1 Ом.

Электрическая проводимость

Определяющее уравнение:

$$G = 1/R, \quad (3.61)$$

где G — электрическая проводимость участка цепи; R — электрическое сопротивление этого участка.

Размерность и единица электрической проводимости СИ:

$$\dim G = 1 / \dim R = 1 / (\text{L}^2 \text{MT}^{-3}\text{I}^{-2}) = \text{L}^{-2} \text{M}^{-1} \text{T}^3 \text{I}^2; \\ [G] = 1 / [R] = 1 / 1 \text{ Ом} = 1 \text{ Ом}^{-1}.$$

Этой единице электрической проводимости — ому в минус первой степени (Ом⁻¹) — присвоено на XIV ГКМВ (1971) специальное наименование с и м е н с, в честь немецкого ученого Эрнста Сименса (1816—1892).

Сименс равен электрической проводимости участка электрической цепи сопротивлением 1 Ом.

Удельная электрическая проводимость

Определяющее уравнение:

$$\gamma = 1/\rho, \quad (3.62)$$

где γ — удельная электрическая проводимость материала проводника; ρ — удельное электрическое сопротивление материала проводника.

Размерность и единица удельной электрической проводимости СИ:

$$\dim \gamma = 1/\dim \rho = 1/L^3 M T^{-3} I^{-2} = L^{-3} M^{-1} T^3 I^2;$$

$$[\gamma] = 1/[\rho] = 1/1 \text{ Ом} \cdot \text{м} = 1 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} = 1 \text{ См/м}.$$

Сименс на метр равен удельной электрической проводимости материала проводника, при которой удельное электрическое сопротивление материала проводника 1 Ом · м.

Магнитный поток (поток магнитной индукции)

Определяющее уравнение:

$$\Delta\Phi = QR, \quad (3.63)$$

где $\Delta\Phi$ — изменение магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную контуром проводника; Q — количество электричества, проходящее сквозь поперечное сечение проводника; R — сопротивление проводника.

Размерность и единица магнитного потока СИ:

$$\dim \Delta\Phi = \dim Q \cdot \dim R = T I \cdot L^2 M T^{-3} I^{-2} = L^2 M T^{-2} I^{-1};$$

$$[\Delta\Phi] = [Q][R] = 1 \text{ Кл} \cdot 1 \text{ Ом} = 1 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Единице магнитного потока СИ — вольт-секунде (В · с) — присвоено специальное наименование вебер (Вб), в честь немецкого ученого Вильгельма Вебера (1804—1891).

Вебер равен магнитному потоку, при убывании которого до нуля в сцепленной с ним электрической цепи сопротивлением 1 Ом сквозь поперечное сечение проводника проходит количество электричества 1 Кл.

Магнитная индукция (плотность магнитного потока)

Определяющее уравнение:

$$B = \Phi/S, \quad (3.64)$$

где B — магнитная индукция; Φ — магнитный поток сквозь поперечное сечение площадью S .

Размерность и единица магнитной индукции СИ:

$$\dim B = \dim \Phi / \dim S = L^2 M T^{-2} I^{-1} / L^2 = M T^{-2} I^{-1};$$

$$[B] = [\Phi]/[S] = 1 \text{ Вб/м}^2 = 1 \text{ Тл}.$$

Единице магнитной индукции СИ — веберу на квадратный метр — присвоено специальное наименование тесла (Тл), в честь сербского ученого Николы Тесла (1856—1943).

Тесла равна магнитной индукции, при которой сквозь поперечное сечение площадью 1 м², перпендикулярное направлению потока, проходит магнитный поток 1 Вб.

Индуктивность

Определяющее уравнение:

$$L = \Phi/I, \quad (3.65)$$

где L — индуктивность электрической цепи; Φ — магнитный поток, сквозь поверхность, ограниченную контуром проводника; I — сила постоянного тока в цепи.

Размерность и единица индуктивности СИ:

$$\dim L = \dim \Phi / \dim I = L^2 M T^{-2} I^{-1} / I = L^2 M T^{-2} I^{-2};$$

$$[L] = [\Phi]/[I] = 1 \text{ Вб/А}.$$

Этой единице индуктивности СИ — вебер на ампер — присвоено специальное наименование генри (Гн), в честь американского ученого Джозефа Генри (1797—1878).

Генри равен индуктивности электрической цепи, с которой при силе постоянного тока в ней 1 А сцепляется магнитный поток 1 Вб.

§ 3.16. РАЗМЕРНОСТИ И ЕДИНИЦЫ СИ ВАЖНЕЙШИХ ПРОИЗВОДНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Размерности и единицы СИ звукового давления (p), скорости звука (c) и звуковой энергии (W) те же, что давления, скорости и энергии в любой области измерений.

$$\dim p = L^{-1} M T^{-2}; \quad [p] = 1 \text{ Па}.$$

$$\dim c = L T^{-1}; \quad [c] = 1 \text{ м/с}.$$

$$\dim W = L^2 M T^{-2}; \quad [W] = 1 \text{ Дж}.$$

Плотность звуковой энергии

Определяющее уравнение:

$$\omega = W/V, \quad (3.66)$$

где ω — плотность звуковой энергии в канале; W — звуковая энергия; V — объем канала, в котором распространяется звук.

Размерность и единица звуковой энергии СИ:

$$\dim \omega = \dim W / \dim V = L^2 M T^{-2} / L^3 = L^{-1} M T^{-2};$$

$$[\omega] = [W]/[V] = 1 \text{ Дж/м}^3 = 1 \text{ Дж/м}^3.$$

Джоуль на кубический метр равен плотности звуковой энергии в канале объемом 1 м³ при звуковой энергии 1 Дж.

Поток звуковой энергии

Определяющее уравнение:

$$P = W/t, \quad (3.67)$$

где P — поток звуковой энергии (звуковая мощность); W — зву-

ковая энергия, переносимая сквозь данную площадку, перпендикулярную к направлению распространения звуковых волн; t — время переноса звуковой энергии.

Размерность и единица потока звуковой энергии (звуковой мощности) СИ:

$$\dim P = \dim W / \dim t = L^2MT^{-2}/T = L^2MT^{-3};$$

$$[P] = [W]/[t] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ с} = 1 \text{ Дж}/\text{с} = 1 \text{ Вт}.$$

Ватт равен потоку звуковой энергии, при котором за время 1 с переносится звуковая энергия 1 Дж сквозь площадку, перпендикулярную к направлению распространения звуковых волн.

Интенсивность звука

Определяющее уравнение:

$$I = P/S, \quad (3.68)$$

где I — интенсивность звука; P — поток звуковой энергии; S — площадь поперечного сечения канала.

Размерность и единица интенсивности звука СИ:

$$\dim I = \dim P / \dim S = L^2MT^{-3}/L^2 = MT^{-3};$$

$$[I] = [P]/[S] = 1 \text{ Вт}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Ватт на квадратный метр равен интенсивности звука при потоке звуковой энергии 1 Вт и площади поперечного сечения канала 1 м².

§ 3.17. РАЗМЕРНОСТИ И ЕДИНИЦЫ СИ ВАЖНЕЙШИХ ПРОИЗВОДНЫХ ВЕЛИЧИН ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Энергия излучения (лучистая энергия)

Размерность и единица СИ энергии излучения (лучистой энергии) те же, что и для любого вида энергии.

$$\dim Q_e = L^2MT^{-2}; [Q_e] = 1 \text{ Дж}.$$

Джоуль равен энергии излучения, эквивалентной работе 1 Дж.

Плотность (объемная) энергии излучения

Определяющее уравнение (для равномерного излучения):

$$w = Q_e/V, \quad (3.69)$$

где w — плотность энергии излучения; Q_e — энергия излучения в пространстве объемом V .

Размерность и единица плотности лучистой энергии СИ:

$$\dim w = \dim Q_e / \dim V = L^2MT^{-2}/L^3 = L^{-1}MT^{-2};$$

$$[w] = [Q_e]/[V] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ Дж}/\text{м}^3.$$

Джоуль на кубический метр равен плотности лучистой энергии, при которой тело объемом 1 м³ излучает энергию 1 Дж.

Лучистая экспозиция

Определяющее уравнение:

$$H_e = Q_e/S, \quad (3.70)$$

где H_e — лучистая экспозиция; Q_e — падающая энергия излучения; S — площадь поверхности, на которую падает излучение.

Размерность и единица лучистой экспозиции СИ:

$$\dim H_e = \dim Q_e / \dim S = L^2MT^{-2}/L^2 = MT^{-2};$$

$$[H_e] = [Q_e]/[S] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Дж}/\text{м}^2.$$

Джоуль на квадратный метр равен лучистой экспозиции, при которой на поверхность площадью 1 м² падает излучение энергией 1 Дж.

Не рекомендуется применять термин «энергетическая экспозиция» вместо современного наименования величины «лучистая экспозиция».

Поток излучения (лучистый поток; мощность излучения)

Определяющее уравнение:

$$\Phi_e = Q_e/t, \quad (3.71)$$

где Φ_e — поток излучения; Q_e — энергия излучения; t — время излучения.

Размерность и единица потока излучения СИ:

$$\dim \Phi_e = \dim Q_e / \dim t = L^2MT^{-2}/T = L^2MT^{-3};$$

$$[\Phi_e] = [Q_e]/[t] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ с} = 1 \text{ Вт}.$$

Ватт равен потоку излучения, при котором за время 1 с излучается энергия 1 Дж.

Плотность (поверхностная) потока излучения (лучистого потока)

Определяющее уравнение:

$$\varphi_e = \Phi_e/S, \quad (3.72)$$

где φ_e — плотность потока излучения, Φ_e — равномерный поток излучения; S — площадь поверхности, которая излучает (поглощает) поток излучения.

Размерность и единица поверхностной плотности потока излучения СИ:

$$\dim \varphi_e = \dim \Phi_e / \dim S = L^2MT^{-3}/L^2 = MT^{-3};$$

$$[\varphi_e] = [\Phi_e]/[S] = 1 \text{ Вт}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Ватт на квадратный метр равен поверхностной плотности потока излучения, при которой поверхность площадью 1 м^2 излучает (или поглощает) поток излучения 1 Вт .

Частными случаями поверхностной плотности потока излучения являются излучательность и облученность.

Излучательность

Определяющее уравнение:

$$M_e = \Phi_e / S, \quad (3.73)$$

где M_e — излучательность; Φ_e — поток излучения; S — площадь излучающей поверхности.

Размерность и единица излучательности СИ:

$$\dim M_e = \dim \Phi_e / \dim S = \text{L}^2 \text{MT}^{-3} / \text{L}^2 = \text{MT}^{-3};$$

$$[M_e] = [\Phi_e] / [S] = 1 \text{ Вт} / 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Вт} / \text{м}^2.$$

Ватт на квадратный метр равен излучательности поверхности площадью 1 м^2 при потоке излучения 1 Вт .

Не рекомендуется применять термин «энергетическая светимость» вместо термина «излучательность».

Облученность

Определяющее уравнение:

$$E_e = \Phi_e / S, \quad (3.74)$$

где E_e — облученность; Φ_e — поток излучения; S — площадь поверхности, на которую падает поток излучения.

Размерность и единица облученности СИ:

$$\dim E_e = \dim \Phi_e / \dim S = \text{L}^2 \text{MT}^{-3} / \text{L}^2 = \text{MT}^{-3};$$

$$[E_e] = [\Phi_e] / [S] = 1 \text{ Вт} / 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Вт} / \text{м}^2.$$

Ватт на квадратный метр равен облученности, при которой на поверхность площадью 1 м^2 падает поток излучения 1 Вт .

Не рекомендуется применять термин «энергетическая освещенность» вместо термина «облученность».

Сила излучения (точечного источника в некотором направлении)

Определяющее уравнение (для равномерного потока излучения):

$$I_e = \Phi_e / \Omega, \quad (3.75)$$

где I_e — сила излучения; Φ_e — поток излучения от точечного источника¹; Ω — телесный угол, в котором распространяется поток излучения.

¹ Точечным источником излучения называют источник излучения, размеры которого настолько малы по сравнению с расстоянием до приемника, что ими (т. е. размерами источника) можно пренебречь.

Размерность и единица силы излучения СИ:

$$\dim I_e = \dim \Phi_e / \dim \Omega = \text{L}^2 \text{MT}^{-3} / 1 = \text{L}^2 \text{MT}^{-3};$$

$$[I_e] = [\Phi_e] / [\Omega] = 1 \text{ Вт} / 1 \text{ ср} = 1 \text{ Вт} / \text{ср}.$$

Ватт на стерадиан равен силе излучения точечного источника, излучающего в телесном угле 1 ср поток излучения 1 Вт .

Не рекомендуется применять термин «энергетическая сила света» вместо термина «сила излучения».

Лучистость

Определяющее уравнение:

$$L_e = I_e / S, \quad (3.76)$$

где L_e — лучистость; I_e — сила излучения; S — площадь равномерно излучающей плоской поверхности в перпендикулярном к ней направлении.

Размерность и единица лучистости СИ:

$$\dim L_e = \dim I_e / \dim S = \text{L}^2 \text{MT}^{-3} / \text{L}^2 = \text{MT}^{-3};$$

$$[L_e] = [I_e] / [S] = (1 \text{ Вт} / \text{ср}) / 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Вт} / (\text{ср} \cdot \text{м}^2).$$

Ватт на стерадиан-квадратный метр равен лучистости равномерно излучающей плоской поверхности площадью 1 м^2 в перпендикулярном к ней направлении при силе излучения $1 \text{ Вт} / \text{ср}$.

Не рекомендуется применять термин «энергетическая яркость» вместо современного термина «лучистость».

Световой поток

Определяющее уравнение:

$$\Phi_v = I_v \Omega \quad (3.77)$$

где Φ_v — равномерный световой поток, испускаемый точечным источником; I_v — сила света; Ω — телесный угол, в котором распространен свет.

Размерность и единица светового потока СИ:

$$\dim \Phi_v = \dim I_v \cdot \dim \Omega = \text{J} \cdot 1 = \text{J};$$

$$[\Phi_v] = [I_v] [\Omega] = 1 \text{ кд} \cdot 1 \text{ ср} = 1 \text{ лм},$$

поскольку единице светового потока СИ — канделе-стерадиану — присвоено специальное наименование люмен.

Люмен равен световому потоку, испускаемому точечным источником силой света 1 кд в телесном угле, равном 1 ср .

Световая энергия

Определяющее уравнение:

$$Q_v = \Phi_v t, \quad (3.78)$$

где Q_v — световая энергия; Φ_v — световой поток; t — время действия светового потока.

Размерность и единица световой энергии СИ:

$$\dim Q_V = \dim \Phi_V \cdot \dim t = \text{J} \cdot \text{T} = \text{TJ};$$
$$[Q_V] = [\Phi_V][t] = 1 \text{ лм} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ лм} \cdot \text{с}.$$

Люмен-секунда равна световой энергии светового потока в 1 лм, действующего в течение времени 1 с.

Яркость

Определяющее уравнение (для равномерного светового потока):

$$L_V = I_V/S, \quad (3.79)$$

где L_V — яркость светящейся поверхности; I_V — сила света; S — площадь светящейся поверхности.

Размерность и единица яркости СИ:

$$\dim L_V = \dim I_V / \dim S = \text{J}/\text{L}^2 = \text{L}^{-2}\text{J};$$
$$[L_V] = [I_V]/[S] = 1 \text{ кд}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ кд}/\text{м}^2.$$

Кандела на квадратный метр равна яркости светящейся поверхности площадью 1 м² при силе света 1 кд.

Не следует применять устаревшую единицу «нит» вместо канделы на квадратный метр.

Светимость

Определяющее уравнение (для равномерного светового потока):

$$M_V = \Phi_V/S, \quad (3.80)$$

где M_V — светимость; Φ_V — световой поток; S — площадь поверхности, испускающей световой поток.

Размерность и единица светимости СИ:

$$\dim M_V = \dim \Phi_V / \dim S = \text{J}/\text{L}^2 = \text{L}^{-2}\text{J};$$
$$[M_V] = [\Phi_V]/[S] = 1 \text{ лм}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ лм}/\text{м}^2.$$

Люмен на квадратный метр равен светимости поверхности площадью 1 м², испускающей световой поток 1 лм.

Не следует применять устаревший термин «светность» вместо современного термина «светимость».

Освещенность

Определяющее уравнение:

$$E_V = \Phi_V/S, \quad (3.81)$$

где E_V — освещенность поверхности; Φ_V — падающий световой поток; S — площадь поверхности, на которую падает световой поток.

Размерность и единица освещенности СИ:

$$\dim E_V = \dim \Phi_V / \dim S = \text{J}/\text{L}^2 = \text{L}^{-2}\text{J};$$
$$[E_V] = [\Phi_V]/[S] = 1 \text{ лм}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ лм}/\text{м}^2 = 1 \text{ лк},$$

поскольку единице освещенности СИ — люмену на квадратный метр — присвоено специальное наименование люкс (лк).

Люкс равен освещенности поверхности площадью 1 м² при падающем на нее световом потоке 1 лм.

Световая экспозиция

Определяющее уравнение:

$$H_V = E_V t, \quad (3.82)$$

где H_V — световая экспозиция; E_V — освещенность поверхности; t — время действия освещенности.

Размерность и единица световой экспозиции СИ:

$$\dim H_V = \dim E_V \cdot \dim t = \text{L}^{-2}\text{J} \cdot \text{T} = \text{L}^{-2}\text{TJ};$$
$$[H_V] = [E_V][t] = 1 \text{ лк} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ лк} \cdot \text{с}.$$

Люкс-секунда равна световой экспозиции, создаваемой за время 1 с при освещенности 1 лк.

Не следует применять вместо современного термина «световая экспозиция» устаревший термин «количество освещения».

Световая эффективность потока излучения (лучистого потока)

Определяющее уравнение:

$$K = \Phi_V/\Phi_e, \quad (3.83)$$

где K — световая эффективность потока излучения; Φ_V — световой поток; Φ_e — лучистый поток.

Размерность и единица световой эффективности СИ:

$$\dim K = \dim \Phi_V / \dim \Phi_e = \text{J}/\text{L}^2\text{MT}^{-3} = \text{L}^{-2}\text{M}^{-1}\text{T}^3\text{J};$$
$$[K] = [\Phi_V]/[\Phi_e] = 1 \text{ лм}/1 \text{ Вт} = 1 \text{ лм}/\text{Вт}.$$

Люмен на ватт равен световой эффективности, при которой лучистому потоку 1 Вт соответствует световой поток 1 лм.

Максимальная световая эффективность K_m лежит в зеленой области спектра при длине волны $\lambda = 554$ нм и равна 683 лм/Вт при различных значениях спектральной световой эффективности на отдельных участках спектра (в зависимости от длины волны).

Отношение спектральной световой эффективности (для данной длины волны) к максимальной световой эффективности называют *относительной спектральной световой эффективностью*. Ее определяют по формуле

$$V(\lambda) = K(\lambda)/K_m, \quad (3.84)$$

где $V(\lambda)$ — относительная спектральная световая эффективность (безразмерная величина); $K(\lambda)$ — спектральная световая эффективность (данной длины волны); K_m — максимальная световая эффективность.

В таблице 3.6 приведены значения спектральной световой эффективности $K(\lambda)$ и относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$ при различных длинах волн ($\lambda = 380 \dots 760$ нм) по ГОСТ 11093—64.

При световых измерениях следует переходить к другому спектральному составу света на основе установленных (ГОСТ 11093—64) значений относительной спектральной световой эффективности (см. табл. 3.6).

§ 3.18. РАЗМЕРНОСТИ И ЕДИНИЦЫ СИ ВАЖНЕЙШИХ ПРОИЗВОДНЫХ ВЕЛИЧИН, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ХИМИИ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ

Молярная масса вещества

Определяющее уравнение:

$$M = m/n, \quad (3.85)$$

где M — молярная масса однородного вещества; m — масса вещества; n — количество вещества.

Размерность и единица молярной массы СИ:

$$\dim M = \dim m / \dim n = M/N = MN^{-1};$$

$$[M] = [m]/[n] = 1 \text{ кг}/1 \text{ моль} = 1 \text{ кг}/\text{моль}.$$

Килограмм на моль равен молярной массе вещества, имеющего при количестве вещества 1 моль массу 1 кг.

Молярный объем вещества

Определяющее уравнение:

$$V_m = V/n, \quad (3.86)$$

где V_m — молярный объем однородного вещества; V — объем вещества; n — количество вещества.

Размерность и единица молярного объема СИ:

$$\dim V_m = \dim V / \dim n = L^3/N = L^3N^{-1};$$

$$[V_m] = [V]/[n] = 1 \text{ м}^3/1 \text{ моль} = 1 \text{ м}^3/\text{моль}.$$

Кубический метр на моль равен молярному объему вещества, занимающего при количестве вещества 1 моль объем 1 м³.

Молярный тепловой эффект химической реакции

Определяющее уравнение:

$$Q_m = Q/n, \quad (3.87)$$

где Q_m — молярный тепловой эффект химической реакции;

Q — количество выделяемой или поглощаемой теплоты; n — количество вещества, участвующего в реакции.

Размерность и единица молярного теплового эффекта СИ:

$$\dim Q_m = \dim Q / \dim n = L^2MT^{-2}/N = L^2MT^{-2}N^{-1};$$

$$[Q_m] = [Q]/[n] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ моль} = 1 \text{ Дж}/\text{моль}.$$

Джоуль на моль равен молярному тепловому эффекту химической реакции, при которой система количеством вещества 1 моль поглощает или выделяет количество теплоты 1 Дж.

Молярная внутренняя энергия

Определяющее уравнение:

$$U_m = U/n, \quad (3.88)$$

где U_m — молярная внутренняя энергия вещества, U — внутренняя энергия вещества, n — количество вещества.

Размерность и единица молярной внутренней энергии СИ:

$$\dim U_m = \dim U / \dim n = L^2MT^{-2}/N = L^2MT^{-2}N^{-1};$$

$$[U_m] = [U]/[n] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ моль} = 1 \text{ Дж}/\text{моль}.$$

Джоуль на моль равен молярной внутренней энергии вещества, имеющего при количестве вещества 1 моль внутреннюю энергию 1 Дж.

Размерность и единица молярной энтальпии те же, что и для молярной внутренней энергии.

Молярная теплоемкость

Определяющее уравнение:

$$C_m = C/n, \quad (3.89)$$

где C_m — молярная теплоемкость; C — теплоемкость вещества; n — количество вещества.

Размерность и единица молярной теплоемкости СИ:

$$\dim C_m = \dim C / \dim n = L^2MT^{-2}\Theta^{-1}/N = L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1};$$

$$[C_m] = [C]/[n] = (1 \text{ Дж}/\text{К})/1 \text{ моль} = 1 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Джоуль на моль-кельвин равен молярной теплоемкости вещества, имеющего при количестве вещества 1 моль теплоемкость 1 Дж/К.

Концентрация (объемная) молекул

Определяющее уравнение:

$$N = n/V, \quad (3.90)$$

где N — концентрация молекул; n — число молекул в объеме V .

Размерность и единица концентрации молекул СИ:

$$\dim N = \dim n / \dim V = 1/L^3 = L^{-3};$$

$$[N] = [n]/[V] = 1/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ м}^{-3}.$$

Метр в минус третьей степени равен концентрации (объемной) молекул, при которой в объеме 1 м³ находится одна молекула.

Массовая концентрация компонента в смеси, растворе, сплаве

Определяющее уравнение:

$$\rho_B = m_B / V, \quad (3.91)$$

где ρ_B — массовая концентрация компонента В; m_B — масса компонента В; V — объем смеси (раствора, сплава).

Размерность и единица массовой концентрации компонента СИ:

$$\dim \rho_B = \dim m_B / \dim V = M/L^3 = L^{-3}M;$$

$$[\rho_B] = [m_B]/[V] = 1 \text{ кг}/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Килограмм на кубический метр равен массовой концентрации компонента, при которой в объеме смеси (раствора, сплава) 1 м³ содержится компонент массой 1 кг.

Молярная концентрация компонента (в смеси, растворе, сплаве)

Определяющее уравнение:

$$c_B = n_B / V, \quad (3.92)$$

где c_B — молярная концентрация компонента В; n_B — количество вещества компонента В; V — объем смеси (раствора, сплава).

Размерность и единица молярной концентрации компонента СИ:

$$\dim c_B = \dim n_B / \dim V = N/L^3 = L^{-3}N;$$

$$[c_B] = [n_B]/[V] = 1 \text{ моль}/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ моль}/\text{м}^3.$$

Моль на кубический метр равен молярной концентрации компонента в смеси (растворе, сплаве), при которой в объеме смеси (раствора, сплава) 1 м³ содержится количество вещества компонента 1 моль.

Моляльность раствора

Определяющее уравнение:

$$b_B = n_B / m, \quad (3.93)$$

где b_B — моляльность раствора компонента В; n_B — количество вещества растворенного компонента; m — масса растворителя.

Размерность и единица моляльности раствора СИ:

$$\dim b_B = \dim n_B / \dim m = N/M = M^{-1}N;$$

$$[b_B] = [n_B]/[m] = 1 \text{ моль}/1 \text{ кг} = 1 \text{ моль}/\text{кг}.$$

Моль на килограмм равен моляльности раствора, при которой на массу растворителя 1 кг приходится количество растворимого вещества 1 моль.

Летучесть (фугитивность)

Размерность и единица летучести (фугитивности) те же, что и для давления:

$$\dim f_B = L^{-1}MT^{-2}; [f_B] = 1 \text{ Па}.$$

Осмотическое давление

Размерность и единица осмотического давления те же, что и для давления:

$$\dim \Pi = L^{-1}MT^{-2}; [\Pi] = 1 \text{ Па}.$$

Скорость химической реакции

Определяющее уравнение:

$$\langle v \rangle = \Delta c_B / t, \quad (3.94)$$

где $\langle v \rangle$ — средняя скорость одномолекулярной химической реакции; Δc_B — изменение молярной концентрации исходного вещества в растворе; t — время реакции.

Размерность и единица скорости химической реакции СИ:

$$\dim v = \dim \Delta c_B / \dim t = L^{-3}N/T = L^{-3}T^{-1}N;$$

$$[v] = [\Delta c_B]/[t] = (1 \text{ моль}/\text{м}^3) / 1 \text{ с} = 1 \text{ моль}/(\text{с} \cdot \text{м}^3).$$

Моль в секунду на кубический метр равен средней скорости одномолекулярной химической реакции, при которой за время 1 с молярная концентрация исходного вещества в растворе изменяется на 1 моль/м³.

§ 3.19. РАЗМЕРНОСТИ И ЕДИНИЦЫ СИ ВАЖНЕЙШИХ ПРОИЗВОДНЫХ ВЕЛИЧИН В ОБЛАСТИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Энергия ионизирующего излучения

Размерность и единица энергии ионизирующего излучения СИ те же, что и для любого излучения:

$$\dim E = L^2MT^{-2}; [E] = 1 \text{ Дж}.$$

Джоуль равен энергии ионизирующего излучения, эквивалентной работе 1 Дж.

Поглощенная доза излучения

Определяющее уравнение:

$$D = E/m, \quad (3.95)$$

где D — поглощенная доза излучения; E — энергия ионизирующего излучения, переданная облученному веществу; m — масса облученного вещества.

Размерность и единица дозы излучения СИ:

$$\dim D = \dim E / \dim m = \text{L}^2\text{MT}^{-2}/\text{M} = \text{L}^2\text{T}^{-2}; \\ [D] = [E]/[m] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ кг} = 1 \text{ Дж}/\text{кг}.$$

Этой единице дозы излучения СИ — джоулю на килограмм — присвоено XV Генеральной конференцией по мерам и весам (1975) специальное наименование грэй (Гр), в честь английского ученого Л. Грэя (1905—1965).

Грэй равен поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж. Эту единицу следует применять вместо джоуля на килограмм (1 Дж/кг = 1 Гр) и вместо устаревшей единицы — рада (1 рад = 10^{-2} Гр).

Мощность поглощенной дозы излучения

Определяющее уравнение:

$$\dot{D} = D/t, \quad (3.96)$$

где \dot{D} — мощность поглощенной дозы излучения; D — поглощенная облученным веществом доза излучения за время t .

Размерность и единица мощности поглощенной дозы излучения СИ:

$$\dim \dot{D} = \dim D / \dim t = \text{L}^2\text{T}^{-2}/\text{T} = \text{L}^2\text{T}^{-3}; \\ [\dot{D}] = [D]/[t] = 1 \text{ Гр}/1 \text{ с} = 1 \text{ Гр}/\text{с}.$$

Грэй в секунду равен мощности поглощенной дозы излучения, при которой за время 1 с облученным веществом поглощается доза излучения 1 Гр.

Эту единицу следует применять в соответствии с решением XV ГКМВ (1975) вместо ватта на килограмм (1 Вт/кг = 1 Гр/с) и вместо устаревшей единицы — рада в секунду (1 рад/с = 10^{-2} Гр/с).

Экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучений

Определяющее уравнение:

$$X = Q/m, \quad (3.97)$$

где X — экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучений;

Q — электрический заряд ионов одного знака, возникающих в сухом атмосферном воздухе при полном торможении всех вторичных электронов, образованных фотонами в воздухе; m — масса воздуха, в котором образованы ионы рентгеновским и гамма-излучениями.

Размерность и единица экспозиционной дозы СИ:

$$\dim X = \dim Q / \dim m = \text{TI}/\text{M} = \text{M}^{-1}\text{TI}; \\ [X] = [Q]/[m] = 1 \text{ Кл}/1 \text{ кг} = 1 \text{ Кл}/\text{кг}.$$

Кулон на килограмм равен экспозиционной дозе рентгеновского и гамма-излучений, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия в сухом атмосферном воздухе массой 1 кг производит ионы, несущие электрический заряд каждого знака, равный 1 Кл.

Не следует применять прежнюю единицу экспозиционной дозы — рентген (1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг), а также дольные и кратные от рентгена.

Мощность экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений

Определяющее уравнение:

$$\dot{X} = X/t, \quad (3.98)$$

где \dot{X} — мощность экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений; X — экспозиционная доза излучения; t — время передачи экспозиционной дозы излучения сухому атмосферному воздуху.

Размерность и единица мощности экспозиционной дозы излучения СИ:

$$\dim \dot{X} = \dim X / \dim t = \text{M}^{-1}\text{TI}/\text{T} = \text{M}^{-1}\text{I}; \\ [\dot{X}] = [X]/[t] = (1 \text{ Кл}/\text{кг})/1 \text{ с} = 1 \text{ А}/\text{кг}.$$

Ампер на килограмм равен мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, при которой за время 1 с сухому атмосферному воздуху передается экспозиционная доза излучения 1 Кл/кг.

Не следует применять внесистемную единицу мощности экспозиционной дозы излучения — рентген в секунду (1 Р/с = $2,58 \times 10^{-4}$ А/кг), а также дольные и кратные от нее.

Эквивалентная доза излучения

Определяющее уравнение:

$$H = D\bar{Q}, \quad (3.99)$$

где H — эквивалентная доза излучения, введенная для оценки радиационной опасности хронического излучения; D — доза из-

лучения; \bar{Q} — безразмерный средний коэффициент качества ($\bar{Q} = 1 \dots 20$), учитывающий неблагоприятные биологические последствия облучения человека в малых дозах.

Размерность и единица эквивалентной дозы излучения СИ:

$$\dim H = \dim D \cdot \dim \bar{Q} = L^2 T^{-2} \cdot 1 = L^2 T^{-2};$$

$$[H] = [D] [\bar{Q}] = (1 \text{ Дж/кг}) \cdot 1 = 1 \text{ Дж/кг}.$$

Этой единице XVI ГКМВ присвоила специальное наименование — **з и в е р т** (Sv), в русской транскрипции обозначение Зв.

Зиверт равен эквивалентной дозе излучения, при которой поглощенная доза равна 1 Гр и коэффициент качества излучения равен единице.

Не следует применять внесистемную единицу эквивалентной дозы излучения бэр (биологический эквивалент рентгена), кратные и дольные от него (1 бэр = 10^{-2} Зв) и джоуль на килограмм (Дж/кг) вместо присвоенного ему специального наименования «зиверт» (1 Дж/кг = 1 Зв).

Мощность эквивалентной дозы излучения

Определяющее уравнение:

$$\dot{H} = H/t, \quad (3.100)$$

где \dot{H} — мощность эквивалентной дозы излучения; H — эквивалентная доза излучения; t — время облучения.

Размерность и единица мощности эквивалентной дозы излучения СИ:

$$\dim \dot{H} = \dim H / \dim t = L^2 T^{-2} / T = L^2 T^{-3};$$

$$[\dot{H}] = [H] / [t] = 1 \text{ Зв/1 с} = 1 \text{ Зв/с}.$$

Зиверт в секунду равен мощности эквивалентной дозы излучения, при которой за время 1 с облучаемым веществом поглощается эквивалентная доза излучения 1 Зв.

Не следует применять в качестве единицы мощности эквивалентной дозы излучения ватт на килограмм, которому присвоено специальное наименование «зиверт в секунду» (1 Вт/кг = 1 Зв/с), и внесистемную единицу бэр в секунду (бэр/с), кратные и дольные от него.

Поток энергии ионизирующего излучения (мощность ионизирующего излучения)

Определяющее уравнение:

$$P = E/t, \quad (3.101)$$

где P — поток энергии ионизирующего излучения (мощность ионизирующего излучения); E — энергия ионизирующего излучения за время t , переносимая сквозь некоторое сечение.

Размерность и единица потока энергии ионизирующего излучения СИ:

$$\dim P = \dim E / \dim t = L^2 M T^{-2} / T = L^2 M T^{-3};$$

$$[P] = [E] / [t] = 1 \text{ Дж/1 с} = 1 \text{ Вт}.$$

Ватт равен потоку энергии ионизирующего излучения, при котором за время 1 с переносится сквозь некоторое сечение энергия ионизирующего излучения 1 Дж.

Интенсивность ионизирующего излучения (плотность потока энергии ионизирующего излучения)

Определяющее уравнение:

$$I = P/S, \quad (3.102)$$

где I — интенсивность ионизирующего излучения; P — мощность ионизирующего излучения; S — площадь поверхности, на которую падает излучение.

Размерность и единица интенсивности ионизирующего излучения СИ:

$$\dim I = \dim P / \dim S = L^2 M T^{-3} / L^2 = M T^{-3};$$

$$[I] = [P] / [S] = 1 \text{ Вт/1 м}^2 = 1 \text{ Вт/м}^2.$$

Ватт на квадратный метр равен интенсивности излучения, при которой на поверхность площадью 1 м² падает излучение мощностью 1 Вт перпендикулярно этой поверхности.

Активность радионуклида (радиоактивного вещества)

Определяющее уравнение:

$$A = N/t, \quad (3.103)$$

где A — активность нуклида в радиоактивном источнике; N — число актов распада в радиоактивном источнике за время t .

Размерность и единица активности СИ:

$$\dim A = \dim N / \dim t = 1/T = T^{-1};$$

$$[A] = [N] / [t] = 1/1 \text{ с} = 1 \text{ с}^{-1}.$$

Единице активности — секунде в минус первой степени — XV ГКМВ (1975) присвоила специальное наименование **беккерель** с обозначением Bq (русское обозначение Бк) в честь французского ученого Антуана Беккереля (1852—1908) (1 с⁻¹ = 1 Бк).

Беккерель равен активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за время 1 с происходит один акт распада.

Удельная активность радиоактивного вещества

Определяющее уравнение:

$$a = A/m, \quad (3.104)$$

где a — удельная активность радиоактивного вещества; A — активность радионуклида (радиоактивного вещества); m — масса радионуклида.

Размерность и единица удельной активности СИ:

$$\dim a = \dim A / \dim m = T^{-1} / M = M^{-1} T^{-1};$$

$$[a] = [A] / [m] = 1 \text{ Бк} / 1 \text{ кг} = 1 \text{ Бк} / \text{кг}.$$

Беккерель на килограмм равен удельной активности, при которой на массу 1 кг радиоактивного вещества приходится активность, равная 1 Бк.

Объемная активность радиоактивного вещества

Определяющее уравнение:

$$A_v = A / V, \quad (3.105)$$

где A_v — объемная активность радиоактивного вещества; A — активность радионуклида (радиоактивного вещества); V — объем радионуклида.

Размерность и единица объемной активности СИ:

$$\dim A_v = \dim A / \dim V = T^{-1} / L^3 = L^{-3} T^{-1};$$

$$[A_v] = [A] / [V] = 1 \text{ Бк} / 1 \text{ м}^3 = 1 \text{ Бк} / \text{м}^3.$$

Беккерель на кубический метр равен объемной активности, при которой на объем 1 м³, занимаемый радиоактивным веществом, приходится активность 1 Бк.

Молярная активность радиоактивного вещества

Определяющее уравнение:

$$A_m = A / n, \quad (3.106)$$

где A_m — молярная активность радиоактивного вещества; A — активность радионуклида; n — количество вещества.

Размерность и единица молярной активности СИ:

$$\dim A_m = \dim A / \dim n = T^{-1} / N = T^{-1} N^{-1};$$

$$[A_m] = [A] / [n] = 1 \text{ Бк} / 1 \text{ моль} = 1 \text{ Бк} / \text{моль}.$$

Беккерель на моль равен молярной активности, при которой на количество вещества радионуклида 1 моль приходится активность 1 Бк.

§ 3.20. ЕДИНИЦЫ, НЕ ВХОДЯЩИЕ В СИ

Наравне с единицами СИ ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) допускает применять десятичные кратные и дольные от них и их сочетания с единицами СИ. В таблице 3.7 приведены множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных еди-

ниц и их наименования. Эти приставки называются приставками СИ.

Выбор той или иной десятичной кратной или дольной единицы прежде всего определяется удобством ее применения на практике. В принципе выбирают такие кратные и дольные единицы, при которых числовые значения величин находятся в диапазоне от 0,1 до 1000. Лучше применять 3 мкм (чем 0,003 мм или 0,0003 см), 36,2 МВт (чем 36 200 кВт или 36 200 000 Вт).

Однако в таблицах числовых значений однородных величин или в одном и том же тексте целесообразно применять одну и ту же кратную или дольную единицу даже в тех случаях, когда числовые значения величин выходят за пределы указанного диапазона (от 0,1 до 1000).

В машиностроительных чертежах линейные размеры всегда выражают в миллиметрах (например, 6,2 мм, 0,03 мм, 2320 мм, 16 340 мм).

В ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) приведены получившие широкое распространение кратные и дольные единицы от единиц СИ, рекомендуемые к применению Международным стандартом МС ИСО 1000—73. (ИСО — Международная организация стандартизации.) Однако перечень единиц, приведенных в справочном приложении 3 стандарта, нельзя считать исчерпывающим для всех областей науки, техники и народного хозяйства.

Не запрещается выражать числовые значения величин в виде произведения числа на целую положительную или отрицательную степень десяти (например, 3,4 · 10⁶ Вт вместо 3,4 МВт). Такой способ пригоден для любых числовых значений величин, как лежащих в пределах множителей 10⁻¹⁸ ... 10¹⁸, так и выходящих за пределы этого диапазона.

Рекомендуемые кратные и дольные единицы от единиц СИ приведены в приложении I настоящего пособия.

Существует относительно небольшая группа внесистемных единиц, которые не во всех случаях можно заменить единицами СИ, кратными и дольными от них.

В таблице 3.8 приведен перечень внесистемных единиц, допускаемых без ограничения срока к применению наравне с единицами СИ. При этом ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) разрешает их применение только в обоснованных случаях, когда их замена единицами СИ, кратными и дольными от них, вызывает неоправданные трудности.

Внесение тонны, литра и гектара в указанный перечень внесистемных единиц объясняется их широким применением в настоящее время. Однако в будущем их можно будет заменить десятичными кратными или дольными от единиц СИ: тонну — мегаграммом (Мг); литр — кубическим дециметром (дм³); гектар — квадратным гектометром (гм²).

Единицы времени: минута, час, сутки и другие — не могут быть изъяты в связи с тем, что исчисление времени связано с

вращением Земли вокруг Солнца. Промежутки времени, меньшие секунды, следует выражать в единицах, дольных от секунды: в миллисекундах (мс), микросекундах (мкс), наносекундах (нс) и др., а большие секунды — в секундах (с), минутах (мин), часах (ч), сутках (сут) и других единицах времени.

Единицы плоского угла: градус (...'), секунда (..."), а также град (гон) в геодезии — не могут быть изъяты, так как единица плоского угла СИ — радиан — находится в иррациональном соотношении с прямым углом (исключительно важной для практики угловой единицей) и невозможно градуировать лимбы — неотъемлемую часть многих измерительных угломерных приборов — в радианах. Следовательно, радиан неудобен для практических измерений, хотя он имеет исключительно важное значение для теоретических работ, в частности, в математике.

Не могут быть изъяты единицы, широко применяемые в астрономии — астрономическая единица (а. е.), световой год (св. год) и парсек (пк), в химии, в атомной и молекулярной физике — атомная единица массы (а. е. м.), в оптике — диоптрия (дптр), в физике и энергетике — электрон-вольт (эВ) и в учении об электричестве и магнетизме — вольт-ампер (В · А) и вар (вар).

Временно разрешается применять такие единицы (табл. 3.9), которые нельзя изъять до специального международного решения, например: морская миля — единица длины и узел — единица скорости в навигации; карат — единица массы драгоценных камней и жемчуга; текс — единица линейной плотности в текстильной промышленности; бар — единица давления (1 бар = 10^5 Па; 1 мбар = 10^2 Па); оборот в секунду и оборот в минуту, широко используемые единицы частоты вращения, и непер — единица логарифмической величины.

Разрешается применять без ограничения срока единицы относительных и логарифмических величин (кроме непера), не связанные с какой-либо системой единиц и остающиеся неизменными, независимо от выбора основных единиц системы.

Не допускаются к применению и подлежат изъятию все единицы, не являющиеся единицами СИ, кратными и дольными от них, кроме единиц, допускаемых наравне с единицами СИ к постоянному или временному применению. К единицам, подлежащим изъятию, в частности, принадлежат единицы с устаревшими наименованиями и обозначениями (килограмм-сила и калория), а также единицы, на них основанные, единицы системы СГС и многие внесистемные единицы (табл. 3.10). В этой таблице приведены соотношения единиц, подлежащих изъятию, с единицами СИ.

§ 3.21. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРАВИЛЬНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ НАИМЕНОВАНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ ЕДИНИЦ

Вместо термина «единица физической величины» не допускается применять термин «единица измерения физической вели-

ны», поскольку термин «измерение» определяют через понятие «величина» и включение слова «измерение» в термин «единица величины» вызвало бы появление неустранимого круга в определениях. Следовательно, надо говорить и писать, например, «метр — единица длины», «ампер — единица силы электрического тока», «джоуль — единица работы», «паскаль — единица давления» и нельзя говорить и писать «метр — единица измерения длины», «ампер — единица измерения силы электрического тока», «джоуль — единица измерения работы», «паскаль — единица измерения давления».

По сравнению с ранее действовавшими Государственными стандартами на единицы физических величин в наименования единиц СИ внесены следующие изменения, связанные:

1) с принятием Генеральной конференцией по мерам и весам новых наименований: «кельвин» для единицы термодинамической температуры вместо «градуса Кельвина», а также «кельвин» или «градус Цельсия» для разности температур вместо «градуса»; «паскаль» для единицы давления и механического напряжения вместо «ньютон на квадратный метр»; «грэй» и «зиверт» для единиц поглощенной и эквивалентной доз излучения (соответственно) вместо «джоуля на килограмм»; беккерель для единицы активности нуклида в радиоактивном источнике вместо «секунды в минус первой степени»;

2) с заменой русского наименования «свеча» на «кандела» в связи с рекомендацией международных организаций об использовании на всех языках наименований единиц СИ, близких по звучанию к принятым Генеральной конференцией по мерам и весам;

3) с введением для единицы яркости наименования «кандела на квадратный метр» вместо ранее применявшегося наименования «нит»;

4) с изменением русского наименования единицы электрической емкости «фарада» на «фарад», совпадающего по звучанию с международным наименованием «farad».

В тех случаях, когда вторая или третья степень длины представляет собой площадь или объем (соответственно), то для образования наименований единицы площади или объема к единице длины следует добавлять прилагательное «квадратный» или «кубический». Например, квадратный сантиметр (см^2) для единицы площади, кубический миллиметр (мм^3) для единицы объема. Эти же прилагательные применяют и тогда, когда единица площади или объема входит в производную единицу другой величины, например: ватт на квадратный метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$) для поверхностной плотности теплового потока, кубический метр в секунду ($\text{м}^3/\text{с}$) для объемного расхода или объемной подачи насоса, компрессора, вентилятора.

В тех случаях, когда вторая или третья степень длины не представляет собой площади или объема, то в наименовании единицы следует применять выражения «в квадрате» или «во

второй степени», «в кубе» или «в третьей степени» (вместо слов «квадратный» или «кубический»). Например, единица динамического момента инерции — килограмм-метр в квадрате ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$). Здесь м^2 — не единица площади, а квадрат радиуса длиной 1 м.

Наименования единиц в знаменателях надо писать и читать с предлогом «на», за исключением единиц величин, зависящих от времени в первой степени и характеризующих скорость протекания процесса. В этом случае наименование единицы времени в знаменателе следует писать и читать с предлогом «в», например: метр в секунду ($\text{м}/\text{с}$) — единица скорости; метр на секунду в квадрате ($\text{м}/\text{с}^2$) — единица ускорения; килограмм в секунду ($\text{кг}/\text{с}$) — единица массового расхода; моль в секунду на кубический метр [$\text{моль}/(\text{с} \cdot \text{м}^3)$] — единица скорости химической реакции.

Наименования единиц, образующих произведение, при написании следует разъединять короткой чертой, называемой дефисом (от лат. *divisio* — разделение), например: ом-метр ($\text{Ом} \cdot \text{м}$) — единица удельного электрического сопротивления, ньютон-секунда ($\text{Н} \cdot \text{с}$) — единица динамической вязкости; киловатт на метр-кельвин [$\text{кВт}/(\text{м} \cdot \text{К})$] — кратная единица теплопроводности. Дефис также применяют для килограмма-силы (кгс) и электрон-вольта (эВ).

Не допускается использовать соединительную гласную «о» или «е» в произведениях двух единиц и писать: килограммометр, омометр, вольтампер (правильно: килограмм-метр, ом-метр, вольт-ампер).

В наименованиях производных единиц, представляющих собой произведения единиц, при склонении следует изменять только последнее наименование и относящееся к нему прилагательное, например: килограмм-метр в квадрате (единица динамического момента инерции), килограмм-метра в квадрате и т. д.; ньютон-секунда (единица импульса силы), ньютон-секунды; килограмм-квадратный метр, килограмм-квадратного метра и т. д.

При склонении наименований единиц, представляющих собой дробь, следует изменять только наименование последнего множителя числителя и относящееся к нему прилагательное, например: квадратный метр на секунду ($\text{м}^2/\text{с}$), квадратного метра на секунду; килограмм-метр в секунду ($\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}$), килограмм-метра в секунду.

В родительном падеже множественного числа у наименований единиц физических величин должны быть следующие окончания:

а) у несклоняемых, например, био, генри, кюри, промилле, тесла — неизменная форма. Примеры: пять био, двенадцать генри;

б) женского рода, оканчивающихся на «а», — нулевое окончание, например: атмосфера — атмосфер, декада — декад, дина — дин, кандела — кандел, десятинна — десятин, октава — октав, свеча — свеч (допускается — свечей), тонна — тонн. Пример: десять кандел;

в) мужского рода, оканчивающихся на мягкий согласный звук, — окончание «ей», например: джоуль — джоулей, моль — молей, паскаль — паскалей, паундаль — паундалей, баррель — баррелей, беккерель — беккерелей. Примеры: семь джоулей, восемь молей;

г) мужского рода, оканчивающихся на твердый согласный звук, как правило, нулевое окончание. К ним, например, принадлежат ампер, ангстрем, аршин, бар, барн, бел, бит, бэр, вар, ватт, вебер, вольт, галл, гаусс, герц, гильберт, гон, грэй, децибел, зиверт, карат, кельвин, киловатт, кулон, люкс, люмен, максвелл, непер, нит, ньютон, ом, парсек, пауз, рад, радиан, резерфорд, рентген, сиенс, стен, стерадиан, стокс, торр, фарад, фон, фот, франклин, электрон-вольт, эрстед, ярд. Примеры: десять рентген, сто двадцать электрон-вольт, семь гаусс.

Наименования единиц мужского рода, оканчивающиеся на твердый согласный звук и имеющие нетерминологические бытовые соответствия, применяют в литературном языке в родительном падеже множественного числа с окончанием «ов», например: метр — метров, литр — литров, оборот — оборотов (в секунду или минуту), узел — узлов, центнер — центнеров, час — часов, грамм — граммов, килограмм — килограммов.

К наименованиям единиц (и соответственно к их обозначениям) нельзя добавлять условия измерения величин или вычисления их значений. Например, нельзя говорить погонный метр (пм или п. м.) вместо длины (или погонной длины), м; разрывной километр (ркм) вместо разрывной длины, км; условный и эквивалентный квадратный метр (укм и экм) вместо условной и эквивалентной площади, м^2 ; нормальный и стандартный, плотный и складочный кубический метр (нм^3 , ст. м^3 , пл. м^3 и скл. м^3) вместо нормального, стандартного, плотного и складочного объема, м^3 ; условные центнер и тонна (у. ц и у. т) вместо условной массы; тонна условного топлива (тут) вместо массы условного топлива, т; центнер живого и убойного веса (ц ж. в., ц у. в.) вместо живой и убойной массы, т (или кг). Примеры:

Правильно	Неправильно
Погонная длина 15 м	Длина 15 п. м; длина 15 пм (т. е. погонных метров)
Эквивалентная площадь 20 м^2	Площадь 20 экм (т. е. эквивалентных квадратных метров)
Условная площадь 6 м^2	Площадь 6 укм (т. е. условных квадратных метров)
Объем газа (приведенный к нормальным условиям) 20 000 м^3	Объем газа 20 000 Нм^3 (т. е. нормальных кубических метров)
Масса топлива (условного) 60 т	Масса топлива 60 тут (т. е. условного топлива)

Наименования десятичных кратных и дольных единиц (от единиц СИ) образуются путем присоединения приставок к наименованиям исходных единиц, т. е. к наименованиям единиц без приставок (к метру, ватту, джоулю, амперу, вольту, ньютону и т. д.).

К наименованию (и обозначению) единицы не разрешается присоединять подряд две приставки и более.

В связи с тем что наименование основной единицы массы СИ «килограмм» уже содержит приставку (кило), для образования десятичных кратных и дольных единиц массы СИ используют не килограмм, а грамм, равный $1 \cdot 10^{-3}$ кг, т. е. единицу без приставки, и приставки присоединяют к наименованию «грамм», а не «килограмм». Примеры:

Правильно	Неправильно
Нанофарад (нФ) Пикофарад (пФ) Миллиграмм (мг) Микрограмм (мкг)	Миллимикрофарад (ммкФ) Микромикрофарад (мкмкФ) Микрокилограмм (мккг) Наноккилограмм (нкг)

К некоторым единицам нельзя присоединять приставки, например к секунде (единице времени) для образования кратных единиц, к радиану, угловым градусу, минуте и секунде, граду (или гону), стерадиану, морской миле, узлу, карату, неперу, астрономической единице, световому году, диоптрии, гектару, атомной единице массы, градусу Цельсия для образования кратных и дольных единиц.

Приставку (и ее обозначение) следует писать слитно с наименованием единицы (и соответственно с ее обозначением), к которой ее присоединяют. При этом нельзя исключать последнюю букву приставки при ее слиянии с наименованием единицы. Примеры:

Правильно	Неправильно
Миллиметр (мм) Килловатт (кВт) Мегаом (МОм)	Милли метр (м м) Кило ватт (к Вт) Мегом (М Ом)

Если наименование производной единицы представляет собой произведение двух или более единиц или их отношение, то приставку (и ее обозначение), как правило, присоединяют к наименованию (и соответственно к обозначению) первой единицы.

Однако приставка допускается и во втором множителе произведения, и в знаменателе, если единицы с такими приставками получили широкое распространение или переход к правильно образованным единицам вызывает большие затруднения. Например, широко распространены такие единицы, как тонна-километр ($t \cdot km$) в качестве единицы производительности транспорта (правильно образованная единица — килотонна-метр ($kt \cdot m$)), ватт на квадратный сантиметр ($Вт/см^2$), вольт на сантиметр ($В/см$), ампер на квадратный миллиметр ($А/мм^2$) вместо правильно образованных единиц $кВт/м^2$, $кВ/м$ и $МА/м^2$.

Не рекомендуется присоединять приставки одновременно в числителе и в знаменателе.

В интересах унификации единиц следует постепенно переходить к правильно образованным десятичным кратным и дольным единицам. Примеры:

Рекомендуется	Не рекомендуется
Килоньютон-метр ($кН \cdot м$) Милликулон-метр ($мКл \cdot м$) Килоджоуль на кельвин ($кДж/К$) Миллиньютон-секунда на метр ($мН \cdot с/м$) Джоуль на килограмм ($Дж/кг$) Мегаджоуль на килограмм ($МДж/кг$)	Ньютон-километр ($Н \cdot км$) Кулон-миллиметр ($Кл \cdot мм$) Джоуль на милликельвин ($Дж/мК$) Ньютон-секунда на километр ($Н \cdot с/км$) Микроджоуль на микрограмм ($мкДж/мкг$) Миллиджоуль на микрограмм ($мДж/мкг$)

Приставка, присоединенная к наименованию единицы, является грамматической частью наименования десятичной кратной или дольной единицы. Следовательно, приставку нельзя отождествлять с множителем, которому она соответствует, например кило и 10^3 , мега и 10^6 , нано и 10^{-9} , а обозначение единицы с приставкой нельзя рассматривать как произведение обозначений приставки и единицы. Например, неправильно понимать, что $1 МВт = 1 М \cdot 1 Вт$ или $1 кОм = 1 к \cdot 1 Ом$; при таком понимании $1 см^2$ был бы равен $1 см \cdot 1 м^2$ или $10^{-2} м^2$, т. е. равен одному «санतिकвадратному метру». В действительности квадратный сантиметр равен площади квадрата с длинами сторон, равными 1 см. Это означает, что $1 см^2 = 10^{-4} м^2 = 0,0001 м^2$.

Таким образом, обозначения десятичных кратных и дольных единиц от единицы, возведенной в положительную или отрицательную степень, следует образовывать добавлением соответствующего показателя степени к обозначению кратной или дольной от этой единицы. При этом показатель степени означает возведение в степень кратной или дольной единицы вместе с приставкой.

Примеры:

Правильно	Неправильно
$8 \text{ км}^2 = 8 (10^3 \text{ м})^2 = 8 \cdot 10^6 \text{ м}^2$	$8 \text{ км}^2 = 8 \cdot 10^3 \text{ м}^2$
$400 \text{ см}^3/\text{с} = 400 (10^{-2} \text{ м})^3/1 \text{ с} =$ $= 400 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$	$400 \text{ см}^3/\text{с} = 400 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/1 \text{ с} =$ $= 4 \text{ м}^3/\text{с}$
$0,0006 \text{ см}^{-1} = 0,0006 \cdot (10^{-2} \text{ м})^{-1} =$ $= 0,0006 \cdot 10^2 \text{ м}^{-1} = 0,06 \text{ м}^{-1}$	$0,0006 \text{ см}^{-1} = 0,0006 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{-1} =$ $0,000006 \text{ м}^{-1}$

В химии допускается и даже рекомендуется использование грамма как единицы массы и литра, равного 1 дм^3 , как единицы объема и вместимости, хотя ни грамм, ни литр (или кубический дециметр) не являются единицами СИ.

Широкое применение в химии получили моль и дольные от моля: миллимоль (ммоль), микромоль (мкмоль), наномоль (нмоль) и др. и кратная единица от моля — киломоль (кмоль). Однако не следует использовать дольные и кратные от моля в знаменателе отношения единиц.

Единицу количества вещества системы следует применять после наименования величины. Например, количество вещества атомарного водорода равно 3,2 моль.

В определении моля (см. § 3.8) говорится о спецификации структурных частиц вещества. Поэтому правильна такая запись: в растворе объемом 1 л содержатся 0,2 моль ионов натрия (Na^+) и 0,25 моль ионов хлора (Cl^-) — и нельзя писать: в растворе объемом 1 л содержится 0,45 моль ионов хлора и натрия.

Нельзя говорить, что в 1 моль оксида кремния (SiO_2) входит 1 моль атомов кремния и 2 моль атомов кислорода. В указанном случае надо сказать так: оксид кремния количеством вещества 1 моль образовался из кремния количеством вещества 1 моль и атомарного кислорода количеством вещества 2 моль или молекулярного кислорода количеством вещества 1 моль, поскольку оксид кремния количеством вещества 1 моль состоит из молекул SiO_2 .

Ошибочно определение количества вещества как безразмерной относительной величины, например такое: «Количеством вещества называется отношение числа частиц N (атомов, молекул, ионов и других) в данном веществе к числу атомов (N_A) в $0,012 \text{ кг}$ углерода-12.»

Необходимо подчеркнуть, что в определении моля, принятом Генеральной конференцией по мерам и весам, отсутствует упоминание постоянной Авогадро (или числа Авогадро $\{N_A\}$), которое при последующем уточнении не изменит определение моля.

Недопустима аналогия моля (единицы размерной физической величины) со счетными или денежными единицами. Так, ошибочно

пишут о моле рублей (т. е. о $6 \cdot 10^{23}$ рублях), о моле людей (т. е. о $6 \cdot 10^{23}$ людей), о моле зерен пшеницы (т. е. о $6 \cdot 10^{23}$ зерен), о моле брусков стали (т. е. о $6 \cdot 10^{23}$ брусков). Единицу моль допускается применять только как единицу размерной величины — количества вещества системы (размерность N).

Недопустимо говорить о моле атомов (например, атомов водорода) или о моле молекул (например, молекул серной кислоты). Правильно говорить о моле атомарного водорода или о моле серной кислоты.

Иногда ошибочно применяют в качестве единицы «моль молей», говоря о «моле молей атомов олова массой $7,15 \cdot 10^{22} \text{ кг}$ или о моле молей газообразного азота, занимающего при нормальных условиях объем $1,3 \cdot 10^{22} \text{ м}^3$. Применение «моль молей» так же недопустимо, как и применение «килограмма килограммов» или «секунды секунд».

Следует помнить, что в качестве единиц массы в химии разрешается применять только килограмм, грамм (преимущественно), дольные и кратные от грамма, тонну и атомную единицу массы (в уравнениях химических реакций).

Не допускается использовать ранее применявшиеся «индивидуальные единицы» массы: грамм-атом, грамм-молекула (грамм-моль), грамм-ион и грамм-эквивалент. Эти единицы должны быть заменены на моль — единицу количества вещества.

В качестве единицы молярной массы применяется либо единица СИ — килограмм на моль (кг/моль), либо более удобная в химии дольная единица — грамм на моль (г/моль) ($1 \text{ г/моль} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$), а в качестве единицы молярного объема — кубический метр на моль ($\text{м}^3/\text{моль}$) — единица СИ или более удобная в химии единица — литр на моль (л/моль) ($1 \text{ л/моль} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$).

В расчетах по уравнениям химических реакций рекомендуется использовать единицы количества вещества (моль), массы (г и а. е. м.) и объема (л). Нельзя применять в этих расчетах единицы плотности (г/л), удельного объема (л/г), молярной массы (г/моль) или молярного объема (л/моль).
Примеры:

Правильно	Неправильно
$2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$
2 моль 1 моль 2 моль	2 · 2 г/моль 32 г/моль 2 · 18 г/моль
2 · 2 г 32 г 2 · 18 г	2 · 2 г/л 32 г/л 2 · 18 г/л
2 · 22,4 л 22,4 л 2 · 22,4 л	

Правильно говорить о реакции молекулярного водорода с молекулярным кислородом. Неправильно говорить о реакции мо-

лярных масс, плотностей (или молярных объемов — для газов) водорода и кислорода.

В химии часто применяют в знаменателе неправильно образованные единицы, представляющие собой произведение числового значения величины на ее единицу, что недопустимо. Следует, например, писать 50 г/л вместо неправильной записи 5 г/100 мл.

Часто неправильно отождествляют постоянные Авогадро и Фарадея — размерные фундаментальные физические постоянные — с числами Авогадро и Фарадея, представляющими собой числовые значения постоянных Авогадро и Фарадея:

$$\{N_A\} = (6,022\ 045 \pm 0,000\ 031) \cdot 10^{23} \approx 6,02 \cdot 10^{23};$$
$$\{F\} = (9,648\ 456 \pm 0,000\ 027) \cdot 10^4 \approx 9,65 \cdot 10^4.$$

Определения единиц физических величин

Определения основных и дополнительных единиц Международной системы единиц даются Генеральной конференцией по мерам и весам (см. табл. 3.1 и 3.4). Они являются обязательными к применению. Не допускается давать определения основных единиц через производные единицы, например определение ампера через кулон или определение канделы через люмен.

Однако в школе разрешается приводить упрощенные определения единиц, если учащиеся не подготовлены к восприятию определений, приведенных в стандарте, например метрологических определений метра и секунды, основанных на использовании внутриатомных явлений. В этих случаях можно приводить доступные для понимания учащихся определения метра как расстояния между двумя средними штрихами, нанесенными на прототипе метра, и секунды как 1/86 400 средних солнечных суток (1 сут = 24 ч; 1 ч = 60 мин; 1 мин = 60 с). Необходимо отметить, что эти упрощенные определения метра и секунды не противоречат точным определениям, принятым ГКМВ. В старших классах (IX и X), когда учащиеся изучают внутриатомные явления, можно будет привести и точные определения метра и секунды.

Определения производных единиц СИ должны находиться в полном соответствии с определяющими уравнениями. Примеры этих определений единиц для ряда разделов физики и химии приведены в главе 3.

В определениях единиц приводится слово «равен» — это означает, что указанное определение не является единственным. Например, определение квадратного метра: «Квадратный метр — площадь квадрата, длины сторон которого равны 1 м» — означало бы, что это единственное определение квадратного метра. Определение квадратного метра: «Квадратный метр равен площади квадрата, длины сторон которого равны 1 м» — означает, что возможны и другие определения, например: «Квадратный метр равен площади треугольника с основанием 1 м и высотой 2 м».

В определениях единиц не должны входить буквенные обозначения физических величин. Во-первых, это усложняет сами определения. Во-вторых, буквенные обозначения одних и тех же величин могут быть различными и разных величин — одинаковыми. Нежелательно такое определение метра в секунду: «Метр в секунду — скорость v точки, проходящей за время $t = 1$ с путь $l = 1$ м».

В определениях единиц перед единицей той или иной величины обязательно пишут наименование этой величины. Правильно, например, такое определение мощности: «Ватт равен мощности, при которой работа 1 Дж производится за время 1 с». Не рекомендуется давать такое определение: «Ватт равен мощности, при которой 1 Дж производится за 1 с».

Неправильно и такое определение: «Единица ускорения равна ускорению движущейся точки, при котором в единицу времени скорость точки возрастает на единицу скорости». Правильно: «Метр на секунду в квадрате равен ускорению прямолинейно и равноускоренно движущейся точки, при котором за время 1 с скорость точки изменяется на 1 м/с».

В связи с тем что разные физические величины могут иметь одну и ту же единицу, определения этих единиц будут разными в зависимости от того, единицами каких величин они являются. Так, например, кулон является единицей количества электричества (электрического заряда) и единицей потока электрического смещения. Джоуль на килограмм — единица удельного количества теплоты, удельной теплоты фазового превращения, удельной теплоты химической реакции. Кроме того, джоуль на килограмм применялся ранее как единица поглощенной дозы излучения и единица эквивалентной дозы излучения, которые теперь заменены на грэй и зиверт (соответственно).

Паскаль — единица давления, нормального напряжения, касательного напряжения, модуля продольной упругости, модуля сдвига, модуля объемного сжатия, звукового давления, осмотического давления. В связи с этим и применяются различные определения паскаля.

По-разному определяется и секунда в минус первой степени в зависимости от того, единицей какой величины она является.

1) Секунда в минус первой степени равна частоте равномерного вращения, при которой за время 1 с тело совершает один полный оборот.

2) Секунда в минус первой степени равна частоте дискретных событий (импульсов, ударов и т. п.), при которой за время 1 с совершается одно событие.

Следовательно, по единице физической величины нельзя судить о самой величине.

Необходимо отметить, что в определениях единиц (ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78)) и в Методических указаниях

Госстандарта РД 50—160—79 [2, 3, 4] при русском тексте приводятся международные (а не русские) обозначения единиц, например: «Килограмм на кубический метр равен плотности однородного вещества, масса которого при объеме 1 м³ равна 1 кг». Однако в школе рекомендуется при русском тексте определений приводить русские обозначения единиц.

Расчетные формулы рекомендуется записывать в виде уравнений между физическими величинами (см. § 1.5). При подстановке в такие формулы значений величин (вместо буквенных обозначений величин), выраженных в единицах СИ, результат будет получаться также в единицах СИ. При этом не потребуется затрачивать время на проверку правильности выбора единиц и на выявление, в каких единицах выражен результат.

Если полученное числовое значение результата будет на много порядков отличаться от единицы, следует выразить результат в подходящих кратных и дольных единицах или в виде произведения числа на соответствующую степень десяти.

При расчетах рекомендуется все величины выражать в единицах СИ, заменяя приставки степенями числа 10, а десятичные кратные или дольные единицы подставлять только в конечный результат.

Часто в конце правой части формулы ошибочно пишут единицу (или ее обозначение) без скобок, в круглых или квадратных скобках, например: $\rho = m/V$, кг/м³, $\rho = m/V$ (кг/м³), $\rho = m/V$ [кг/м³], что делает формулу неоднородной.

Обозначение единицы следует помещать после числового значения величины как в конце расчета, так и после результатов всех промежуточных расчетов.

В школе для усвоения процесса расчетов по формулам допускается подставлять непосредственно в формулу значения величин вместо буквенных обозначений величин.

Правильно надо писать в общих случаях так:

$$\rho = m/V = 5/2,5 \text{ кг/м}^3 = 2,0 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho = \frac{m RT}{M V} = \frac{6,5 \cdot 8,31 \cdot 300}{0,029 \cdot 5} \text{ Па} = 112\,000 \text{ Па} = 112 \text{ кПа}.$$

В школе можно, а иногда и полезно записывать так:

$$\rho = m/V = 5 \text{ кг/}2,5 \text{ м}^3 = 2,0 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho = \frac{m RT}{M V} = \frac{6,5 \text{ кг} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300 \text{ К}}{0,029 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot 5 \text{ м}^3} = 112\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = 112\,000 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = 112\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 112\,000 \text{ Па} = 112 \text{ кПа}.$$

Для написания значений физических величин следует применять обозначения единиц буквами или специальными знаками (...°, ...', ...", %, ‰/∞).

Установлены два вида буквенных обозначений единиц: международные (с использованием букв латинского и греческого алфавитов) и русские (с использованием букв русского алфавита). При этом не следует использовать одновременно оба вида буквенных обозначений за исключением публикаций по единицам физических величин.

Все буквенные обозначения единиц печатают прямым шрифтом как при прямом, так и при курсивном шрифте основного текста или текста, сопровождающего рисунки. Это позволяет легко отличить буквенные обозначения единиц от обозначений физических величин. Последние по международным соглашениям печатаются курсивным шрифтом. Однако учащиеся могут писать эти обозначения любым шрифтом (прямым или курсивным).

Обозначения единиц, образованных по фамилиям ученых, печатаются (и учащимися должны записываться) с прописной (заглавной) буквы независимо от того, имеется ли приставка или она отсутствует, например: А, кА, МА, мА.

Введение международного правила, в соответствии с которым обозначения единиц, образованных по фамилиям ученых, пишутся с прописной буквы, позволяет увеличить число букв для обозначений единиц.

В конце обозначений единиц не следует ставить точку в качестве знака сокращения, за исключением случаев сокращения слов, входящих в наименование единицы, но не являющихся единицами, например: мм вод. ст., мм рт. ст., л. с., л.с. · ч.

Обозначения единиц следует писать после числовых значений величин и обязательно помещать в одну строку с ними, оставляя пробел между последней цифрой числового значения величины и обозначением единицы. Пробел не оставляют перед обозначением в виде знака, поднятого над строкой (...°, ...', ...").

В заголовках граф, в наименованиях (боковиках) таблиц, в пояснениях обозначений к формулам допускается применять обозначения единиц и при отсутствии перед единицей числового значения величины.

При наличии десятичной дроби обозначения единиц следует помещать после всех цифр, например: 5,35°.

В астрономии вместо правильной записи 5 ч 6 мин 30 с или 5 h 6 min 30 s неправильно помещают единицы времени в виде верхнего правого индекса и записывают 5^h6^m30^s или 5^h6^m30^s, что нарушает требования ГОСТ 8.417—817.

Кроме того, обозначения единиц в десятичных дробях располагают перед запятыми (в середине десятичной дроби), напри-

мер: 5°, 35; 63°24', 12. Такие записи обозначений единиц противостоят ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78). Примеры:

Правильно	Неправильно
Масса тела 5 кг Скорость машины 60 км/ч Температура воды 18 °С Угол равен 42°45'23" КПД машины 27 % Длина стола 56,5 см Высота светила 54,5° Прямое восхождение α Тельца 4 ч 33,0 мин Паспортные данные лампы 60 Вт; 220 В (или 60 W; 220 V)	Масса тела 5кг Скорость машины 60км/ч Температура воды 18°С или 18° C Угол равен 42 °45 '23 " КПД машины 27% Длина стола 56 см, 5 Высота светила 54°,5 Прямое восхождение α Тельца 4ч33", 0 Паспортные данные лампы 60 W; 220 В (или 60 Вт; 220 V)

Буквенные обозначения единиц, входящих в произведения, следует разделять точками на средней линии строки, как знаками умножения, например: Н · м, Па · с, Ом · м, Вт/(м · К). В машинописных текстах разрешается точку не поднимать, оставляя ее на нижней линии.

В буквенных обозначениях отношений единиц рекомендуется применять косую черту в качестве знака деления, например: м/с, км/ч, Кл/м². При этом произведения обозначений единиц в знаменателе следует заключать в скобки, например: Дж/(кг · К), моль/(с · м³).

Допускается применять обозначения единиц в виде произведения обозначений единиц, возведенных в положительные или отрицательные степени, например: м · с⁻¹, км · ч⁻¹, Кл · м⁻², Гн · м⁻¹, Дж · кг⁻¹ · К⁻¹, моль · м⁻³ · с⁻¹ — или в виде дроби с горизонтальной чертой, например: $\frac{м}{с^2}$, $\frac{км}{ч}$, $\frac{Кл}{м^2}$, $\frac{Гн}{м}$, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$, $\frac{моль}{с \cdot м^3}$.

Не допускается применять подряд без скобок более одной косой или горизонтальной черты. Например, нельзя писать Дж/кг/К или $\frac{Дж}{кг \cdot К}$. Примеры:

Правильно	Неправильно
Динамическая вязкость равна 0,1 Па · с Удельное электрическое сопротивление равно 1,2 ТОм · м (или 1,2 · 10 ¹² Ом · м) Удельная теплоемкость воды равна при температуре $t = 3^\circ\text{C}$ 4,2 кДж/(кг · К), или 4,2 $\frac{кДж}{кг \cdot К}$, или 4,2 кДж · кг ⁻¹ · К ⁻¹	Динамический коэффициент вязкости равен 0,1 Пас Удельное электрическое сопротивление равно 1,2 ТОмм (или 1,2 · 10 ¹² Омм) Удельная теплоемкость воды при $t = 3^\circ\text{C}$ равна 4,2 кДж/кг · К

При приведении ряда (группы) числовых значений величин, выраженных одной и той же единицей физической величины, эту единицу надо указывать один раз после последней цифры, например: 5; 10; 20 °С, 3; 4,8; 2,5 кг.

При указании значений величин с предельными отклонениями следует числовые значения заключать в скобки и обозначения единиц помещать после скобок или проставлять обозначения единиц дважды: после числового значения величины и после ее предельного отклонения, например: (18,0 ± 0,1) м или 18,0 м ± ± 0,1 м. Примеры:

Правильно	Неправильно
5; 10; 20; 30 кг (200,0 ± 0,3) кг или 200,0 кг ± 0,3 кг	5 кг; 10 кг; 20 кг; 30 кг или (5; 10; 20; 30) кг 200 ± 0,3 кг

Допускается применение сочетаний специальных знаков (...°; ...'; ..."; %; ‰) с буквенными обозначениями единиц, например: 23 °/с, 3 ‰/год. Но не разрешается комбинировать наименования и обозначения единиц в обозначении одной сложной единицы. Примеры:

Правильно	Неправильно
Луна проходит по своей орбите 13 °/сут Массовый расход равен 15 г/ч (или 0,015 кг/ч) Скорость 8...12 км/ч (или скорость 8...12 километров в час)	Луна проходит по своей орбите 13 град/сут Массовый расход 0,015 кг в час Скорость 8...12 км в час (или скорость 8...12 километров в ч)

Обозначения единиц, совпадающие с наименованиями этих же единиц (например, бар, бэр, моль, вар, рад), не следует изменять по падежам и числам, если они помещены после числовых значений, а также в заголовках граф, боковых таблиц, в пояснениях величин к формулам. Однако при чтении их следует изменять по падежам и числам, например: количество вещества соли 3 моль (читается — количество вещества соли 3 моля).

Обозначение светового года «св. год» следует изменять следующим образом: 1 св. год; 2; 3; 4 св. года; 5; 6; 12 св. лет.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

Согласованные значения фундаментальных физических постоянных приведены в таблице 4.1. Они вычислены на основе данных измерений отдельных постоянных и некоторых их комбинаций.

Экспериментальные данные, полученные в ряде стран (СССР, США, Великобритания, Франция, ФРГ, Япония и др.), были согласованы по методу наименьших квадратов в Международном комитете по численным данным для науки и техники (КОДАТА). На VIII Генеральной ассамблее КОДАТА в сентябре 1973 г. была принята таблица рекомендованных значений фундаментальных физических постоянных, частично она приведена в этой книге. В круглых скобках таблицы даны средние квадратические погрешности, т. е. квадратические отклонения приводимых числовых значений в их последних значащих цифрах. Так, например, 6,626 176 (36) означает $6,626\ 176 \pm 0,000\ 036$; 2,997 924 58 (1,2) означает $2,997\ 924\ 58 \pm 0,000\ 000\ 012$. Учащимся, как правило, следует давать числовые значения фундаментальных физических постоянных с тремя значащими цифрами, например: 6,63; 3,00.

В таблице 4.2 приведены энергетические эквиваленты некоторых физических величин.

Приведем пояснения к материалу таблицы 4.1.

Гравитационная постоянная — коэффициент пропорциональности в формуле, выражающей закон тяготения Ньютона: $F = Gm_1m_2/r^2$, где F — сила притяжения двух материальных точек массами m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии r ; G — гравитационная постоянная. Наиболее точное значение G получено из лабораторных измерений силы притяжения между двумя телами известных масс с помощью крутильных весов.

Скорость распространения электромагнитных волн в свободном пространстве (скорость света в вакууме) c — одна из важнейших физических постоянных. Она представляет собой предельную скорость распространения любых физических воздействий и не меняется при переходе от одной системы отсчета к другой, т. е. инвариантна. В связи с тем что скорость распространения электромагнитных волн (скорость света) в вакууме c входит в ряд формул в виде c^2 , $1/c$, $1/c^2$, ниже приведены их значения:

$$\begin{aligned} c^2 &= 8,987\ 51 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2; \\ 1/c &= 3,335\ 64 \cdot 10^{-9} \text{ с/м}; \\ 1/c^2 &= 1,112\ 65 \cdot 10^{-17} \text{ с}^2/\text{м}^2. \end{aligned}$$

Значения магнитной (μ_0) и электрической (ϵ_0) постоянных приведены для применения в формулах электромагнетизма ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; $\epsilon_0 = 1/(\mu_0 c^2)$).

Постоянная Планка, или квант действия, определяет широкий круг физических явлений, для которых существенна дискретность

действия. Постоянная Планка введена в 1910 г. немецким физиком-теоретиком М. Планком (1858—1947) при установлении им закона распределения энергии в спектре излучения черного тела.

Наиболее точное значение постоянной Планка h установлено на основе эффекта Джозефсона (протекания сверхпроводящего тока через тонкий слой диэлектрика, разделяющий два сверхпроводника). Чаще пользуются постоянной $\hbar = h/2\pi$.

Массы покоя электрона, протона, нейтрона и мюона выражены и в килограммах (кг), и в атомных единицах массы (а. е. м.), поскольку атомную единицу массы допускается применять наравне с единицей СИ — килограммом, дольными и кратными от него (в частности, в химии, атомной и ядерной физике). В таблице приведены также отношения массы протона и массы мюона к массе электрона.

Элементарный заряд — наименьший положительный или отрицательный электрический заряд. Первые точные измерения значения элементарного заряда были выполнены (1910—1914) американским физиком Р. Милликеном (1868—1953) и советским физиком, академиком А. Ф. Иоффе (1880—1960).

Классический радиус электрона определяют по формуле $r_0 = e^2/(m_e c^2)$, где e и m_e — электрический заряд и масса электрона (соответственно), c — скорость света в вакууме, или $r_0 = \alpha^2 a_0 = \alpha^3/(4\pi R_\infty)$, где α — постоянная тонкой структуры, a_0 — радиус Бора, R_∞ — постоянная Ридберга.

Радиус Бора — радиус первой, ближайшей к ядру орбиты электрона в атоме водорода согласно теории атома Бора. (Н. Бор (1885—1962) — датский физик, создавший первую теорию атома, участвовавший в разработке основ квантовой механики.) Радиус Бора определяют по формуле $a_0 = \hbar^2/(m_e e^2)$, где a_0 — радиус Бора, \hbar — постоянная Планка, m_e и e — масса и электрический заряд электрона (соответственно).

Атомная единица массы — $1/12$ массы изотопа атома углерода ^{12}C .

Постоянная Авогадро — одна из важнейших фундаментальных физических постоянных — определяет число структурных элементов (атомов, молекул, ионов и других частиц) в 1 моль вещества. Она служит, в частности, для вычисления многих физических постоянных (постоянной Больцмана, постоянной Фарадея и др.). Существует до двадцати независимых методов определения постоянной Авогадро (на основе барометрической формулы, законов броуновского движения и др.). Постоянную Авогадро можно также найти по формулам, связывающим ее с другими физическими постоянными, определяемыми с очень высокой точностью.

Постоянная Фарадея — физическая величина, широко применяемая в электрохимических расчетах и представляющая собой отношение количества электричества, протекающего через электролит, к количеству вещества, выделяемого на каждом

электроды ($F = N_A e$, где F — постоянная Фарадея, N_A — постоянная Авогадро, e — электрический заряд). Эта постоянная названа в честь английского физика и химика М. Фарадея (1791 — 1867), открывшего основные законы электролиза.

Постоянная Лошмидта — постоянная, равная отношению числа молекул идеального газа при нормальных физических условиях к объему газа. Определяется по уравнению $n_0 = N_A/V_m$, где n_0 — постоянная Лошмидта, N_A — постоянная Авогадро, V_m — молярный объем идеального газа при нормальных условиях. Эта постоянная названа в честь австрийского физика Й. Лошмидта (1821—1895), впервые определившего число молекул, находящихся в идеальном газе объемом 1 м^3 при нормальных условиях.

Универсальная (молярная) газовая постоянная, входящая в уравнение состояния идеального газа $R = pV_m/T$, где R — универсальная (молярная) газовая постоянная (любого идеального газа), p — давление газа, V_m — молярный объем газа, T — абсолютная температура газа.

Молярный объем любого идеального газа, т. е. объем, приходящийся на количество вещества газа 1 моль при нормальных условиях ($p_0 = 101,325 \text{ кПа}$; $T_0 = 273,15 \text{ К}$), определяется из соотношения $V_m = RT_0/p_0$.

Постоянная Больцмана входит в ряд важнейших соотношений физики, в частности в уравнение состояния идеального газа, в выражение для средней энергии теплового движения частиц. Постоянную Больцмана (названа в честь австрийского физика Л. Больцмана (1844—1906)) k определяют из соотношения $k = R/N_A$, где R — универсальная газовая постоянная, N_A — постоянная Авогадро.

Постоянная Стефана — Больцмана — величина, входящая в уравнение для излучательности черного тела: $M_e = \sigma T^4$, где M_e — излучательность черного тела, σ — постоянная Стефана — Больцмана, T — термодинамическая температура. (Й. Стéфан — австрийский физик (1835—1893)). Постоянную Стефана — Больцмана можно определить из соотношения $\sigma = (\pi^2/60) \times k^4/(h^3 c^2)$.

Постоянная Вина входит в закон смещения Вина (В. Вин (1864—1928) — немецкий физик), утверждающий, что длина волны λ_{max} на которую приходится максимум энергии в спектре равновесного излучения, обратно пропорциональна абсолютной температуре излучающего тела: $b = \lambda_{\text{max}} T$, где b — постоянная Вина, λ_{max} — длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре равновесного излучения, T — абсолютная температура излучающего тела.

Первая и вторая радиационные постоянные (первая и вторая постоянные излучения) входят в уравнение закона Планка $M_{e,\lambda} = c_1 \lambda^{-5} (e^{c_2/\lambda T} - 1)^{-1}$ и в уравнение приближенного закона Вина $M_{e,\lambda} = c_1 \lambda^{-5} e^{-c_2/\lambda T}$, где $M_{e,\lambda}$ — плотность излучательности

черного тела при длине волны λ , c_1 — первая постоянная излучения, e — основание натуральных логарифмов, c_2 — вторая постоянная излучения, T — абсолютная температура излучающего тела.

$$c_1 = 2\pi hc^2; c_2 = hc/k.$$

Постоянная Ридберга — постоянная, введенная шведским физиком Й. Ридбергом (1854—1919) в 1890 г. при изучении спектров атомов в выражения для уровней энергии и частот излучения атомов. Если принять, что масса ядра атома бесконечно велика по сравнению с массой электрона (ядро неподвижно), то постоянная Ридберга $R_\infty = 2\pi^2 m e^4 / ch^3$.

В таблице 4.2 приведены энергетические эквиваленты (в джоулях (единицах СИ) и в электрон-вольтах) атомной единицы массы; масс протона, нейтрона, мюона, электрона и 1 кг. При умножении значений масс, выраженных в килограммах, на квадрат скорости распространения электромагнитных волн в свободном пространстве (скорости света в вакууме) в метрах в секунду в соответствии с законом эквивалентности массы покоя и энергии ($E = mc^2$) получают значения энергетических эквивалентов в джоулях. Для перехода к значениям энергетических эквивалентов, выраженных в электрон-вольтах, следует полученные числовые значения разделить на $1,60219 \cdot 10^{-19}$ (1 эВ = $1,60219 \times 10^{-19}$ Дж).

ГЛАВА 5.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ. ПЕРЕСЧЕТНЫЕ НОМОГРАММЫ

§ 5.1. ЧИСЛА

В 1948 г. IX Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) рассмотрела предложение Парижского бюро долгой системы счисления о наименованиях многозначных чисел и решение Международного комитета мер и весов (МКМВ) по этому вопросу. Обсуждались два варианта наименований многозначных чисел: правило « $n - 1$ » и правило « N ».

В соответствии с первым правилом многозначное число, представленное в виде 10^{3n} , где n — целое положительное число, равное или большее 2 ($n \geq 2$), должно именоваться $(n - 1)$ -иллионом. Например, число $10^{12} = 10^{3 \cdot 4}$ ($n = 4$) следует именовать триллионом ($n - 1 = 3$), а число $10^{21} = 10^{3 \cdot 7}$ ($n = 7$) следует именовать секстиллионом ($n - 1 = 6$). Это правило применяли США, СССР и некоторые другие страны.

В соответствии со вторым правилом, названным также «правилом шестерки», многозначное число, представленное в виде 10^{6N} , где N — целое положительное число, равное или большее 2 ($N \geq 2$), должно именоваться N -иллионом. Например, число

$10^{30} = 10^{6N}$ ($N = 5$) должно именоваться квинтиллионом. При применении этого правила в виде исключения число 10^9 именуется миллиардом. Это правило применяется в ряде европейских стран (Великобритания, Франция, ФРГ и др.).

Ниже приведены примеры наименований многозначных чисел по правилам « $n - 1$ » и « N ».

Примеры наименований многозначных чисел

Число	Наименование числа	
	по правилу « $n - 1$ »	по правилу « N »
10^6	миллион	миллион
10^9	биллион или миллиард	миллиард
10^{12}	триллион	биллион
10^{13}	десять триллионов	десять биллионов
10^{14}	сто триллионов	сто биллионов
10^{15}	квадриллион	тысяча биллионов
10^{16}	десять квадриллионов	десять тысяч биллионов
10^{17}	сто квадриллионов	сто тысяч биллионов
10^{18}	квинтиллион	триллион
10^{21}	секстиллион	тысяча триллионов
10^{24}	септиллион	квадриллион
10^{27}	октиллион	тысяча квадриллионов
10^{30}	нониллион	квинтиллион

IX ГКМВ приняла предложение МКМВ, рекомендующего для европейских стран применение второго варианта, т. е. правила « N ». Это правило предусматривается рекомендацией СЭВ РС 2625—71 «Основные математические обозначения», где приводятся основные математические обозначения, употребляемые в нормативно-технической документации, научной и технической литературе и в школьных учебниках.

Обозначения чисел в пособии даны в соответствии с указанной рекомендацией:

1. Цифры должны набираться прямым шрифтом.

2. Единственным знаком, служащим для разделения целой и дробной части десятичного числа, является запятая. Если размер числа не превышает единицу, то перед десятичным знаком должен стоять нуль.

Точку вместо запятой допускается применять в работах по численным методам, а также в документах на английском языке.

3. Если число имеет дальнейшие неприведенные десятичные знаки, то на конце дробной части десятичного числа ставят многоточие (три точки). Примеры: $e = 2,718\dots$; $\pi = 3,14\dots$

4. Если дробь периодическая, то цифры периода выписывают один раз и берут их в круглые скобки, далее ставят многоточие.

Пример: $5 \frac{41}{110} = 5,3(72)\dots$

5. Многоточие применяют для обозначения «и т. д. до...». Пример: $n = 1, 2, \dots, m$.

6. Многоточие применяют для обозначения «и т. д. до бесконечности». Пример: $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots$

7. Для обозначения «от ... до» следует применять знаки: \dots ; \div . Пример: $3 \dots 100$ или $3 \div 100$, что означает «от 3 до 100 включительно».

8. Для обозначения того, что целая часть десятичного числа отрицательна, а дробная часть положительна, ставят черточку над целой частью десятичного числа. Пример: $\bar{5},402\ 49 = -5 + 0,402\ 49 = -4,597\ 51$.

Разбиение многозначных чисел на цифровые группы производят для удобства их чтения. Многозначные числа разбивают на трехзначные группы, начиная с запятой влево и вправо, отделяя их промежутками (пробелами). Для этой цели не следует пользоваться точкой или запятой. Примеры:

Правильно	Неправильно
2 865 036, 413 2	2'865'036, 413'2
82,412 346 523 7	82,412.346.5237
412 543, 167 0	412543, 1670
4, 186 8	4, 1868
9, 806 65	9, 80665

Правила записи чисел, распространяемые на результаты измерений и вычислений, приводятся в соответствии со стандартом СЭВ СТ СЭВ 543—77 «Числа. Правила записи и округления», являющимся обязательным в рамках Конвенции о применении стандартов СЭВ. Срок начала применения этого стандарта — декабрь 1979 г.

Все цифры данного числа от первой слева, не равной нулю, до последней цифры справа (включая и нули) являются **з н а ч а**

Примеры определения числа значащих цифр

Число	Число значащих цифр
12,4	3
124	3
1240	4
12,0	3
40	2
$0,526 \cdot 10^8$	3
0,000 4	1
0,000 40	2
0,000 48	2

щ и м и ц и ф р а м и. При этом нули, следующие из множителя 10^n , не учитываются.

Для указания, что число является точным, применяют два способа: либо пишут после числа слово «точно», либо последнюю цифру числа печатают жирным шрифтом, например:

1 кгс = 9,806 65 Н (точно) или 1 кгс = 9,806 65 Н.

1 кВт·ч = 3 600 000 Дж (точно) или 1 кВт·ч = 3 600 000 Дж.

1 ккал = 4,186 8 Дж (точно) или 1 ккал = 4,186 8 Дж.

Следует применять следующее основное правило записи приближенных чисел: приближенное число должно быть записано с таким числом значащих цифр, которое гарантирует верность последней значащей цифры числа, например:

запись числа 4,6 означает, что верны только цифры целых и десятых (истинное значение числа может быть таким: 4,64; 4,62; 4,56; 4,59);

запись числа 4,60 означает, что верны и сотые доли числа (истинное значение числа может быть 4,604; 4,602; 4,596, но не 4,623 или 4,593);

запись числа 493 означает, что верны все три цифры; если за последнюю цифру 3 ручаться нельзя, это число должно быть записано так: $4,9 \cdot 10^2$;

запись числа 5840 означает, что верны все четыре цифры; если за последние две цифры ручаться нельзя, то это число следует записать так: $5,8 \cdot 10^3$;

при выражении плотности ртути $13,6 \text{ г/см}^3$ в единицах СИ (кг/м^3) следует писать $13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ и нельзя писать $13\ 600 \text{ кг/м}^3$, что означало бы верность пяти значащих цифр, в то время как в исходном числе приведены только три верные значащие цифры.

Последняя значащая цифра допускаемого отклонения (допуска) должна быть того же разряда, что и последняя значащая цифра числа, для которого указывается это отклонение. Примеры:

Правильно	Неправильно
35,0 ± 0,1 46,14 ± 0,15 35,60 ± 0,18	35 ± 0,1 или 35,00 ± 0,1 46,14 ± 0,2 или 46,1 ± 0,15 35,6 ± 0,18 или 35,603 ± 0,18

Числовые значения величины и ее погрешности (отклонения) целесообразно записывать с указанием одной и той же единицы физической величины. Примеры:

Правильно	Неправильно
(14,232 ± 0,002) кг 14,232 кг ± 0,002 кг (102,3 ± 0,1) км 102,3 км ± 0,1 км (30 ± 2) °С; 30 °С ± 2 °С	14,232 кг ± 2 г 14,232 ± 0,002 кг 102,3 км ± 100 м 102,3 ± 0,1 км — 30 ± 2 °С

При указании интервала числовых значений физической величины ее единицу следует указывать только один раз после последней цифры. Примеры:

Правильно	Неправильно
от 0,3 до 3 мм от 40 до 120 кг свыше 100 до 150 м 5,9; 8,5; 10,0; 12,0 г 10 × 10 × 80 мм 1,50; 1,85; 2,00 · А	от 0,3 мм до 3 мм от 40 кг до 120 кг свыше 100 м до 150 м 5,9 г; 8,5 г; 10,0 г; 12,0 г 10 мм × 10 мм × 80 мм или 10 × 10 × 80 мм ³ 1,5; 1,85; 2 · А

Правила округления чисел, распространяемые на результаты измерений и вычислений, приводятся в соответствии со СТ СЭВ 543—77 «Числа. Правила записи и округления».

Округление числа представляет собой отбрасывание значащих цифр справа до определенного разряда с возможным изменением цифры этого разряда.

При округлении последняя сохраняемая цифра не изменяется:

1) если первая отбрасываемая цифра, считая слева направо, меньше 5;

2) если первая отбрасываемая цифра, равная 5, получилась в результате предыдущего округления в большую сторону.

При округлении последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу:

1) если первая отбрасываемая цифра больше 5;

2) если первая отбрасываемая цифра, считая слева направо, равна 5 (при отсутствии предыдущих округлений или при наличии предыдущего округления в меньшую сторону).

Округление следует выполнять сразу до желаемого числа значащих цифр, а не по этапам, что может привести к ошибкам. Примеры:

Неокругленное число	Округленное число
432,28	432,3 (до 4 значащих цифр); 432 или $4,32 \cdot 10^2$ (до 3 значащих цифр)
31,43	31,4 (до 3 значащих цифр)
0,022 6	0,023 (до 2 значащих цифр)
0,325 (предыдущее округление отсутствовало)	0,33 (до 2 значащих цифр)
0,325 (предыдущее до округления число 0,324 8)	0,32 (до 2 значащих цифр)
0,325 (предыдущее до округления число 0,325 3)	0,33 (до 2 значащих цифр)

§ 5.2. ОСНОВНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Основные математические обозначения приведены в соответствии с рекомендацией СЭВ РС 2625—71 «Основные математические обозначения» (табл. 5.1) и рекомендациями Международного союза чистой и прикладной физики (I.U.P.A.P.; МСЧПФ) «Обозначения, единицы измерения и терминология в физике» (документ U.I.P. 20 (1978) [9]).

В разделе 1 приведены основные знаки отношений, а в разделе 2 — знаки основных математических действий. Знаком умножения чисел является крестик (\times) или точка на уровне середины строки. Примеры: $3,5 \times 4,27$; $3,5 \cdot 4,27$.

Деление одного числа на другое обозначают тремя способами: с применением горизонтальной черты, косой черты или в виде произведения числителя и обратной степени знаменателя. В последнем случае число, возведенное в обратную степень, не следует заключать в скобки. Примеры:

правильно $\frac{136}{273,15}$; $136/273,15$; $136 \cdot 273,15^{-1}$;

неправильно $136 \cdot (273,15)^{-1}$.

Если при записи чисел используется косая черта дроби и имеются сомнения относительно того, откуда начинается числитель и где кончается знаменатель, то в этих случаях следует воспользоваться скобками. Примеры: правильно $3/(4 \cdot 5 \cdot 6)$ и неправильно $3/4 \cdot 5 \cdot 6$ (имеется в виду деление числа 3 на произведение чисел 4; 5 и 6. Правильно $3/(5 - 2)$; $(40 - 2)/(60 - 3)$.

В разделах 3 и 4 (табл. 5.1) приведены математические обозначения, применяемые в геометрии и тригонометрии. Для обозначений обратных тригонометрических функций рекомендуется применять буквенную приставку *arc* перед символом тригонометрической функции. Примеры: $\arcsin x$; $\operatorname{arctan} x$ и т. д.

В разделе 5 приведены характерные знаки для периодических величин; в разделе 6 — знаки для комплексных чисел; в разделе 7 — знаки в векторном исчислении; в разделе 8 — знаки для множеств.

§ 5.3. ПЕРЕСЧЕТ И ОКРУГЛЕНИЕ ЧИСЛОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЕЛИЧИН¹

Как правило, в практике решений задач в школьных курсах физики, химии и других дисциплин пользуются в настоящее время формулами, в которых предусмотрено выражение физических величин в единицах СИ, а в некоторых случаях — в кратных и дольных от единиц СИ. Однако пособия, изданные ранее, содержат величины в прежних системных и внесистемных единицах, которые подлежали изъятию с 1 января 1980 г.

В этих случаях при решении задач необходимо сначала

¹ § 5.3 и 5.4 написаны Б. З. Харасом.

перевести все значения величин, выраженные в прежних единицах, в единицы СИ, а затем, округлив их, подставить в формулы вместо буквенных обозначений величин.

Пересчет значения величины и округление нового полученного значения следует производить таким образом, чтобы точность по возможности была сохранена или была весьма близка к прежней точности. Другими словами, по своей точности новое значение величины должно соответствовать исходному значению.

С этой целью умножают заданное числовое значение величины, выраженное в единицах, подлежащих изъятию, на пересчетный безразмерный множитель (без округления), а затем полученный результат округляют до такого числа значащих цифр, которое обеспечит точность, близкую к точности прежнего числового значения.

Приведем примеры пересчета и округления.

Пример 1. Сила в прежних единицах равна 95,31 кгс. Для получения значения силы, выраженного в ньютонах (единицах СИ), следует умножить 95,31 на точное значение пересчетного множителя $9,806\,65$ ($1 \text{ кгс} = 9,806\,65 \text{ Н}$). В результате умножения получают $95,31 \cdot 9,806\,65 \text{ Н} = 934,671\,811\,5 \text{ Н}$. Для сохранения прежней точности округляют полученный ответ с десятью значащими цифрами до четырех значащих цифр, которые содержатся в исходном числе. С этой целью отбрасывают в полученном ответе справа шесть значащих цифр 718 115 и увеличивают последнюю оставленную цифру ответа 6 до 7, поскольку первая отбрасываемая цифра 7 больше пяти. Окончательный ответ: $95,31 \text{ кгс} = 934,7 \text{ Н}$.

Пример 2. Модуль продольной упругости (модуль Юнга) стали в прежних единицах $E = 2,1 \cdot 10^9 \text{ кгс/см}^2$ (значение дано с двумя значащими цифрами). При умножении на точное значение коэффициента пересчета $9,806\,65 \cdot 10^4$ ($1 \text{ кгс/см}^2 = 9,806\,65 \cdot 10^4 \text{ Па}$) получают: $E = 2,1 \cdot 10^9 \cdot 9,806\,65 \cdot 10^4 \text{ Па} = 2,059\,396\,5 \times 10^{11} \text{ Па}$. Для получения прежней точности округляют полученное значение до двух значащих цифр и получают: $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$. Результат округления нельзя записывать $E = 206 \text{ ГПа}$, т. е. как число с тремя значащими цифрами.

Пример 3. Удельная теплота сгорания мазута равна $9,8 \text{ Мкал/кг}$ (две значащие цифры). Умножая $9,8$ на точное значение коэффициента пересчета $4,186\,8$ ($1 \text{ Мкал/кг} = 4,186\,8 \text{ МДж/кг}$), получают: $9,8 \cdot 4,186\,8 \text{ МДж/кг} = 41,030\,64 \text{ МДж/кг}$, или после округления до двух значащих цифр 41 МДж/кг .

Если точность пересчетного множителя выше требуемой (см. разобранные примеры), то его можно округлить. Однако в нем нужно оставить столько цифр, чтобы его округление не повлияло на те значащие цифры результата, которые будут оставлены в нем после округления. Например, $9,806\,65$ можно округлить до $9,81$ или до 10 ; $4,186\,8$ — до $4,19$ или $4,2$.

При приближенном умножении $95,31 \cdot 9,81 \text{ Н} = 934,991\,1 \text{ Н} \approx 935,0 \text{ Н}$, что мало отличается от ранее полученного результата $934,7 \text{ Н}$.

§ 5.4. ПЕРЕСЧЕТНЫЕ НОМОГРАММЫ¹

Для облегчения перехода от выражения механических и тепловых величин и величин ионизирующего излучения, подлежащих изъятию, к выражению величин в единицах СИ, в кратных и

¹ Номограммы размещены на форзацах данного пособия.

дольных от них, можно использовать предлагаемые номограммы с логарифмическими шкалами (для обеспечения одной и той же точности во всем диапазоне пересчетных значений).

Номограммы состоят из вертикальных прямых линий, по левую сторону которых нанесены значения величин в прежних единицах, а по правую сторону — соответствующие значения величин в новых единицах (СИ, кратных и дольных от них). Диапазон отложенных прежних значений 1...10. Числовые значения величин, выходящие за пределы указанного диапазона и равные $(1...10) \cdot 10^n$, где n — целое число, в новых единицах следует умножить на 10^n .

Номограмма 1 (см. передний форзац, рис. 2) служит для пересчета единиц давления (кгс/см²; ат) в мегапаскали (МПа) (пересчетный коэффициент $0,098\ 066\ 5 \approx 0,098$). Для перевода давления, равного 43,6 кгс/см², в мегапаскали откладывают на левой стороне номограммы 4,36 кгс/см² ($43,6 = 4,36 \cdot 10$) и находят на правой стороне соответствующее значение 0,425 МПа, затем это значение умножают на 10. Следовательно, $43,6\ \text{кгс/см}^2 \approx 4,3\ \text{МПа}$.

Номограмма 2 (там же, рис. 3) служит для пересчета единиц механических величин, выраженных в килограмм-силах (кгс), тонна-силах (тс), килограмм-силах на квадратный миллиметр (кгс/мм²), килограмм-силах на квадратный метр (кгс/м²), миллиметрах водяного столба (мм вод. ст.), килограмм-силаметрах (кгс · м), в ньютон (Н), килоньютон (кН), мегапаскали (МПа), паскали (Па) (соответственно) с пересчетным коэффициентом $9,806\ 65 \approx 9,8$. Пример: $1,21\ \text{тс} \approx 12\ \text{кН}$; $12,1\ \text{тс} \approx 120\ \text{кН}$.

Номограмма 3 (там же, рис. 4) служит для пересчета единицы мощности, выраженной в лошадиных силах (л. с.), и работы, выраженной в лошадиная сила-часах (л. с. · ч), в киловатты (кВт) и киловатт-часы (кВт · ч) соответственно. Пересчетный коэффициент $0,735\ 499 \approx 0,735$. Пример: $8,2\ \text{л.с.} \approx 6,0\ \text{кВт}$; $82\ \text{л.с.} \approx 60\ \text{кВт}$.

Номограмма 4 (там же, рис. 5) служит для пересчета единиц давления, выраженного в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.), или торрах (Торр), в килопаскали (кПа). Пересчетный коэффициент $0,133\ 322 \approx 0,133$.

Номограмма 5 (там же, рис. 6) служит для пересчета единиц тепловых величин, выраженных в калориях (кал), килокалориях (ккал), гигакалориях (Гкал), теракалориях (Ткал), килокалориях на килограмм (ккал/кг), килокалориях на квадратный метр (ккал/м²), калориях в секунду (кал/с), в джоули (Дж), килоджоули (кДж), мегаджоули (МДж), гигаджоули (ГДж), тераджоули (ТДж), килоджоули на килограмм (кДж/кг), килоджоули на квадратный метр (кДж/м²), ватты (Вт) (соответственно). Пересчетный коэффициент $4,186\ 8 \approx 4,2$.

Номограмма 6 (см. задний форзац, рис. 7) служит для пересчета тепловых единиц, выраженных в килокалориях в час

(ккал/ч), мегакалориях в час (Мкал/ч), в ватты (Вт), киловатты (кВт) (соответственно). Пересчетный коэффициент 1,163 (точное) $\approx 1,16$.

Номограмма 7 (там же, рис. 8) служит для пересчета единиц активности нуклида: кюри (Ки), килокюри (кКи), милликюри (мКи), микрокюри (мкКи), нанокюри (нКи) в гигабеккерели (ГБк), терабеккерели (ТБк), мегабеккерели (МБк), килобеккерели (кБк) и беккерели (Бк) (соответственно). Коэффициент пересчета 37.

Номограмма 8 (там же, рис. 9) служит для пересчета единиц экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, выраженной в рентгенах (Р), килорентгенах (кР), миллирентгенах (мР) и микрорентгенах (мкР), в милликулоны на килограмм (мКл/кг), кулоны на килограмм (Кл/кг), микрокулоны на килограмм (мкКл/кг) и нанокулоны на килограмм (нКл/кг) (соответственно), а также для пересчета единиц мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, выраженной в Р/с, мР/с и мкР/с, в мА/кг, мкА/кг, нА/кг (соответственно). Пересчетный коэффициент 0,258.

Номограмма 9 (там же, рис. 10) служит для пересчета мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, выраженной в Р/мин, мР/мин и мкР/мин, в мА/кг, нА/кг и пА/кг (соответственно). Пересчетный коэффициент 4,30.

Номограмма 10 (там же, рис. 11) служит для пересчета единиц мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, выраженной в кР/ч, Р/ч и мР/ч, в мА/кг, мкА/кг и нА/кг (соответственно). Пересчетный коэффициент $0,0717 \approx 0,072$.

Номограмма 11 (там же, рис. 12) служит для пересчета единиц энергии, выраженной в электрон-вольтах (эВ), килоэлектрон-вольтах (кэВ), мегаэлектрон-вольтах (МэВ) и гигаэлектрон-вольтах (ГэВ), в аттоджоули (аДж), фемтоджоули (фДж), пикоджоули (пДж) и наноджоули (нДж) (соответственно). Пересчетный коэффициент 0,160. Пример: $6,25\ \text{МэВ} = 1,0\ \text{пДж}$; $625\ \text{МэВ} = 100\ \text{пДж}$.

ГЛАВА 6.

ПАМЯТКА УЧИТЕЛЮ ПО ПРАВИЛЬНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ НАИМЕНОВАНИЙ, ОБОЗНАЧЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ИХ ЕДИНИЦ

§ 6.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

1.1. Используйте в качестве основополагающего официально-документа по физическим величинам ГОСТ 16263—70 «Метрология. Термины и определения» [1].

1.2. Определяйте физическую величину (кратко, величину) как измеряемую характеристику физических объектов или явле-

ний материального мира, общую в качественном отношении для многих объектов или явлений, но индивидуальную для каждого из них в количественном отношении.

Указанному определению не удовлетворяют термины: воздействие, нагрузка, влияние, электрическое поле, магнитное поле, волна, содержание, состав, количество, а также наименования физических объектов, в связи с чем не рассматривайте их в качестве физических величин.

1.3. Не допускайте применения слова «величина» для выражения количественной характеристики физического объекта или явления. Запрещайте использовать такие сочетания, как «величина массы», «величина силы электрического тока», «величина мощности», «скорость по величине и направлению», поскольку масса, сила электрического тока, мощность, скорость сами являются величинами.

1.4. Проводите различие между терминами: размерность физической величины, обозначение физической величины, единица физической величины, обозначение единицы физической величины.

Физическая величина (наименование величины)	Обозначение физической величины	Размерность физической величины	Единица физической величины (наименование единицы)	Обозначение единицы физической величины
Скорость	v	LT^{-1}	метр в секунду	м/с

Не называйте единицу физической величины и ее обозначение размерностью физической величины.

Не допускайте таких выражений, как «метр в секунду — размерность скорости», «ампер — размерность силы тока», «джоуль — размерность энергии», «ватт — размерность мощности», «моль — размерность количества вещества».

1.5. Используйте понятие «размерность физической величины», а не понятие «размерность единицы».

1.6. Запомните, что размерность представляет собой характеристику физической величины в форме степенного одночлена с коэффициентом, равным 1. Она отражает связь рассматриваемой величины с величинами, принятыми в данной системе величин за основные. Так, в системе величин, охватываемой Международной системой единиц (СИ), размерность ускорения — LT^{-2} , силы тока — I , энергии — L^2MT^{-2} .

1.7. Помните, что размерность печатают прописными буквами и прямым шрифтом.

1.8. Для обозначения размерности величины применяйте международное сокращенное обозначение \dim . Например, запись $\dim \rho$ означает размерность плотности (ρ — плотность).

1.9. Не следует допускать ошибок при установлении размерностей безразмерных относительных величин; их размерно-

сти равны единице (1), а не нулю (0), как нередко ошибочно пишут.

1.10. Различайте два вида уравнений связи: уравнения связи между физическими величинами (в частности, к ним принадлежит большинство уравнений, применяемых в физике и химии) и уравнения связи между числовыми значениями величин.

В первых уравнениях связи присутствуют коэффициенты, равные единице, либо безразмерные коэффициенты, зависящие от применяемой модели, либо размерные коэффициенты, как правило, представляющие собой измеряемые фундаментальные физические постоянные (см. с. 7). В этих уравнениях связи размерности левой и правой частей уравнения совпадают.

В уравнениях связи между числовыми значениями величин (к ним, в частности, относятся все эмпирические уравнения) коэффициенты — безразмерные числа и их значения зависят от выбора единиц, в которых выражены величины. В уравнениях второй группы не следует стремиться к уравниванию размерностей левой и правой частей уравнения путем присвоения размерности безразмерному коэффициенту пропорциональности (см. с. 8).

1.11. Для каждой физической величины используйте одно наименование. Параллельное наименование допускается только в том случае, если не установлен единый термин.

1.12. Не допускайте применения одного и того же наименования для нескольких различных физических величин, выражаемых в разных единицах. Например, не следует использовать термин «нагрузка» для обозначения силы, выражаемой в ньютонах, давления, выражаемого в паскалях, поверхностной плотности теплового потока, выражаемой в ваттах на квадратный метр.

1.13. Используйте краткие (усеченные) наименования физических величин при условии, что это не вызовет никаких недоразумений.

1.14. Не разрешайте применять такие краткие (усеченные) термины, как объем (вместо удельного объема), плотность (вместо относительной, линейной или поверхностной плотности), электрическое или магнитное поле (вместо напряженности электрического и индукции магнитного поля), теплота сгорания топлива (вместо удельной, молярной или объемной теплоты сгорания топлива).

1.15. Не используйте устаревшие наименования физических величин, даже если они встречаются в литературе или в нормативно-технической документации.

1.16. Не применяйте в качестве наименований физических величин геометрические понятия «поверхность» и «сечение» с выражением их в единицах площади. Правильные наименования величин «площадь поверхности», «площадь сечения».

1.17. Не разрешайте применять такие наименования физических величин, как «сила веса», «сила давления», «объем массы», «масса объема», «объем количества вещества», «количество

вещества объема» и другие подобные наименования величин, представляющие собой «величину величины».

1.18. Особое внимание обращайтесь на правильное применение терминов «масса» и «вес» и производных от них.

1.19. Не отождествляйте такие величины, как «давление» и «напор».

1.20. Выражайте грузоподъемность крана, грузового автомобиля, подъемного лифта в единицах массы, а не в единицах веса.

1.21. Не допускайте введения единицы физической величины в наименование физической величины, так как величина — первичное понятие, а единица физической величины — вторичное понятие (см. с. 16).

1.22. Не допускайте таких определений величин, в которые входят обозначения и единицы физических величин (см. с. 17).

1.23. Величину, равную отношению массы к объему тела, всегда называйте плотностью (для однородного тела), средней плотностью (для неоднородного тела) и насыпной плотностью (для сыпучего материала).

1.24. Для величин, представляющих собой отношения какой-либо физической величины к массе, объему или количеству вещества, применяйте соответственно прилагательные «удельный», «объемный», «молярный». Учтите, что при этом дополнительное прилагательное «удельный» в последних двух случаях является излишним.

1.25. Не называйте концентрацией величину, равную отношению массы (или количества вещества) компонента к массе (или количеству вещества) смеси, раствора, сплава. В этих случаях используйте (соответственно) термины «массовая доля» и «молярная доля» и выражайте их в единицах относительных величин (1, %, ‰, млн⁻¹).

1.26. Массовой концентрацией называйте размерную величину, равную отношению массы компонента к полному объему смеси, раствора, сплава, и выражайте ее в килограммах на кубический метр (кг/м³) или в граммах на литр (г/л).

1.27. Молярной концентрацией называйте размерную величину, равную отношению количества вещества компонента к полному объему смеси, раствора или сплава, и выражайте ее в молях на кубический метр (моль/м³) или в молях на литр (моль/л).

1.28. Не используйте прилагательное «мольный» вместо прилагательного «молярный». Правильно: молярная масса, молярный объем, молярная газовая постоянная и т. д.

1.29. Не используйте термин «количество» вместо терминов «число», «масса», «объем» или «количество вещества».

1.30. Не используйте термины «число Авогадро», «число Фарадея» вместо терминов «постоянная Авогадро» и «постоянная Фарадея», являющихся размерными величинами. Под числами Авогадро и Фарадея понимаются лишь числовые значения постоянных Авогадро и Фарадея.

1.31. Не используйте термины «точка росы», «тройная точка воды» с выражением их в единицах температуры вместо правильных наименований величин: «температура точки росы», «температура тройной точки воды».

1.32. Не применяйте термин «объем» вместо «удельного объема» в качестве параметра состояния вещества.

1.33. Запомните, что в настоящее время не применяют выражений: шкала Цельсия, стоградусная температурная шкала, шкала Кельвина. Допускается применение двух температурных шкал: термодинамической и Международной практической 1968 г. (МПТШ-1968), основанной на одиннадцати основных реперных точках, с градуировкой этих шкал в кельвинах или градусах Цельсия.

1.34. Не используйте термины «теплопроизводительность водогрейного котла» и «холодопроизводительность холодильной установки» вместо правильных терминов: «тепловая мощность водогрейного котла» и «холодильная мощность холодильной установки».

1.35. Не используйте слово «коэффициент» перед наименованиями таких величин, как «теплопроводность», «динамическая вязкость», «кинематическая вязкость», «поверхностное натяжение».

1.36. Не используйте термины «видимый свет» и «невидимый свет», поскольку под светом следует понимать видимое излучение.

1.37. Не используйте термины «точность» и «относительная точность» взамен терминов «абсолютная погрешность» и «относительная погрешность».

Точность измерения представляет собой обратное значение модуля относительной погрешности, которая выражается в долях единицы, процентах или промилле. Точность всегда больше 1.

1.38. Применяйте обозначения физических величин в соответствии с обозначениями, приведенными в государственных стандартах на обозначения физических величин и в Международных стандартах и рекомендациях ИСО на величины и единицы.

§ 6.2. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

2.1. В качестве основополагающего документа по единицам физических величин используйте Государственный стандарт ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) «Единицы физических величин», введенный в действие с 1 января 1982 г.

2.2. Помните, что на начальных стадиях обучения разрешается давать упрощенные определения некоторых единиц (например, метра и секунды) по сравнению с установленными в ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78).

2.3. Применяйте в русских школах русские наименования единиц, установленные ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78), а

для нерусских школ — соответствующие наименования единиц на языках народностей СССР, например хвилина (вместо минуты), година (вместо часа) в школах на украинском языке. При этом помните, что обозначения единиц физических величин должны быть либо международными (буквами латинского и греческого алфавитов), либо русскими (буквами русского алфавита).

2.4. Не допускайте использования буквенных обозначений единиц на языках народностей СССР. Так, при преподавании на украинском языке не разрешайте употреблять хв (обозначения «хвилина») вместо мин (для минуты), год (обозначение «години») вместо ч (для часа) и т. д.

2.5. Обязательно применяйте единицы СИ, кратные и дольные от них.

2.6. Именуя производные единицы СИ через наименования основных, дополнительных и производных единиц СИ. При этом применяйте для восемнадцати производных единиц СИ специальные наименования (люмен, люкс и шестнадцать наименований единиц по фамилиям ученых: ньютон, паскаль, джоуль, ватт, кулон, вольт, ом, сименс, герц, фарад, вебер, тесла, генри, беккерель, грэй и зиверт), присвоенные Генеральной конференцией по мерам и весам.

2.7. Учтите, что в современные русские наименования единиц СИ внесены изменения (кельвин, кандела, паскаль, фарад, паскаль-секунда, беккерель, грэй, зиверт).

2.8. Помните, что наравне с единицами СИ без ограничения срока допускаются следующие внесистемные единицы: тонна; литр; минута, час, сутки, неделя, месяц, год, век, тысячелетие; угловые градус, минута и секунда; градус Цельсия; астрономическая единица, парсек и световой год; атомная единица массы; гектар; диоптрия; электрон-вольт; вольт-ампер и вар.

2.9. Используйте в качестве единиц относительных величин (КПД; массовая, объемная и молярная доли; относительная плотность; относительное удлинение и т. п.) единицу, процент, промилле, миллионную долю.

2.10. Не разрешайте учащимся применять:

1) устаревшие наименования единиц и их обозначения (гамма, инерта, стен, стен-метр; пьеза; литр-атмосфера; эман; махе; фригория; термия; тепловой, акустический и механический ом; магн, ампер-виток; фот, фот-секунда, фот-час, радлюкс, радфот, стильб, апостильб, ламберт; савар; кислородная и водородная атомные единицы массы);

2) восемь единиц системы СГС, имеющие специальные наименования (пуаз, стокс, гал, барн, максвелл, гаусс, гильберт эрстед);

3) единицы, не входящие в СИ, если они не являются кратными и дольными от них (калория, грамм-сила, килограмм-сила и тонна-сила и все единицы, на них основанные; торр, миллиметр ртутного столба, миллиметр водяного столба; ангстрем, икс-

единица; центнер; квадратный градус; рентген, кюри, рад, бэр; ом-квадратный миллиметр на метр).

2.11. Не используйте в качестве единиц массы грамм-моль, грамм-молекулу, грамм-атом, грамм-ион и грамм-эквивалент. Заменяйте эти единицы молекул — единицей количества вещества.

2.12. Не используйте термины «унифицированная» и «углеродная единица массы» вместо стандартизованного международного наименования «атомная единица массы».

2.13. Не допускайте включать в наименования (и обозначения) единиц указания на измеряемую величину или ее особенность. Например, нельзя писать тут вместо тонна условного топлива; п. м. или пм вместо погонный метр; % мас., % объем, % мол. вместо массовый, объемный или молярный процент.

2.14. Не используйте неправильно образованные единицы, например единицы, в знаменателе которых стоят числовые значения величин, умноженные на единицу величины. Так, для массовой концентрации вместо 12 мкг/100 мл пишите 120 мкг/л или 120 мг/м³.

2.15. Используйте прилагательные «квадратный» и «кубический» в наименованиях единиц площади и объема. Если вторая или третья степень длины не представляет собой площади или объема, применяйте выражения «в квадрате» или «во второй степени», «в кубе» или «в третьей степени».

2.16. Наименования единиц, стоящих в знаменателе, записывайте с предлогом «на», за исключением единиц величин, зависящих от времени в первой степени и характеризующих скорость протекания процесса. В последнем случае используйте предлог «в».

2.17. Наименования единиц, образующих произведение, соединяйте дефисом (короткой чертой).

2.18. При склонении произведения двух или нескольких единиц изменяйте только последнюю единицу этого произведения (см. с. 114).

2.19. Выполняя математическое действие, сокращайте одинаковые единицы или единицы однородных величин в числителе и знаменателе. Например, килограмм в секунду на килограмм [(кг/с)/кг] следует записывать как секунду в минус первой степени (с⁻¹); микрометр на метр (мкм/м) следует записывать как одну миллионную (млн⁻¹).

2.20. Помните, что буквенные обозначения единиц (международные и русские) печатают, независимо от шрифта текста, прямым шрифтом строчными буквами, за исключением обозначений единиц, наименования которых образованы по фамилиям ученых. Эти обозначения пишутся с прописной буквы.

Учащиеся для буквенных обозначений единиц могут применять любой шрифт — прямой или курсивный.

2.21. В конце обозначений единиц не ставьте точку как знак сокращения.

2.22. Обозначения единиц пишите после числовых значений величин в одной строке с ними (не переносите на следующую строку).

В заголовках граф и наименованиях строк (боковиках) таблиц применяйте обозначения единиц без числовых значений величин.

2.23. Между последней цифрой числового значения величины и обозначением единицы оставляйте пробел. Исключения составляют обозначения в виде знака, поднятого над строкой, перед которым пробела не оставляют (см. с. 123).

2.24. При наличии десятичной дроби в числовом значении величины обозначение единицы пишите после всех цифр (см. с. 123).

2.25. При указании значения величины с предельными отклонениями числовые значения величин заключайте в скобки и обозначение единицы пишите после скобок, например $(100,0 \pm 0,1)$ кВт, или проставляйте его дважды: после числового значения величины и после ее предельного отклонения, например: $100,0$ кВт $\pm 0,1$ кВт.

2.26. Не допускайте написания обозначений единиц в одной строке с формулой. Это делает формулу неоднородной.

2.27. Обозначения единиц пишите после всех результатов промежуточных расчетов и в конце окончательного расчета.

2.28. Применяйте для обозначения произведения единиц точку (как знак умножения), поднятую на среднюю линию.

2.29. Допускайте любой способ записи отношения единиц: через косую черту, через горизонтальную черту и в виде произведения обозначений единиц, возведенных в степени.

2.30. В обозначениях отношений единиц используйте только одну косую или горизонтальную черту.

2.31. Если для записи отношения единиц используется косая черта, а в знаменателе стоит произведение, то оно обязательно заключается в скобки, например: Дж/(кг · К).

2.32. Не склоняйте обозначений единиц и, в частности, обозначений, совпадающих с наименованиями единиц (моль, бар, бэр, вар, рад). Но читайте 1 моль, 2 моля, 5 молей, 3 бара, 100 вар, 3 рада. Год и св. год изменяйте следующим образом: 2 года, 3 св. года, 5 лет, 30 св. лет.

2.33. Не допускайте комбинирования обозначений единиц с наименованиями единиц или названиями физических объектов. Например, нельзя писать 20 км/час или 20 км в час вместо 20 км/ч или 20 километров в час.

2.34. Не присоединяйте к наименованию единицы (или к ее обозначению) две или более приставок (или их обозначений).

2.35. Приставку (или ее обозначение) пишите слитно с наименованием (или обозначением) единицы, к которой ее присоединяют.

2.36. Если единица образована как произведение или отношение единиц, присоединяйте приставку к наименованию первой единицы, входящей в произведение или отношение.

В обоснованных случаях применяйте приставки во втором множителе произведения или в знаменателе (см. с. 117).

2.37. Не сокращайте приставки при их слиянии с наименованием единицы, например пишите «мегаом» (а не «мегом»).

2.38. При образовании кратных и дольных единиц не используйте приставки «деци», «санти», «дека», «гекто» с теми единицами, которые не получили широкого распространения с этими приставками, например: деканьютон, гектоджоуль.

2.39. Обозначения кратных и дольных единиц образуйте добавлением показателя степени к обозначению кратной или дольной от этой единицы, причем показатель степени будет означать возведение в степень кратной или дольной единицы вместе с приставкой (см. с. 117—118).

2.40. При выборе десятичной кратной или дольной единицы учитывайте удобство ее применения. В принципе числовые значения величины должны находиться в диапазоне от 0,1 до 1000.

2.41. В чертежах линейные размеры выражайте всегда в миллиметрах.

Для одной и той же величины в таблицах числовых значений и при сопоставлении этих значений в одном тексте применяйте одну и ту же кратную или дольную единицу и в тех случаях, когда числовые значения величин выходят за пределы диапазона 0,1 ... 1000.

2.42. В процессе вычислений все величины выражайте в единицах СИ, заменяя приставки степенями числа 10. Кратные и дольные единицы подставляйте только в конечный результат.

2.43. Не применяйте термина «единица измерения» вместо термина «единица».

2.44. Следите за тем, чтобы учащиеся говорили «единицы СИ», а не «единицы системы СИ».

2.45. Не используйте микрограмм-процента (мкг %), миллиграмм-процента (мг %), грамм-процента (г %) в качестве единиц массовой концентрации.

2.46. Не используйте град или ...° в качестве обозначений единиц температуры или разности температур (вместо К или °С), не пишите 20 градусов холода или 20 градусов ниже нуля и 16 градусов тепла вместо -20 °С и 16 °С.

2.47. Вычисляя значения физических величин, сохраняйте точность данного значения величины. Так, например, при переводе данных значений величин в единицы СИ умножайте заданное числовое значение величины (без округления) на безразмерный переводный коэффициент, а затем полученный результат округляйте до такого числа значащих цифр, которое обеспечит точность, близкую к точности заданного значения величины. Можно округлять и значение переводного коэффициента при условии сохранения точности прежнего значения величины.

Основные единицы СИ

Наименование	Величина			Единица			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц
	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение		Определение	
				международное	русское		
Длина	L	l	метр	м	п	Метр равен расстоянию, пройденному в вакууме плоской электромагнитной волной за $1/299\,792\,458$ долей секунды [XVI ГКМВ (1979 г.) и XVII ГКМВ (1983 г.)]	км, см, мм, мкм, нм
Масса	M	m	килограмм	кг	kg	Килограмм равен массе международного прототипа килограмма [I ГКМВ (1889 г.) и III ГКМВ (1901 г.)]	Мг, г, мг, мкг
Время	T	t	секунда	с	s	Секунда равна $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 [XIII ГКМВ (1967 г.). Резолюция I]	кс, мс, мкс, нс

Наименование	Величина			Единица			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц
	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение		Определение	
				международное	русское		
Сила электрического тока	I	I	ампер	A	A	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 [МКМВ (1946 г.). Резолюция 2, одобренная IX ГКМВ (1948 г.)]	кА, мА, мкА, нА, пА
Термодинамическая температура	Θ	T	кельвин	K	K	Кельвин равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды [XIII ГКМВ (1967 г.). Резолюция 4]	МК, кК, мК, мкК
Количество вещества	N	n, v	моль	моль	mol	Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг	кмоль, ммоль, мкмоль

Величина		Единица			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц	
Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Обозначение			
			Наименование	международное	русское	
Сила света	J	J	кандела	cd	кд	При применении молярные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц [XIV ГКМВ (1971 г.), Резолюция 3]
						Кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, сила излучения которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср [XVI ГКМВ (1979 г.), Резолюция 3]

Примечания.

1. Кроме температуры Кельвина (обозначение T), допускается применять также температуру Цельсия (обозначение t), определяемую выражением $t = T - T_0$, где $T_0 = 273,15$ К по определению. Температура Кельвина выражается в кельвинах; температура Цельсия — в градусах Цельсия (обозначение международное и русское $^{\circ}\text{C}$). По размеру градус Цельсия равен кельвину.

2. Интервал или разность температур Кельвина выражают в кельвинах. Интервал или разность температур Цельсия допускается выражать как в кельвинах, так и в градусах Цельсия.

3. Обозначение Международной практической температуры в Международной практической температурной шкале 1968 г. в случае, если ее необходимо отличить от термодинамической температуры, образуется путем добавления к обозначению термодинамической температуры индекса «68» (например, T_{68} или t_{68})

Таблица 3.2

Определяющие реперные (постоянные) точки МПТШ-68¹

Состояние равновесия	Присвоенное значение Международной практической температуры		Оценочная погрешность, К
	T_{68} , К	t_{68} , $^{\circ}\text{C}$	
Равновесие между твердой, жидкой и газообразной фазами равновесного водорода (тройная точка равновесного водорода)	13,81	-259,34	0,01
Равновесие между жидкой и газообразной фазами равновесного водорода ² при давлении 33 330, 6 Па	17,042	-256,108	0,01
Равновесие между жидкой и газообразной фазами равновесного водорода ² (точка кипения равновесного водорода)	20,28	-252,87	0,01
Равновесие между жидкой и газообразной фазами неона (точка кипения неона)	27,102	-246,048	0,01
Равновесие между твердой, жидкой и газообразной фазами кислорода (тройная точка кислорода)	54,361	-218,789	0,01
Равновесие между жидкой и газообразной фазами кислорода (точка кипения кислорода)	90,188	-182,962	0,01
Равновесие между твердой, жидкой и газообразной фазами воды (тройная точка воды)	273,16	0,01	точно по определению
Равновесие между жидкой и газообразной фазами воды (точка кипения воды) ^{3,4,5}	373,15	100	0,005
Равновесие между твердой и жидкой фазами цинка (точка затвердевания цинка)	692,73	419,58	0,03

Состояние равновесия	Присвоенное значение Международной практической температуры		Оценочная погрешность, К
	T_{68} , К	t_{68} , °С	
Равновесие между твердой и жидкой фазами серебра (точка затвердевания серебра)	1235,08	961,93	0,2
Равновесие между твердой и жидкой фазами золота (точка затвердевания золота)	1337,58	1064,43	0,2

¹ Присвоенные значения температур действительны для состояний равновесия при давлении 101 325 Па за исключением тройных точек и одной точки равновесного водорода (17,042 К).

При воспроизведении этих постоянных точек могут возникнуть малые отклонения от присвоенных температур из-за разной глубины погружения термометров и от того, что предписанное давление не может быть реализовано совершенно точно. При учете этих малых температурных разностей точность воспроизведения шкалы не будет снижена.

² Водород можно рассматривать как смесь двух модификаций — ортоводорода и параводорода. При комнатной температуре в равновесии устанавливается отношение ортоводорода и параводорода, равное 3:1. При охлаждении отношение модификаций вначале сохраняется и этот водород называется «нормальным водородом». Через некоторое время устанавливается новое термическое равновесие, при котором массовая доля параводорода возрастает и их отношение становится функцией температуры; такой водород носит наименование «равновесного водорода»; вблизи точки абсолютного нуля существует только параводород.

³ Применяемая вода должна иметь изотопический состав воды океанов.

⁴ Экспериментами, проведенными в 1972—1973 гг. с газовым термометром, в котором с помощью тщательного охлаждения лучше устранялись адсорбционные эффекты, было установлено новое значение температуры точки кипения воды при нормальном давлении, равное 99,970 °С, что на 0,030 К меньше прежнего значения (100 °С).

⁵ Вместо точки кипения воды можно применять состояние равновесия между твердой и жидкой фазами олова (точка затвердевания олова) с присвоенным значением $t_{68} = 231,9681$ °С.

Вторичные точки отсчета МПТШ-68

Состояние равновесия	Значение температуры в МПТШ-68	
	T_{68} , К	t_{68} , °С
Тройная точка нормального водорода ¹	13,956	—259,194
Точка кипения нормального водорода ¹	20,397	—252,753
Тройная точка неона	24,555	—248,595
Тройная точка азота	63,148	—210,002
Точка кипения азота	77,348	—195,802
Точка сублимации оксида углерода (IV)	194,674	—78,476
Точка затвердевания ртути	234,288	—38,862
Точка замерзания воды	273,15	0
Тройная точка дифенильного эфира	300,02	26,87
Тройная точка бензокарбоновой кислоты	395,52	122,37
Точка затвердевания индия	429,784	156,634
Точка затвердевания висмута	544,592	271,442
Точка затвердевания кадмия	594,258	321,108
Точка затвердевания свинца	600,652	327,502
Точка кипения ртути	629,81	356,66
Точка кипения серы	717,824	444,674
Точка затвердевания эвтектического сплава меди с алюминием ²	821,38	548,23
Точка затвердевания сурьмы	903,89	630,74
Точка затвердевания алюминия	933,52	660,37
Точка затвердевания меди	1357,6	1084,5
Точка затвердевания никеля	1728	1455
Точка затвердевания кобальта	1767	1494
Точка затвердевания палладия	1827	1554
Точка затвердевания платины	2045	1772
Точка затвердевания родия	2236	1963
Точка затвердевания иридия	2720	2447
Точка затвердевания вольфрама	3660	3387

¹ См. сноску 2 к таблице 3.2.

² Эвтектический сплав (греч. eutektos — легко плавящийся) — сплав, температура плавления которого ниже температуры плавления входящих в его состав компонентов, если они не образуют между собой химического соединения.

Дополнительные единицы СИ¹

Величина		Единица				Обозначения рекомендуемых дольных единиц	
Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Определяющее уравнение	Наименование	Обозначение		
					международное	русское	
Плоский угол	1	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \nu, \phi$	$\alpha = s/r$	радиан	рад	рад	мрад, мкрад
Телесный угол	1	ω, Ω	$\Omega = S/r^2$	стерадиан	ср	ср	стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы

¹ Решением Международного комитета по мерам и весам (1980 г.) плоский угол и телесный угол отнесены к производным величинам, а радиан и стерадиан — к производным единицам. Это решение должно быть утверждено Генеральной конференцией по мерам и весам.

Таблица 3.5

Производные единицы СИ, имеющие специальные наименования (по ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) «Единицы физических величин»)

Наименование	Размерность	Наименование	Единица	
			Обозначение	
			международное	русское
Частота	T^{-1}	герц	Hz	Гц
Сила, вес	LMT^{-2}	ньютон	N	Н
Давление, механическое напряжение, модуль упругости	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Pa	Па
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	джоуль	J	Дж
Мощность, поток энергии	L^2MT^{-3}	ватт	W	Вт
Электрический заряд (количество электричества)	TI	кулон	C	Кл
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	V	В
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	F	Ф
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ω	Ом
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	S	См
Поток магнитной индукции, магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Wb	Вб
Плотность магнитного потока, магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	T	Тл
Индуктивность, взаимная индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	H	Гн

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
Световой поток	J	люмен	lm	лм
Освещенность	L ⁻² J	люкс	lx	лк
Активность нуклида в радиоактивном источнике	T ⁻¹	беккерель	Bq	Бк
Поглощенная доза излучения, керма	L ² T ⁻²	грэй	Gy	Гр
Эквивалентная доза излучения	L ² T ⁻²	зиверт	Sv	Зв

Спектральная световая эффективность K(λ) и относительная спектральная световая эффективность V(λ) при различных длинах волн

λ, нм	K(λ), лм/Вт	V(λ)	λ, нм	K(λ), лм/Вт	V(λ)
380	0,03	0,000 04	580	594	0,870
400	0,27	0,000 4	600	431	0,631
420	0,73	0,004	620	260	0,381
440	15,7	0,023	640	120	0,175
460	41,0	0,060	660	41,7	0,061
480	90,2	0,139	680	11,6	0,017
500	221	0,323	700	2,8	0,004 1
520	485	0,710	720	0,72	0,001 05
540	652	0,954	740	0,17	0,000 25
560	680	0,995	760	0,04	0,000 06

Наименования и обозначения приставок СИ для образования десятичных кратных и дольных единиц и их множители

Наименование приставки	Обозначение приставки		Множитель	Примеры
	международное	русское		
экса	E	Э	10 ¹⁸	эксабеккерель
пета	P	П	10 ¹⁵	петаджоуль
тера	T	Т	10 ¹²	терагерц
гига	G	Г	10 ⁹	гигаватт
мега	M	М	10 ⁶	мегаом
кило	k	к	10 ³	километр
гекто ¹	h	г	10 ²	гектолитр
дека ¹	da	да	10 ¹	декалитр
деци ¹	d	д	10 ⁻¹	дециметр
сант ¹	c	с	10 ⁻²	сантиметр
милли	m	м	10 ⁻³	милливольт
микро	μ	мк	10 ⁻⁶	микроампер
нано	n	н	10 ⁻⁹	наносекунда
пико	p	п	10 ⁻¹²	пикофарад
фемто	f	ф	10 ⁻¹⁵	фемтокулон
атто	a	а	10 ⁻¹⁸	аттограмм

¹ Приставки «гекто», «дека», «деци» и «сант» допускается применять только для единиц, получивших широкое распространение, например: дециметр, сантиметр, декалитр, гектолитр.

Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица			Примечание
	наименование	обозначение		
		международное	русское	
Масса	тонна атомная единица массы	t u	т а. е. м.	10^3 кг $1,660 57 \cdot 10^{-27}$ кг (приблизительно)
Время ¹	минута час сутки	min h d	мин ч сут	60 с 3600 с 86 400 с
Плоский угол	градус минута секунда град ²	° ' " " " g (gon)	° ' " " " град	$(\pi/180)$ рад = $1,745 329 \dots \cdot 10^{-2}$ рад $(\pi/108 00)$ рад = $2,908 882 \dots \cdot 10^{-4}$ рад $(\pi/648 000)$ рад = $4,848 137 \dots \cdot 10^{-6}$ рад ($\pi/200$) рад
Длина	астрономическая единица световой год парсек	ua ly pc	а. е. св. год пк	$1,495 98 \cdot 10^{11}$ м (приблизительно) $9,460 5 \cdot 10^{15}$ м (приблизительно) $3,085 7 \cdot 10^{16}$ м (приблизительно)
Площадь	гектар	ha	га	10^4 м ²

Продолжение табл. 3.8

Наименование величины	Единица			Примечание
	наименование	обозначение		
		международное	русское	
Объем, вместимость	литр ³	l	л	10^{-3} м ³
Оптическая сила	диоптрия	—	дптр	1 м ⁻¹
Энергия	электрон-вольт	eV	эВ	$1,602 19 \cdot 10^{-19}$ Дж (приблизительно)
Полная мощность	вольт-ампер	V · A	В · А	
Реактивная мощность	вар	var	вар	

¹ Допускается применять другие единицы, получившие широкое распространение, например: неделя, месяц, год, век, тысячелетие и др.

² Допускается применять по-русски наименование «гон».

³ Не рекомендуется применять при точных измерениях. При возможности смешения обозначения | с цифрой 1 допускается обозначение L.

Примечание. Единицы времени (минута, час, сутки), плоского угла (градус, минута, секунда), астрономическую единицу, световой год, диоптрию и атомную единицу массы не допускаются применять с приставками.

Таблица 3.9
Единицы, временно допускаемые к применению
(до решения международных организаций об их изъятии)

Наименование величины	Единица				Примечание
	наименование	обозначение		соотношение с единицей СИ	
		международное	русское		
Длина	морская миля	п миля*	миля	1 852 м (точно)	В морской навигации
Масса	карат	—	кар	$2 \cdot 10^{-4}$ кг (точно)	При взвешивании драгоценных камней и жемчуга
Линейная плотность	текс	tex	текс	10^{-6} кг/м (точно)	В текстильной промышленности
Скорость	узел	кп	уз	0,514 (4) м/с	В морской навигации
Частота вращения	оборот в секунду оборот в минуту	г/с* г/мин*	об/с об/мин	$1/60$ с ⁻¹ = 0,016 (6) с ⁻¹	
Давление	бар	bar	бар	10^5 Па	

Продолжение табл. 3.9

Наименование величины	Единица				Примечание
	наименование	обозначение		соотношение с единицей СИ	
		международное	русское		
Натуральный логарифм безразмерного отношения физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную	непер	Нр	Нп		$1 \text{ Нп} = 0,8686... \text{ Б} = 8,686... \text{ дБ}$

* Международные обозначения введены в ГОСТ 8.417—81 изменением № 1, утвержденным постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27 июня 1983 г. № 2719 со сроком введения с 1 января 1984 г.

Внесистемные единицы, подлежащие изъятию

Наименование величины	Единица			соотношение с единицей СИ
	наименование	обозначение		
		международное	русское	
Длина	ангстрем икс-единица микрон	Å	Å	10 ⁻¹⁰ м (точно) 1,002 06 · 10 ⁻¹³ м (приблизительно) 10 ⁻⁶ м (1 мкм)
		X μ	икс-ед. мк	
Площадь	бари ар	b	б	10 ⁻²⁸ м ² 100 м ²
		a	а	
Масса	центнер	q	ц	100 кг (точно)
Угол поворота	оборот	г	об	2π рад ≈ 6,28 ... рад
Телесный угол	квадратный градус	□ °	□ °	3,046 2 ... · 10 ⁻⁴ ср
Ускорение	гал миллигал	Gal mGal	Гал мГал	0,01 м/с ² 10 ⁻⁵ м/с ²
Сила, вес	дина килограмм-сила	dyn kgf	дин кгс	10 ⁻⁵ Н 9,806 65 Н (точно)

Продолжение табл. 3.10.

Наименование величины	Единица			соотношение с единицей СИ
	наименование	обозначение		
		международное	русское	
Давление	грамм-сила тонна-сила	gf tf	гс тс	9,806 65 · 10 ⁻³ Н (точно) 9 806,65 Н (точно)
		кг/м ² кг/см ² mmH ₂ O mm Hg торр	кгс/м ² кгс/см ² мм вод. ст. мм рт. ст. —	
Напряжение (механическое)	килограмм-сила на квадратный милли- метр	kgf/mm ²	кгс/мм ²	9,806 65 · 10 ⁶ Па (точно)
Работа, энергия	эрг	erg	эрг	10 ⁻⁷ Дж
Мощность	лошадиная сила	—	л. с.	735,499 Вт

Наименование величины	Единица			соотношение с единицей СИ
	наименование	обозначение		
		международное	русское	
Динамическая вязкость	пуаз	P	П	0,1 Па · с
Кинематическая вязкость	стокс	St	Ст	$10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
Количество теплоты, внутренняя энергия, эн- тальпия, теплота фазо- вого превращения, теп- лота химической реакции	калория (междунар.) килокалория (между- нар.) мегакалория (между- нар.) калория термохими- ческая калория 15-градусная	cal kcal Mcal cal _{th} cal ₁₅	кал ккал Мкал кал _{тх} кал ₁₅	4,186 8 Дж (точно) 4,186 8 · 10 ³ Дж (точно) 4,186 8 · 10 ⁶ Дж (точно) 4,184 0 Дж (приблизительно) 4,185 5 Дж (приблизительно)
Удельное электриче- ское сопротивление	ом-квадратный милли- метр на метр	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	Ом · мм ² /м	$10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Магнитный поток	максвелл	Mx	Мкс	10^{-8} Вб
Магнитная индукция	гаусс	Gs	Гс	10^{-4} Тл

Наименование величины	Единица			соотношение с единицей СИ
	наименование	обозначение		
		международное	русское	
Магнитодвижущая си- ла, разность магнитных потенциалов	гильберт ампервиток	Gb At	Гб ав	$(10/4\pi) \text{ A} = 0,795 775 \dots \text{ A}$ 1 А
Напряженность маг- нитного поля	эрстед	Oe	Э	$(10^3/4\pi) \text{ A/м} = 79,577 5 \dots \text{ A/м}$
Поглощенная доза излучения	рад	rad, rd	рад	0,01 Гр
Эквивалентная доза излучения, показатель эквивалентной дозы	бер	геп	бер	0,01 Зв
Экспозиционная доза фотонного излучения (экспозиционная доза гамма- и рентгеновского излучений)	рентген	R	P	$2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ (точно)

Продолжение табл. 3.10

Наименование величины	Единица			соотношение с единицей СИ
	наименование	обозначение		
		международное	русское	
Мощность экспозиционной дозы фотонного излучения	рентген в секунду	R/s	P/c	$2,58 \cdot 10^{-4}$ А/кг
Активность нуклида в радиоактивном источнике	кюри	Ci	Ки	$3,700 \cdot 10^{10}$ Бк (точно)
Яркость	нит	nit	нт	1 кд/м ²

Значения фундаментальных физических постоянных

Таблица 4.1

Наименование	Обозначение	Значение
Гравитационная постоянная	G	$6,6720(41) \cdot 10^{-11}$ Н · м ² /кг ² $\approx 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н · м ² /кг ²
Скорость распространения электромагнитных волн в свободном пространстве (скорость света в вакууме)	c	$2,997\,924\,58(1,2) \cdot 10^8$ м/с $\approx 3,00 \cdot 10^8$ м/с
Магнитная постоянная (магнитная проницаемость вакуума)	μ_0	$1,256\,637\,061(44) \cdot 10^{-6}$ Гн/м $\approx 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м
Электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума)	$\epsilon_0 = 1/(\mu_0 c^2)$	$8,854\,187\,82(7) \cdot 10^{-12}$ Ф/м $\approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Постоянная Планка	h $\hbar = h/(2\pi)$	$6,626\,176(36) \cdot 10^{-34}$ Дж · с $\approx 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с $1,054\,588\,7(57) \cdot 10^{-34}$ Дж · с $\approx 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
Масса покоя: электрона	m_e	$\left\{ \begin{array}{l} 9,109\,534(47) \cdot 10^{-31} \text{ кг} \approx 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \\ 5,485\,802\,6(21) \cdot 10^{-4} \text{ а. е. м.} \approx 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ а. е. м.} \end{array} \right.$
протона	m_p	$\left\{ \begin{array}{l} 1,672\,648\,5(86) \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \\ 1,007\,276\,470(11) \text{ а. е. м.} \approx 1,007 \text{ а. е. м.} \end{array} \right.$
нейтрона	m_n	$\left\{ \begin{array}{l} 1,674\,954\,3(86) \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \\ 1,008\,665\,012(37) \text{ а. е. м.} \approx 1,008 \text{ а. е. м.} \end{array} \right.$
мюона	m_μ	$\left\{ \begin{array}{l} 1,883\,566(11) \cdot 10^{-28} \text{ кг} \approx 1,88 \cdot 10^{-28} \text{ кг} \\ 0,113\,492\,0(26) \text{ а. е. м.} \approx 0,113 \text{ а. е. м.} \end{array} \right.$

Наименование	Обозначение	Значение
Отношение к массе электрона: массы протона массы мюона	m_p/m_e m_μ/m_e	1 836,151 52 (70) $\approx 1,84 \cdot 10^3$ 206,768 65 (47) ≈ 207
Элементарный заряд	e	1,602 189 2 (46) $\cdot 10^{-19}$ Кл $\approx 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Отношение заряда электрона к его массе	e/m_e	1,758 804 7 (49) $\cdot 10^{11}$ Кл/кг $\approx 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
Классический радиус электрона	$r_e = \alpha^2 a_0$	2,817 938 (7) $\cdot 10^{-15}$ м $\approx 2,82 \cdot 10^{-15}$ м
Радиус Бора	$a_0 = \alpha/(4\pi R_\infty)$	5,291 770 6 (44) $\cdot 10^{-11}$ м $\approx 5,29 \cdot 10^{-11}$ м
Атомная единица массы	а. е. м.; m_u	1,660 565 5 (86) $\cdot 10^{-27}$ кг $\approx 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Массы атомов водорода ^1H дейтерия ^2H гелия-4 ^4He	$m(^1\text{H})$ $m(^2\text{H})$ $m(^4\text{He})$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,673\,559\,(8,5) \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \\ 1,007\,825\,036\,(11) \text{ а. е. м.} \approx 1,008 \text{ а. е. м.} \\ 2,014\,101\,795\,(21) \text{ а. е. м.} \approx 2,01 \text{ а. е. м.} \\ 4,002\,603\,267\,(48) \text{ а. е. м.} \approx 4,00 \text{ а. е. м.} \end{array} \right.$
Постоянная Авогадро	N_A	6,022 045 (31) $\cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$ $\approx 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$
Постоянная Фарадея	$F = N_A e$	9,648 456 (27) $\cdot 10^4$ Кл/моль $\approx 9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль

Наименование	Обозначение	Значение
Постоянная Лошмидта	$n_D; (N_D) \quad n_0 \approx N_A/V_m$	2,686 754 (86) $\cdot 10^{25}$ м $^{-3}$ $\approx 2,69 \cdot 10^{25}$ м $^{-3}$
Универсальная (молярная) газовая постоянная	$R = pV_m/T$	8,314 41 (26) Дж/(моль \cdot К) $\approx 8,31$ Дж/(моль \cdot К)
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях ($T_0 = 273,15$ К, $p_0 = 101\,325$ Па)	$V_m = RT_0/p_0$	22,413 83 (70) $\cdot 10^{-3}$ м 3 /моль $\approx 22,4 \cdot 10^{-3}$ м 3 /моль
Постоянная Больцмана	$k = R/N_A$	1,380 662 (44) $\cdot 10^{-23}$ Дж/К $\approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Постоянная Стефана — Больцмана	$\sigma = (\pi^2/60) k^4/(15^3 c^2)$	5,670 82 (71) $\cdot 10^{-8}$ Вт/(м $^2 \cdot$ К 4) \approx $\approx 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м $^2 \cdot$ К 4)
Постоянная Вина	$b = \lambda_{\text{max}} T$	2,897 790 (90) $\cdot 10^{-3}$ м \cdot К $\approx 2,90 \cdot 10^{-3}$ м \cdot К
Первая радиационная постоянная	$c_1 = 2\pi^5 h^6 c^3$	3,741 832 (20) $\cdot 10^{-16}$ Вт \cdot м 2 $\approx 3,74 \cdot 10^{-16}$ Вт \cdot м 2
Вторая радиационная постоянная	$c_2 = hc/k$	1,438 786 (45) $\cdot 10^{-2}$ м \cdot К $\approx 1,44 \cdot 10^{-2}$ м \cdot К
Постоянная Ридберга	$R_\infty = 2\pi^2 m e^4 / ch^3$	1,097 373 177 (83) $\cdot 10^7$ м $^{-1}$ $\approx 1,10 \cdot 10^7$ м $^{-1}$

Таблица 4.2

Энергетические эквиваленты величин

Величина или единица	Энергетический эквивалент	
	в единицах СИ	в электрон-вольтах
Атомная единица массы $E_a = (1 \text{ а. е. м.}) \cdot c^2$	$1,492 \ 442 \ (8) \cdot 10^{-10} \text{ Дж} \approx 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$	$9,315 \ 016 \ (26) \cdot 10^8 \text{ эВ} \approx 9,32 \cdot 10^8 \text{ эВ}$
Масса протона $E(m_p) = m_p c^2$	$1,503 \ 302 \ (8) \cdot 10^{-10} \text{ Дж} \approx 1,50 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$	$9,382 \ 796 \ (27) \cdot 10^8 \text{ эВ} \approx 9,38 \cdot 10^8 \text{ эВ}$
Масса нейтрона $E(m_n) = m_n c^2$	$1,505 \ 374 \ (8) \cdot 10^{-10} \text{ Дж} \approx 1,51 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$	$9,395 \ 731 \ (27) \cdot 10^8 \text{ эВ} \approx 9,40 \cdot 10^8 \text{ эВ}$
Масса мюона $E(m_\mu) = m_\mu c^2$	$1,692 \ 865 \ (9) \cdot 10^{-11} \text{ Дж} \approx 1,69 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$	$1,056 \ 594 \ 8 \ (35) \cdot 10^6 \text{ эВ} \approx 1,06 \cdot 10^6 \text{ эВ}$
Масса электрона $E(m_e) = m_e c^2$	$8,187 \ 241 \ (42) \cdot 10^{-14} \text{ Дж} \approx 8,19 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}$	$5,110 \ 034 \ (14) \cdot 10^6 \text{ эВ} \approx 5,11 \cdot 10^6 \text{ эВ}$
Килограмм $E(\text{кг}) = (1 \text{ кг}) c^2$	$8,987 \ 552 \ (54) \cdot 10^{16} \text{ Дж} \approx 8,99 \cdot 10^{16} \text{ Дж}$	$5,609 \ 545 \ (16) \cdot 10^{35} \text{ эВ} \approx 5,61 \cdot 10^{35} \text{ эВ}$

Таблица 5.1

Основные математические обозначения

Наименование знака	Произношение знака	Обозначение
1. Основные знаки отношений		
Знак равенства	равняется	$=$
Знак неравенства	не равняется	\neq или \neq
Знак равенства по определению	равняется по определению	$\stackrel{\text{def}}{=}$
Знак тождества, знак идентичности	идентично	\equiv
Знак соответствия	соответствует	\Leftrightarrow
Знак приближенного равенства	приближенно равно	\approx
Знак асимптотического равенства	асимптотически равно	\sim
Знак пропорциональности	пропорционально	\sim или \propto
Знак «меньше»	меньше	$<$
Знак «больше»	больше	$>$
Знак «меньше» или «равно»	меньше или равно	\leq или \leq или \leq
Знак «больше» или «равно»	больше или равно	\geq или \geq или \geq
Знак «значительно больше»	значительно больше	\gg
Знак «значительно меньше»	значительно меньше	\ll
Знак следования	следует	\Rightarrow
Знак равносильности	равносильны	\Leftrightarrow
2. Знаки основных действий		
Знак сложения	плюс	$+$
Знак вычитания	минус	$-$
Знак сложения-вычитания ¹	плюс-минус	\pm
Знак умножения ²	умножение на	\times или \cdot
Знак деления, знак дроби	деление на	$:$, или $/$, или $-$
Знак степени	a в степени n ; n -я степень числа	a^n
Знак квадратного корня	квадратный корень из a	\sqrt{a} ; \sqrt{a} ; $a^{1/2}$; $a^{\frac{1}{2}}$
Знак кубического корня	кубический корень из a	$\sqrt[3]{a}$; $\sqrt[3]{a}$; $a^{1/3}$; $a^{\frac{1}{3}}$
Знак корня n -й степени	корень n -й степени из a	$\sqrt[n]{a}$; $\sqrt[n]{a}$
Знак факториала	p -факториал	$p!$
Знак биномиального коэффициента (коэффициента Ньютона)	биномиальный коэффициент: n над p	C_n^p ; $\binom{n}{p}$
¹ В технической литературе знак « \pm » применяют и при обозначениях допусков и погрешностей. Пример: $d = (20,1 \pm 0,5) \text{ мм}$. ² Знак умножения опускают, если это не вызывает недоразумений. Пример: ab (вместо $a \cdot b$).		

Наименование знака	Произношение знака	Обозначение
Знак суммы	сумма	Σ
Знак произведения	произведение	Π
Знак среднего значения	среднее значение величины a	$\langle a \rangle$ или \bar{a}
Знаки скобок ¹	круглые скобки квадратные скобки фигурные скобки угловые скобки биквадратные скобки	$\{ \}$ $[\]$ $\langle \rangle$ $\llbracket \rrbracket$
Знак абсолютного значения величины или числа; модуль величины (числа)	абсолютное значение (или модуль) величины (или числа)	$ a $
Знак отношения длины окружности к ее диаметру	отношение длины окружности к ее диаметру (число «пи»)	π
Знак бесконечности	бесконечность минус бесконечность плюс бесконечность	∞ $-\infty$ $+\infty$
Знак основания натуральных логарифмов	основание натуральных логарифмов	e
Знак натурального логарифма от x	натуральный логарифм от x	$\ln x; \log_e x$
Знак десятичного логарифма от x	десятичный логарифм от x	$\lg x; \log_{10} x$
Знак двоичного (бинарного) логарифма от x	двоичный логарифм от x	$\text{lb } x; \log_2 x$
Знак антилогарифма	антилогарифм	antilog
Знак конечного приращения	конечное приращение переменной x	Δx
Знак «стремится к a »	стремится к a	$\rightarrow a$
Знак предела y	предел (limes y)	$\lim y$
Знак функции	функция f от переменной; значение, принимаемое функцией f в точке x	$f(x)$ $f(x)$
Знак области определения функции	область определения функции	$D(f)$
Знак множества значений функции	множество значений функции	$E(f)$
Знак экспоненциальной функции от x	экспоненциальная функция от x	$\exp x$
Знак производной функции f	производная функции f	$\frac{df}{dx}; df/dx; f'$
Знак частной производной функции	частная производная функции f	$\frac{\partial f}{\partial x}; \partial f/\partial x$
Знак неопределенного интеграла функции $f(x)$	неопределенный интеграл функции $f(x)$	$\int f(x) dx$
Знак определенного интеграла функции $f(x)$	определенный интеграл функции $f(x)$ в пределах a и b	$\int_a^b f(x) dx$

¹ Пример расположения скобок: $[[f + \langle e : \{d - [c + (a - b)]\}] >]]$.

Наименование знака	Произношение знака	Обозначение
3. Знаки в геометрии		
Знак перпендикулярности	перпендикулярно к...	\perp
Знак параллельности	параллельно	\parallel или $//$
Знак непараллельности	не параллельно	\nparallel
Знак равенства и параллельности	равны и параллельны	\equiv
Знак параллельности векторов	векторы параллельны	$\uparrow\uparrow$
Знак антипараллельности векторов	векторы антипараллельны	$\uparrow\downarrow$
Знак угла	угол	\sphericalangle или \sphericalangle
Знак дуги	дуга	\frown или \smile
Знак отрезка	отрезок AB	\overline{AB}
Знак треугольника	треугольник ABC	$\triangle ABC$
Знак подобия	подобный	\sim
Знак диаметра	диаметр	\oslash
4. Знаки в тригонометрии		
Знак синуса	синус x	$\sin x$
Знак косинуса	косинус x	$\cos x$
Знак тангенса	тангенс x	$\tan x; \text{tg } x$
Знак котангенса	котангенс x	$\cot x; \text{ctg } x$
Знак секанса	секанс x	$\sec x$
Знак косеканса	косеканс x	$\text{cosec } x$
<i>Обратные тригонометрические функции</i>		
Знак арксинуса	арксинус x	$\arcsin x$
Знак аркосинуса	аркосинус x	$\arccos x$
Знак арктангенса	арктангенс x	$\arctan x; \text{arctg } x$
Знак аркотангенса	аркотангенс x	$\text{arccot } x; \text{arctg } x$
Знак арксеканса	арксеканс x	$\text{arcsec } x$
Знак аркосеканса	аркосеканс x	$\text{arccosec } x$
5. Характерные значения периодических величин		
Знак мгновенного значения	мгновенное значение периодической величины x	x
Знак среднеквадратического значения	среднеквадратическое значение периодической величины x (или X)	$\tilde{x}; \tilde{X}$
Знак максимального значения	максимальное значение периодической величины x или X	$\hat{x}; \hat{X}$
Знак минимального значения	минимальное значение периодической величины x или X	$\check{x}; \check{X}$
Знак среднего значения	среднее значение периодической величины	$\bar{x}; \langle x \rangle$

Наименование знака	Произношение знака	Обозначение
6. Комплексные числа		
Знак мнимой единицы	мнимая единица	$i; j$
Знак вещественной (действительной) части комплексного числа	вещественная (действительная) часть комплексного числа z	$\text{Re } z$
Знак мнимой части комплексного числа	мнимая часть комплексного числа z	$\text{Im } z$
Знак модуля комплексного числа	модуль комплексного числа z	$ z $
Знак фазы, аргумента комплексного числа	фаза, аргумент комплексного числа $z: z = z \exp i\varphi$	$\arg z; \varphi$
Знак общего значения аргумента комплексного числа	общее значение аргумента комплексного числа	$\text{Arg } z$
7. Векторное исчисление		
Знак вектора	векторы	\vec{a}
Знак вектора с компонентами	вектор с компонентами (координатами) a_1, \dots, a_n	(a_1, \dots, a_n)
Знак вектора с началом и концом	вектор с началом A и концом B	$\vec{AB}; \overline{AB}$
Знак модуля вектора	модуль вектора \vec{a}	$ \vec{a} ; a$
Знак единичного вектора	единичный вектор \vec{a}	$\vec{1}_a$
	единичные векторы	$\vec{i}; \vec{j}; \vec{k}$
Знак суммы векторов	сумма векторов \vec{a} и \vec{b}	$\vec{a} + \vec{b}$
Знак разности векторов	разность векторов \vec{a} и \vec{b}	$\vec{a} - \vec{b}$
Знак векторного произведения векторов	векторное произведение векторов \vec{a} и \vec{b}	$\vec{a} \times \vec{b}$
Знак скалярного произведения векторов	скалярное произведение векторов \vec{a} и \vec{b}	$\vec{a} \cdot \vec{b}$
8. Множества		
Знак содержания; знак включения	множество A содержится во множестве B ($A \subseteq B$ или $A \subset B$)	\subseteq или \subset
	множество A содержит множество B ($A \supseteq B$ или $A \supset B$)	\supseteq или \supset
Знак принадлежности	элемент x принадлежит множеству A ($x \in A$)	\in
Знак содержания для элемента	множество A содержит элемент x ($A \ni x$)	\ni
Знак не принадлежности	элемент x не принадлежит множеству A ($x \notin A$)	\notin

Наименование знака	Произношение знака	Обозначение
Знак множества элементов	множество элементов x	$\{ \}$
Знак множества всех натуральных чисел	множество натуральных чисел	N
Знак множества всех целых чисел	множество целых чисел	Z
Знак множества всех рациональных чисел	множество рациональных чисел	Q
Знак множества комплексных чисел	множество комплексных чисел	R
Знак пустого множества	пустое множество	\emptyset
Знак объединения	объединение множеств A и B ($A \cup B$)	\cup
Знак пересечения	пересечение множеств A и B ($A \cap B$)	\cap
Знак разности множеств	разность множеств A и B ($A \setminus B$)	\setminus
Знак дополнения	дополнение множества	C

1. Производные величины Международной системы (СИ) и их единицы

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение	
			международное	русское	
1. Пространство и время					
Площадь	L^2	$A, (S)$	квадратный метр	m^2	см. с. 73 $км^2, дм^2, см^2, мм^2$
Объем, вместимость	L^3	$V; (v)$	кубический метр	m^3	см. с. 73 $дм^3, см^3, мм^3, гл, л, мл$
Скорость (линейная скорость)	$L T^{-1}$	v, u	метр в секунду	$м/с$	см. с. 74 $км/ч, см/с$
Ускорение (линейное ускорение)	$L T^{-2}$	a	метр на секунду в квадрате	$м/с^2$	см. с. 74 $см/с^2$
Ускорение свободного падения		g			
Нормальное ускорение свободного падения		g_n			

Продолжение

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение *	наименование	обозначение	
			международное	русское	
Угловая скорость	T^{-1}	ω	радиан в секунду	$рад/с$	см. с. 74
Угловое ускорение	T^{-2}	α	радиан на секунду в квадрате	$рад/с^2$	см. с. 75
2. Периодические и связанные с ними явления					
Период (время периода)	T	T	секунда	s	
Частота периодического процесса (частота)	T^{-1}	$\nu; f$	герц	$Гц$	см. с. 75 $ТГц, ГГц, МГц, кГц$
Частота вращения	T^{-1}	n	секунда в минус первой степени	$с^{-1}$	см. с. 76 $мин^{-1}$
Частота дискретных событий (импульсов, ударов)	T^{-1}	n	секунда в минус первой степени	$с^{-1}$	см. с. 76

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	обозначение		
			и наименование	международное	русское
Круговая (циклическая) частота, угловая частота, пульсация	T^{-1}	ω	секунда в минус первой степени	s^{-1}	см. с. 76
Длина волны	L	λ	метр	m	см. с. 76
Волновое число	L^{-1}	σ	метр в минус первой степени	m^{-1}	см. с. 77
Круговое (циклическое) волновое число					
3. Механика					
Плотность (плотность массы)	$L^{-3}M$	ρ	килограмм на кубический метр	kg/m^3	см. с. 77 $Mg/m^3, T/m^3, Kг/дм^3, г/см^3, кг/л, г/л, г/мл$
Линейная плотность	$L^{-1}M$	ρ_l	килограмм на метр	kg/m	см. с. 77 $г/км, мг/м$

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	обозначение		
			и наименование	международное	русское
Поверхностная плотность	$L^{-2}M$	ρ_s	килограмм на квадратный метр	kg/m^2	см. с. 77 $г/м^2$
Удельный объем	L^3M^{-1}	$v; (\tau)$	кубический метр на килограмм	m^3/kg	см. с. 78 $см^3/г$
Импульс (количество движения)	$LM T^{-1}$	p	килограмм-метр в секунду	$kg \cdot m/s$	см. с. 78
Момент инерции (динамический момент инерции)	L^2M	$I; (J)$	килограмм-метр в квадрате	$kg \cdot m^2$	см. с. 78
Вес		$G; (W, P)$			
Момент силы	L^2MT^{-2}	M	ньютон-метр	$N \cdot m$	см. с. 79 $МН \cdot м, кН \cdot м, мН \cdot м, мкН \cdot м$

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомен- дуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	обозначение		
			наименование	между- народное	русское
Вращающий момент, момент пары сил		T			
Импульс силы	LMT^{-1}	I	ньютон-секунда	$N \cdot s$	см. с. 79
Давление	$L^{-1}MT^{-2}$	p	паскаль	Па	см. с. 80
Нормальное механи- ческое напряжение		σ			
Таггенциальное на- пряжение		τ			
Модуль продольной упругости (модуль Юнга)		E			см. с. 81
Вязкость (динамиче- ская вязкость)	$L^{-1}MT^{-1}$	$\eta; (\mu)$	паскаль-секунда	$Pa \cdot s$	см. с. 81

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомен- дуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение	
				между- народное	русское
Кинематическая вяз- кость	L^2T^{-1}	ν	квадратный метр на секунду	m^2/s	см. с. 81
Поверхностное натя- жение	MT^{-2}	$\gamma; (\sigma)$	ньютон на метр	N/m	см. с. 82
Работа	L^2MT^{-2}	$W; (A)$	джоуль	J	см. с. 82
Потенциальная энер- гия		$E_p; (U; V; \Phi)$			
Удельная работа	L^2T^{-2}	$w; (a)$	джоуль на килограмм	J/kg	см. с. 82
Удельная энергия		$e; (w)$			

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения кратных и дольных единиц	
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	обозначение		определение	
			международное	русское		
Удельная потенциальная энергия		$e_p; (u; v; \varphi)$				
Удельная кинетическая энергия		$e_k; (t; k)$				
Мощность	L^2MT^{-3}	$P; (N)$	ватт	Вт	см. с. 83	ГВт, МВт, кВт, мВт, мкВт
Объемный расход; объемная подача насоса, компрессора, вентилятора	L^3T^{-1}	$Q_V; (V)$	кубический метр в секунду	m^3/s	см. с. 83	$m^3/ч, m^3/мин, л/ч, л/мин, л/с$
Массовый расход; массовая подача насоса, компрессора, вентилятора	MT^{-1}	$Q_m; (m)$	килограмм в секунду	кг/с	см. с. 83	т/ч, т/сут, кг/ч, кг/мин, г/с

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения кратных и дольных единиц	
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	обозначение		определение	
			международное	русское		
4. Теплота						
Температура Цельсия	θ	t	градус Цельсия	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	
Температурный коэффициент линейного расширения объемного расширения давления	θ^{-1}	$\alpha_t; (\gamma); \beta; (\alpha_p)$	кельвин в минус первой степени (градус Цельсия в минус первой степени)	$K^{-1}; (^{\circ}C^{-1})$	см. с. 84 см. с. 85	
Температурный градиент	$L^{-1}\theta$	$grad t; (grad T)$	кельвин на метр	К/м	см. с. 85	
Внутренняя энергия	Энтальпия	Q U H	джоуль	Дж	см. с. 85	ТДж, ГДж, МДж, КДж, мДж

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекоммендуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение	
Теплота фазового превращения		L		между-народное	русское
Теплота химической реакции (сгорания топлива, пищевых продуктов)		Q			
Удельное количество теплоты	$L^2 T^{-2}$	q	джоуль на килограмм	J/kg	Дж/кг
Удельная внутренняя энергия		u			
Удельная энтальпия		h			
Удельная теплота фазового превращения		l			
Удельная теплота химической реакции (сгорания)		q			

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекоммендуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение	
рания топлива, пищевых продуктов)				между-народное	русское
Теплоёмкость:	$L^2 M^{-2} \Theta^{-1}$	C	джоуль на кельвин	J/K	Дж/К
при постоянном давлении		C_p			
при постоянном объеме		C_v			
Удельная теплоёмкость:	$L^2 T^{-2} \Theta^{-1}$	c	джоуль на килограмм-кельвин	J/(kg · K)	Дж/(кг · К)
при постоянном давлении		c_p			
при постоянном объеме		c_v			

Промоводная величина		Промоводная единица СИ				Обозначения рекомен- дуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	обозначение		определение	
			наименование	между- народное		русское
Тепловой поток	L^2MT^{-3}	$\Phi; (q)$	ватт	W	Вт	см. с. 87 кВт
Поверхностная плот- ность теплового потока	MT^{-3}	$\varphi; (q)$	ватт на квадратный метр	W/m^2	Вт/м ²	см. с. 87 МВт/м ² , кВт/м ²
Теплопроводность	$LMT^{-3}\theta^{-1}$	λ	ватт на метр-кельвин	$W/(m \cdot K)$	Вт/(м · К)	см. с. 88

5. Электричество и магнетизм

Электрический заряд (количество электриче- ства)	PI	Q	кулон	C	Кл	см. с. 88	кКл, МКл, мкКл, нКл, пКл
Поверхностная плот- ность электрического за- ряда	$L^{-2}PI$	σ	кулон на квадратный метр	C/m^2	Кл/м ²	см. с. 89	МКл/м ² или Кл/мм ² , Кл/см ² , кКл/м ² , мКл/м ² МКл/м ²
Плотность (простран- ственная плотность) электрического заряда	$L^{-3}PI$	ρ	кулон на кубический метр	C/m^3	Кл/м ³	см. с. 89	Кл/мм ³ , МКл/м ³ или Кл/см ³ кКл/м ³ , мКл/м ³ , МКл/м ³
Поверхностная плот- ность электрического за- ряда	$L^{-2}PI$	σ	кулон на квадратный метр	C/m^2	Кл/м ²	см. с. 89	МКл/м ² или Кл/мм ² , Кл/см ² , кКл/м ² , мКл/м ² МКл/м ²

Промоводная величина		Промоводная единица СИ				Обозначения рекомен- дуемых кратных и дольных единиц	
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	обозначение		определение		
			наименование	между- народное		русское	
Линейная плотность электрического заряда	$L^{-1}PI$	τ	кулон на метр	C/m	Кл/м	см. с. 89	
Плотность (поверх- ностная плотность) электрического тока	$L^{-2}I$	$i; (J)$	ампер на квадратный метр	A/m^2	А/м ²	см. с. 90	МА/м ² , КА/м ² , А/см ² , А/мм ²
Линейная плотность электрического тока	$L^{-1}I$	$A; (\alpha; \delta)$	ампер на метр	A/m	А/м	см. с. 90	кА/м, А/см, А/мм
Электрический потен- циал	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	$V; \Phi$	вольт	V	V	см. с. 91	МВ, кВ, мВ, мкВ, нВ
Разность потенциа- лов; электрическое на- пряжение		$U; (V)$				см. с. 91	
Электродвижущая си- ла		$E; (\mathcal{E})$				см. с. 91	

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц	
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение		
				международное	русское	
Напряженность электрического поля	$LMT^{-3}I^{-1}$	E	вольт на метр	V/п	В/м	см. с. 92 мВ/м, кВ/м, мВб/м, мкВб/м, В/см, В/мм
Электрическая емкость (емкость)	$L^{-2}M^{-1}I^2$	C	фарад	F	Ф	см. с. 92 мФ, мкФ, иФ, пФ
Электрическое (омическое) сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	$R; (r)$	ом	Ω	Ом	см. с. 93 ТОм, ГОм, МОм, кОм, мОм, мкОм
Удельное электрическое сопротивление	$L^3MT^{-3}I^{-2}$	ρ	ом-метр	$\Omega \cdot м$	Ом · м	см. с. 93 ГОм · м, МОм · м, кОм · м, мОм · м, мкОм · м, нОм · м, Ом · см, мкОм · см
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}I^2$	G	сименс	S	См	см. с. 93 кСм, мСм, мкСм
Удельная электрическая проводимость	$L^{-3}M^{-1}I^2$	γ	сименс на метр	S/п	См/м	см. с. 94 МСм/м, кСм/м

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц	
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение		
				международное	русское	
Магнитный поток (поток магнитной индукции)	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	Φ	вебер	Wb	Вб	см. с. 94 мВб
Магнитная индукция; плотность магнитного потока	$MT^{-2}I^{-1}$	B	тесла	T	Тл	см. с. 94 мТл, мкТл, нТл
Индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	$\gamma; \sigma$	геири	H	Гн	см. с. 95 мГн, мкГн, нГн, пГн
Взаимная индуктивность		L				
6. Акустика						
Период звуковых колебаний	T	T	секунда	s	с	мс, мкс
Частота звуковых колебаний	T^{-1}	$\nu; (f)$	герц	Hz	Гц	МГц, кГц

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомен- дуемых кратных и дольных единиц	
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение		
				между- народное	русское	определение
Звуковое давление	$L^{-1}MT^{-2}$	p	паскаль	Pa	Па	мПа, мкПа
Длина волны	L	λ	метр	m	м	мм
Скорость продольных волн	L^2MT^{-2}	c_l	метр	м	м	мм
Скорость поперечных волн		c_t				
Звуковая энергия	L^2MT^{-2}	W	джоуль	J	Дж	
Плотность звуковой энергии	$L^{-1}MT^{-2}$	w	джоуль на кубиче- ский метр	J/m^3	Дж/м ³	см. с. 95
Поток звуковой энер- гии (звуковая мощ- ность)	L^2MT^{-3}	$P; (P_a)$	ватт	W	Вт	кВт, мВт, мкВт, пВт

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомен- дуемых кратных и дольных единиц	
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение		
				между- народное	русское	определение
Интенсивность звука	MT^{-3}	I	ватт на квадратный метр	W/m^2	Вт/м ²	мВт/м ² , мкВт/м ² , пВт/м ²
7. Оптическое излучение						
Энергия излучения (лучистая энергия)	L^2MT^{-2}	$Q; (Q_e; W)$	джоуль	J	Дж	
Плотность (объем- ная) энергии излучения	$L^{-1}MT^{-2}$	$w; u$	джоуль на кубический метр	J/m^3	Дж/м ³	см. с. 97
Лучистая экспозиция	MT^{-2}	$H; (H_e)$	джоуль на квадрат- ный метр	J/m^2	Дж/м ²	см. с. 97
Поток излучения (лучи- стый поток; мощность излучения)	L^2MT^{-3}	$\Phi; (\Phi_e; P)$	ватт	W	Вт	см. с. 97
Плотность (поверхно- стная) потока излучения (лучистого потока)	MT^{-3}	$\Phi_e; (W)$	ватт на квадратный метр	W/m^2	Вт/м ²	см. с. 98

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение	
				между-народное	русское
Излучательность	$M T^{-3}$	$M; (M_e)$			см. с. 98
					см. с. 98
Облученность	$L^2 M T^{-3}$	$E; (E_e)$			см. с. 99
					см. с. 99
Сила излучения	$L^2 M T^{-3}$	$I; (I_e)$	ватт на стерадиан	Вт/ср	см. с. 99
Лучистость	$M T^{-3}$	$L; (L_e)$	ватт на стерадиан-квадратный метр	Вт/(ср · м ²)	см. с. 99
Световой поток	J	$\Phi; (\Phi_v)$	люмен	лм	см. с. 99
Световая энергия	TJ	$Q; (Q_v)$	люмен-секунда	лм · с	см. с. 100
Яркость	$L^{-2} J$	$L; (L_v)$	кандела на квадратный метр	кд/м ²	см. с. 100
					см. с. 100
Светимость	$L^{-2} J$	$M; (M_v)$	люмен на квадратный метр	лм/м ²	см. с. 100

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение	
				между-народное	русское
Освещенность	$L^{-2} J$	$E; (E_v)$	люкс	лк	см. с. 101
					см. с. 101
Световая экспозиция	$L^{-2} T J$	$H; (H_v)$	люкс-секунда	лк · с	см. с. 101
					см. с. 101
Световая эффективность потока излучения (световой эквивалент лучистого потока)	$L^{-2} M^{-1} T^3 J$	K	люмен на ватт	лм/Вт	см. с. 101
					см. с. 101

8. Химия и молекулярная физика						
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	Производная единица СИ		Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц
				между-народное	русское	
Молярная масса вещества	$M N^{-1}$	M	килограмм на моль	кг/моль	см. с. 102	г/моль
Молярный объем вещества	$L^3 N^{-1}$	V_m	кубический метр на моль	м ³ /моль	см. с. 102	дм ³ /моль, л/моль
Молярная внутренняя энергия	$L^2 M^{-2} N^{-1}$	$U_m; (E_m)$	джоуль на моль	Дж/моль	см. с. 103	кДж/моль

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц	
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение		определение
				международное	русское	
акции (образования, растворения, горения), фазовых превращений						
Молярная энтальпия		H_m				
Молярная теплоемкость	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	C_m	джоуль на моль-кельвин	Дж/(моль · К)	Дж/(моль · К)	см. с. 103
Концентрация (объемная) молекул	L^{-3}	N_v ; (n)	метр в минус третьей степени	m^{-3}	m^{-3}	см. с. 104
Массовая концентрация компонента В	$L^{-3}M$	ρ_B	килограмм на кубический метр	кг/м ³	кг/м ³	см. с. 104
Молярная концентрация компонента В	$L^{-3}N$	c_B	моль на кубический метр	моль/м ³	моль/м ³	см. с. 104
Молярность раствора компонента В	$M^{-1}N$	m_B ; (b_B)	моль на килограмм	моль/кг	моль/кг	см. с. 105

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения рекомендуемых кратных и дольных единиц	
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение		определение
				международное	русское	
Легучесть (фугитивность)	$L^{-1}MT^{-2}$	f_B ; (p_B)	паскаль	Па	Па	
Осмотическое давление		π				
Скорость химической реакции	$L^{-3}T^{-1}N$	v	моль в секунду на кубический метр	моль/(с · м ³)	моль/(с · м ³)	см. с. 105

9. Ионизирующие излучения

наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	международное	русское	определение
Энергия ионизирующего излучения	L^2MT^{-2}	E	джоуль	J	Дж	см. с. 105
Поглощенная доза излучения (доза излучения)	L^2T^{-2}	D	грэй	Gy	Гр	см. с. 106
Мощность поглощенной дозы излучения (мощность дозы излучения)	L^2T^{-3}	D	грэй в секунду	Gy/s	Гр/с	см. с. 106

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения, рекомендуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение	
				международное	русское
Экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучений	$M^{-1}T$	X	кулон на килограмм	C/kg	Кл/кг см. с. 107
Мощность экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений	$M^{-1}I$	\dot{X}	ампер на килограмм	A/kg	A/kg см. с. 107
Эквивалентная доза излучения	L^2T^{-2}	H	зиверт	Sv	$\dot{Z}в$ см. с. 108
Мощность эквивалентной дозы излучения	L^2T^{-3}	\dot{H}	зиверт в секунду	Sv/s	$\dot{Z}в/с$ см. с. 108
Поток энергии ионизирующего излучения (мощность ионизирующего излучения)	L^2MT^{-3}	P	ватт	W	$Вт$ см. с. 109
Интенсивность ионизирующего излучения (плотность потока энергии)	MT^{-3}	I	ватт на квадратный метр	W/m^2	$Вт/м^2$ см. с. 109

Производная величина		Производная единица СИ			Обозначения, рекомендуемых кратных и дольных единиц
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	обозначение	
				международное	русское
Активность нуклида (радиоактивного вещества)	T^{-1}	A	беккерель	Bq	$Бк$ см. с. 109 ЭБк, ПБк, ТБк, ГБк, КБк
Удельная активность радиоактивного вещества	$M^{-1}T^{-1}$	a	беккерель на килограмм	Bq/kg	$Бк/кг$ см. с. 110
Объемная активность радиоактивного вещества	$L^{-3}T^{-1}$	A_v	беккерель на кубический метр	Bq/m^3	$Бк/м^3$ см. с. 110
Молярная активность радиоактивного вещества	$T^{-1}N^{-1}$	A_m	беккерель на моль	Bq/mol	$Бк/моль$ см. с. 110

2. Значения в единицах СИ единиц электрических и магнитных величин, выраженных в единицах систем СГС, СГСЭ, СГСМ, СГС_Ю и СГС_Ю

Величина	Значение в единицах СИ единиц систем ¹	
	СГС, СГСЭ и СГС _Ю	СГСМ и СГС _Ю
Сила электрического тока	$10/c \text{ A} = 3,335 64 \cdot 10^{-10} \text{ A} \approx 3,34 \cdot 10^{-10} \text{ A}$	10 A
Количество электричества, электрический заряд	$10/c \text{ Кл} = 3,335 64 \cdot 10^{-10} \text{ Кл} \approx 3,34 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$	10 Кл
Плотность электрического тока	$10^5/c \text{ A/m}^2 = 3,335 64 \cdot 10^{-6} \text{ A/m}^2 \approx 3,34 \cdot 10^{-6} \text{ A/m}^2$	10^5 A/m^2
Линейная плотность электрического тока	$10^3/c \text{ A/m} = 3,335 64 \cdot 10^{-8} \text{ A/m} \approx 3,34 \cdot 10^{-8} \text{ A/m}$	10^3 A/m
Пространственная плотность электрического заряда	$10^7/c \text{ Кл/м}^3 = 3,335 64 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/м}^3 \approx 3,34 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/м}^3$	10^7 Кл/м^3
Поверхностная плотность электрического заряда	$10^5/c \text{ Кл/м}^2 = 3,335 64 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2 \approx 3,34 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$	10^5 Кл/м^2
Электрический момент диполя	$10^{-1}/c \text{ Кл} \cdot \text{м} = 3,335 64 \cdot 10^{-12} \text{ Кл} \cdot \text{м} \approx 3,34 \cdot 10^{-12} \text{ Кл} \cdot \text{м}$	$10^{-1} \text{ Кл} \cdot \text{м}$
Поток электрического смещения	$10/(4\pi c) \text{ Кл} = 2,654 42 \cdot 10^{-11} \text{ Кл} \approx 2,65 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}$	$10/(4\pi) \text{ Кл} = 0,795 775 \text{ Кл} \approx 0,796 \text{ Кл}$
Электрическое смещение	$10^5/(4\pi c) \text{ Кл/м}^2 = 2,654 42 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}^2 \approx 2,65 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}^2$	$10^5/(4\pi) \text{ Кл/м}^2 = 7,957 75 \cdot 10^3 \text{ Кл/м}^2 \approx 7,96 \cdot 10^3 \text{ Кл/м}^2$
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	$10^{-6} \text{ В} = 299,792 5 \text{ В} \approx 300 \text{ В}$	10^{-6} В
Напряженность электрического поля	$10^9/c^2 \text{ Ф} = 1,112 65 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \approx 1,11 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$	10^9 Ф
Электрическая емкость	$10^{11}/(4\pi c^2) \text{ Ф/м} = 8,854 19 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$	$10^{11}/(4\pi) \text{ Ф/м} = 7,957 75 \cdot 10^9 \text{ Ф/м} \approx 7,96 \cdot 10^9 \text{ Ф/м}$
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	$10^{11}/c^2 \text{ Ф/м} = 1,112 65 \cdot 10^{-10} \text{ Ф/м} \approx 1,11 \cdot 10^{-10} \text{ Ф/м}$	10^{11} Ф/м
Диэлектрическая восприимчивость		

Продолжение

Величина	Значение в единицах СИ единиц систем ¹	
	СГС, СГСЭ и СГС _Ю	СГСМ и СГС _Ю
Электрическое сопротивление	$10^{-9} \text{ Ом} = 8,987 55 \cdot 10^{11} \text{ Ом} \approx 8,99 \cdot 10^{11} \text{ Ом}$	10^{-9} Ом
Удельное электрическое сопротивление	$10^{-11}/c^2 \text{ Ом} \cdot \text{м} = 8,987 55 \cdot 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м} \approx 8,99 \cdot 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$10^{-11} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Электрическая проводимость	$10^9/c^2 \text{ См} = 1,112 65 \cdot 10^{-12} \text{ См} \approx 1,11 \cdot 10^{-12} \text{ См}$	10^9 См
Удельная электрическая проводимость	$10^{11}/c^2 \text{ См/м} = 1,112 65 \cdot 10^{-10} \text{ См/м} \approx 1,11 \cdot 10^{-10} \text{ См/м}$	10^{11} См/м
Магнитный поток	10^{-8} Вб	10^{-8} Вб
Магнитная индукция	10^{-4} Тл	10^{-4} Тл
Магнитодвижущая сила	$10/(4\pi) \text{ A} = 0,795 775 \text{ A} \approx 0,796 \text{ A}$	10^9 Ом
Напряженность магнитного поля	$10^3/(4\pi) \text{ A/м} = 79,577 5 \text{ A/м} \approx 79,6 \text{ A/м}$	$10^{-4} \text{ c Тл} = 299,792 5 \text{ Вб} \approx 300 \text{ Вб}$
Индуктивность, взаимная индуктивность	10^{-9} Гн	$10^{-4} \text{ Тл} \approx 3,00 \cdot 10^6 \text{ Тл}$
Абсолютная магнитная проницаемость	$10^{-7} \cdot 4\pi \text{ Гн/м} = 1,256 64 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м} \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$	$10^3/(4\pi c) \text{ A/м} = 2,654 42 \cdot 10^{-11} \text{ A} \approx 2,65 \cdot 10^{-11} \text{ A}$
Магнитный момент электрического тока, магнитный момент диполя	$10^{-3} \text{ A} \cdot \text{м}^2$	$10^9/(4\pi c) \text{ A/м} = 2,654 42 \cdot 10^{-9} \text{ A/м} \approx 2,65 \cdot 10^{-9} \text{ A/м}$
Намагниченность	10^3 A/м	$10^{-9} \text{ c}^2 \text{ Гн} = 8,987 55 \cdot 10^{11} \text{ Гн} \approx 8,99 \cdot 10^{11} \text{ Гн}$
Магнитное сопротивление	$10^9/(4\pi) \text{ A/Вб} = 7,957 75 \cdot 10^7 \text{ A/Вб} \approx 7,96 \cdot 10^7 \text{ A/Вб}$	$10^{-7} \cdot 4\pi c^2 \text{ Гн/м} = 1,129 41 \cdot 10^{15} \text{ Гн/м} \approx 1,13 \cdot 10^{15} \text{ Гн/м}$
Магнитная проводимость	$10^{-9} \cdot 4\pi \text{ Вб/А} = 1,256 64 \cdot 10^{-8} \text{ Вб/А} \approx 1,26 \cdot 10^{-8} \text{ Вб/А}$	$10^{-3} \text{ c} \cdot \text{A} \cdot \text{м}^2 = 3,335 64 \cdot 10^{-14} \text{ A} \cdot \text{м}^2 \approx 3,34 \cdot 10^{-14} \text{ A} \cdot \text{м}^2$
		$10^3/c \text{ A/м} = 3,335 64 \cdot 10^{-8} \text{ A/м} \approx 3,34 \cdot 10^{-8} \text{ A/м}$
		$10^5/(4\pi c^2) \text{ A/Вб} = 8,854 19 \cdot 10^{-14} \text{ A/Вб} \approx 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ A/Вб}$
		$10^{-9} \cdot 4\pi c^2 \text{ Вб/А} = 1,129 41 \cdot 10^{13} \text{ Вб/А} \approx 1,13 \cdot 10^{13} \text{ Вб/А}$
¹ $c = 2,997 924 58 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$ — скорость распространения электромагнитных волн в свободном пространстве).		

3. Неметрические русские единицы (значения в единицах СИ приближенные)

Наименование единицы	Значение в единицах СИ, кратных и дольных от них
1. Длина	
миля (7 верст)	7 467,6 м = 7,467 6 км ≈ 7,47 км
верста (500 сажений)	1 066,8 м = 1,066 8 км ≈ 1,07 км
сажень (3 аршина = 7 футов = 100 соток)	2,133 6 м ≈ 2,13 м
аршин (4 четверти = 16 вершков = 28 дюймов)	0,711 2 м = 711,2 мм ≈ 711 мм
вершок	0,044 45 м = 44,450 мм ≈ 44,5 мм
сотка	0,021 336 м = 21,336 мм ≈ 21,34 мм
2. Площадь	
квадратная верста (250 000 кв. сажений)	1 138 062 м ² = 1,138 062 км ² ≈ 1,14 км ²
десятина (2400 кв. сажений)	10 925,4 м ² = 1,092 54 га ≈ 1,09 га
квадратная сажень (9 кв. аршин)	4,552 249 м ² ≈ 4,55 м ²
квадратный аршин (256 кв. вершков)	0,505 805 4 м ² ≈ 0,506 м ²
квадратный вершок	0,001 975 8 м ² = 19,758 см ² ≈ 19,8 см ²
3. Объем	
кубическая сажень (27 куб. аршин)	9,712 6 м ³ ≈ 9,71 м ³
кубический аршин (4096 куб. вершков = 343 куб. фута)	0,359 728 м ³ ≈ 0,360 м ³
кубический вершок	0,000 087 824 м ³ = 87,824 см ³ ≈ 87,8 см ³
4. Вместимость (для жидких тел)	
ведро (10 штофов = 16 винных бутылок = 20 водочных бутылок)	12,299 4 л ≈ 12,3 л
штоф (1 кружка = 2 полуштофа = 2 водочные бутылки)	1,229 94 л ≈ 1,23 л
5. Вместимость (для сыпучих тел)	
четверть (8 четвериков)	0,209 9 м ³ = 209,909 дм ³ (л)
четверик (8 гарнецов)	0,026 238 7 м ³ = 26,238 7 дм ³ (л) ≈ 26,2 дм ³ (л)
гарнец	0,003 279 84 м ³ = 3,279 84 дм ³ (л) ≈ 3,28 дм ³ (л)
6. Масса	
берковец (10 пудов)	163,804 964 кг ≈ 163,8 кг
пуд (40 фунтов)	16,380 496 кг ≈ 16,38 кг
фунт (32 лота = 96 золотников)	0,409 512 41 кг = 409,512 41 г ≈ 409,5 г
лот (3 золотника)	0,012 797 26 кг = 12,797 26 г ≈ 12,8 г
золотник (96 долей)	0,004 265 75 кг = 4,265 75 г ≈ 4,27 г
доля	0,000 044 434 4 кг = 44,434 4 мг ≈ 44,4 мг

Наименование единицы	Значение в единицах СИ, кратных и дольных от них
7. Вес¹	
берковец	1 606,38 Н
пуд	160,638 Н
фунт	4,015 94 Н
¹ Наименования старых русских единиц веса совпадали с наименованиями старых русских единиц массы.	

4. Неметрические единицы, применяемые в США и Великобритании

Единица		Значение в единицах СИ, кратных и дольных от них
наименование (русское)	обозначение (английское)	
1. Длина		
лига морская (междунар.)	n. L (Int)	5 556,00 м = 5,556 00 км
лига законная (США)	st. L (US)	4 828,04 м = 4,828 04 км
миля морская (Великобритания)	n mile (UK)	1 853,18 м = 1,853 18 км
миля морская (междунар. и США)	n mile (Int; US)	1 852 м = 1,852 км (точно)
миля (междунар.)	mi (Int)	1 609,34 м = 1,609 34 км
кабельтов (междунар.)	cab (Int)	185,2 м (точно)
чейн	ch	20,116 8 м (точно)
ярд	yd	0,914 4 м = 914,4 мм (точно)
фут	ft	0,304 8 м = 304,8 мм (точно)
дюйм	in	0,025 4 м = 25,4 мм (точно)
мил	mil	0,000 025 4 м = 25,4 мкм (точно)
2. Площадь		
квадратная миля (междунар.)	mi ² (Int)	2 589 990 м ² = 2,589 99 км ²
акр	ac	4 046,86 м ² = 0,404 686 га
квадратный ярд	yd ²	0,836 127 м ²
квадратный фут	ft ²	929,030 см ²
квадратный дюйм	in ²	645,16 мм ² (точно)
квадратный мил	mil ²	645,16 мкм ² (точно)
круговой мил	c. mil	506,708 мкм ²

Единица		Значение в единицах СИ, кратных и дольных от них
наименование (русское)	обозначение (английское)	
3. Объем, вместимость		
акр-фут	ac · ft	1233,49 м ³
тонна регистровая	tn reg	2,831 68 м ³
кубический ярд	yd ³	0,764 555 м ³
кубический фут	ft ³	28,316 9 дм ³
кубический дюйм	in ³	16,387 1 см ³
баррель нефтяной (США)	bbl (US)	158,988 дм ³ (л)
баррель сухой (США)	bbl dry (US)	115,628 дм ³ (л)
бушель (Великобритания)	bu (UK)	36,368 7 дм ³ (л)
бушель (США)	bu (US)	35,239 1 дм ³ (л)
галлон (Великобритания)	gal (UK)	4,546 09 дм ³ (л)
галлон жидкостный (США)	gal liq (US)	3,785 41 дм ³ (л)
галлон сухой (США)	gal dry (US)	4,404 88 дм ³ (л)
кварта жидкостная (США)	qt liq (US)	0,946 353 дм ³ (л)
4. Скорость		
фут в час	ft/h	8,466 667 · 10 ⁻⁵ м/с = = 0,304 8 м/ч (точно)
фут в секунду	ft/s	0,304 8 м/с (точно)
миля в час	mi/h	0,477 04 м/с = = 1,609 34 км/ч
миля в секунду	mi/s	1 609,34 м/с = = 1,609 34 км/с
5. Ускорение		
фут на секунду в квадрате	ft/s ²	0,304 8 м/с ² (точно)
6. Масса		
тонна длинная (Великобритания) (2240 фунтов)	l. tn (UK)	1 016,05 кг = 1,016 05 т ≈ ≈ 1,02 т
тонна короткая (США) (2000 фунтов)	sh. tn (US)	907,185 кг = 0,907 185 т ≈ ≈ 0,907 т
центнер длинный (Великобритания)	l. cwt (UK)	50,802 3 кг ≈ 50,8 кг
центнер короткий (США), квинтал	sh. cwt (US), quintal; quin	45,359 2 кг ≈ 45,36 кг
слаг	sl	14,593 9 кг ≈ 14,6 кг
фунт (торговый)	lb	0,453 592 кг ≈ 454 г
фунт тройский, аптекарский	lb tr.; lb ap.	0,373 242 кг ≈ 373 г
уния	oz	28,349 5 г ≈ 28,3 г
уния тройская, аптекарская	oz tr.; oz ap.	31,103 5 г ≈ 31,1 г
драхма тройская, аптекарская	dr tr.; dr ap.	3,887 93 г ≈ 3,89 г
драхма (Великобритания)	dr (UK)	1,771 85 г ≈ 1,77 г

Единица		Значение в единицах СИ, кратных и дольных от них
наименование (русское)	обозначение (английское)	
7. Сила, вес		
тонна-сила длинная (Великобритания)	l. tnf (UK)	9 964,02 Н = 9,964 02 кН
тонна-сила короткая (США)	sh. tnf (US)	8 896,44 Н = 8,896 44 кН
фунт-сила	lbf	4,448 22 Н
уния-сила	ozf	0,278 014 Н
паундаль	pdl	0,138 255 Н
8. Давление, механическое напряжение		
фунт-сила на квадратный дюйм	lbf/in ²	6 894,76 Па ≈ 6,895 кПа
фунт-сила на квадратный фут	lbf/ft ²	47,880 3 Па
фунт-сила на квадратный ярд	lbf/yd ²	5,320 03 Па
паундаль на квадратный фут	pdl/ft ²	1,488 16 Па
фут водяного столба дюйм	ft H ₂ O	2 989,07 Па ≈ 2,989 кПа
дюйм водяного столба	in H ₂ O	249,089 Па
дюйм ртутного столба	in Hg	3 386,39 Па ≈ 3,386 кПа
9. Плотность		
фунт на кубический фут	lb/ft ³	16,018 5 кг/м ³
тонна длинная на кубический ярд	l. tn/yd ³	1328,94 кг/м ³
фунт на кубический ярд	lb/yd ³	0,593 276 кг/м ³
фунт на кубический дюйм	lb/in ³	2,767 99 · 10 ⁴ кг/м ³
10. Работа и энергия		
фунт-сила-фут	lbf · ft	1,355 82 Дж
паундаль-фут	pdl · ft	0,042 140 1 Дж = = 42,140 1 мДж
11. Мощность		
фунт-сила-фут в секунду	lbf · ft/s	1,355 82 Вт
паундаль-фут в секунду	pdl · ft/s	0,042 140 1 Вт = = 42,140 1 мВт
лошадиная сила британская	hp; HP	745,700 Вт

Продолжение

Единица		Значение в единицах СИ, кратных и дольных от них
наименование (русское)	обозначение (английское)	
12. Количество теплоты		
британская единица теплоты	Btu	1 055,06 Дж=1,055 06 кДж
британская единица теплоты (термохимическая)	Btu _{th}	1 054,35 Дж=1,054 35 кДж
13. Удельное количество теплоты		
британская единица теплоты на фунт	Btu/lb	2 326,01 Дж/кг ≈ ≈ 2,326 кДж/кг
14. Удельная теплоемкость		
британская единица теплоты на фунт-градус Фаренгейта	Btu/(lb · °F)	4 186,8 Дж/(кг · К) ≈ ≈ 4 187 кДж/(кг · К)
15. Теплопроводность		
британская единица теплоты в час на фут-градус Фаренгейта	Btu/(h · ft · °F)	1,730 73 Вт/(м · К)

5. Соотношения между единицами однородных физических величин

Соотношения между единицами длины

Единица	м	км	см	мм	мкм	Å
1 м	1,00	10 ⁻³	10 ²	10 ³	10 ⁶	10 ¹⁰
1 км	10 ³	1,00	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹³
1 см	10 ⁻²	10 ⁻⁵	1,00	1,00	10 ⁴	10 ⁸
1 мм	10 ⁻³	10 ⁻⁶	0,100	1,00	10 ³	10 ⁷
1 мкм	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻⁴	10 ⁻³	1,00	10 ⁴
1 Å	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹³	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁴	1,00
1 mi (миля)	1,61 · 10 ³	1,61	1,61 · 10 ⁵	1,61 · 10 ⁶	1,61 · 10 ⁹	1,61 · 10 ¹³
1 yd (ярд)	0,914	9,14 · 10 ⁻⁴	91,4	914	9,14 · 10 ⁵	9,14 · 10 ⁹
1 ft (фут)	0,305	3,05 · 10 ⁻⁴	30,5	305	3,05 · 10 ⁵	3,05 · 10 ⁹
1 in (дюйм)	2,54 · 10 ⁻²	2,54 · 10 ⁻⁵	2,54	25,4	2,54 · 10 ⁴	2,54 · 10 ⁸

Соотношения между единицами площади

Единица	м ²	км ²	дм ²	см ²	мм ²	га
1 м ²	1,00	10 ⁻⁶	10 ²	10 ⁴	10 ⁶	10 ⁻⁴
1 км ²	10 ⁶	1,00	10 ⁸	10 ¹⁰	10 ¹²	10 ²
1 дм ²	10 ⁻²	10 ⁻⁸	1,00	10 ²	10 ⁴	10 ⁻⁶
1 см ²	10 ⁻⁴	10 ⁻¹⁰	10 ⁻²	1,00	10 ²	10 ⁻⁸
1 мм ²	10 ⁻⁶	10 ⁻¹²	10 ⁻⁴	10 ⁻²	1,00	10 ⁻¹⁰
1 мкм ²	10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	10 ⁻¹⁶
1 га	10 ⁴	10 ⁻²	10 ⁶	10 ⁸	10 ¹⁰	1,00
1 mi ² (кв. миля)	2,59 · 10 ⁶	2,59	2,59 · 10 ⁸	2,59 · 10 ¹⁰	2,59 · 10 ¹²	2,59 · 10 ²
1 yd ² (кв. ярд)	0,836	8,36 · 10 ⁻⁷	83,6	8,36 · 10 ³	8,36 · 10 ⁵	8,36 · 10 ⁻⁵
1 ft ² (кв. фут)	9,29 · 10 ⁻²	9,29 · 10 ⁻⁸	9,29	9,29	9,29 · 10 ⁴	9,29 · 10 ⁻⁶
1 in ² (кв. дюйм)	6,45 · 10 ⁻⁴	6,45 · 10 ⁻¹⁰	6,45 · 10 ⁻²	6,45	6,45	6,45 · 10 ⁻⁸

Соотношения между единицами объема (емкостями)

Единица	м ³	дм ³ (л)	см ³ (мл)	мм ³ (мкл)
1 м ³	1,00	10 ³	10 ⁶	10 ⁹
1 км ³	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵	10 ¹⁸
1 дм ³ (л)	10 ⁻³	1,00	10 ³	10 ⁶
1 см ³ (мл)	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1,00	10 ³
1 мм ³ (мкл)	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1,00
1 тп ³ (куб. миля)	4,18 · 10 ⁹	4,18 · 10 ¹²	4,18 · 10 ¹⁵	4,18 · 10 ¹⁸
1 уд ³ (куб. ярд)	0,765	765	7,65 · 10 ⁵	7,65 · 10 ⁸
1 фт ³ (куб. фут)	2,83 · 10 ⁻²	28,3	2,83 · 10 ⁴	2,83 · 10 ⁷
1 лп ³ (куб. дюйм)	1,64 · 10 ⁻⁵	1,64 · 10 ⁻²	16,4	1,64 · 10 ⁴
1 gal liq (US) [галлон жидкостный (США)]	3,79 · 10 ⁻³	3,79	3,79 · 10 ³	3,79 · 10 ⁶
1 gal liq (UK) [галлон жидкостный (Великобритания)]	4,55 · 10 ⁻³	4,55	4,55 · 10 ³	4,55 · 10 ⁶
1 bbl (US) [нефтяной баррель (США)]	0,159	159	1,59 · 10 ⁵	1,59 · 10 ⁸
1 bu (US) [бушель (США)]	3,52 · 10 ⁻²	35,2	3,52 · 10 ⁴	3,52 · 10 ⁷

Соотношения между единицами времени

Единица	мс	МКС	нс	сут	ч	мин
1 с	10 ³	10 ⁶	10 ⁹	1,16 · 10 ⁻⁶	2,78 · 10 ⁻⁴	1,67 · 10 ⁻²
1 мс	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵	11,6	278	1,67 · 10 ⁴
1 кс	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	1,16 · 10 ⁻²	0,278	16,7
1 Мс	10 ⁰	10 ³	10 ⁶	1,16 · 10 ⁻⁸	2,78 · 10 ⁻⁷	1,67 · 10 ⁻⁵
1 мкс	10 ⁻³	1,00	10 ³	1,16 · 10 ⁻¹¹	2,78 · 10 ⁻¹⁰	1,67 · 10 ⁻⁸
1 нс	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1,00	1,16 · 10 ⁻¹⁴	2,78 · 10 ⁻¹³	1,67 · 10 ⁻¹¹
1 сут	8,64 · 10 ⁷	8,64 · 10 ¹⁰	8,64 · 10 ¹³	1,00	24,0	1,440
1 ч	3,60 · 10 ⁶	3,60 · 10 ⁹	3,60 · 10 ¹²	4,17 · 10 ⁻²	1,00	60,0
1 мин	6,00 · 10 ⁴	6,00 · 10 ⁷	6,00 · 10 ¹⁰	6,94 · 10 ⁻⁴	1,67 · 10 ⁻²	1,00

Соотношения между единицами плоского угла

Единица	рад	полный угол	прямой угол	град
1 рад (радиан)	1,00	0,159	0,637	63,7
1 полный угол	6,28	1,00	4,00	400
1 ° (градус угловой)	1,57 · 10 ⁻²	0,250	1,00	100
1' (минута угловая)	2,91 · 10 ⁻⁴	4,63 · 10 ⁻⁶	1,85 · 10 ⁻⁴	1,85 · 10 ⁻²
1" (секунда угловая)	4,85 · 10 ⁻⁶	7,72 · 10 ⁻⁷	3,09 · 10 ⁻⁶	3,09 · 10 ⁻⁴
1 град (гон)	1,57 · 10 ⁻²	2,50 · 10 ⁻³	0,010	1,00

Соотношения между единицами силы

Единица	Н	мН	кН	МН	мкН	дин	кгс
1 Н (ньютон)	1,00	10 ⁻⁶	10 ⁻³	10 ³	10 ⁶	10 ⁵	0,102
1 мН	10 ⁶	1,00	10 ³	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹¹	1,02 · 10 ⁶
1 кН (стен)	10 ⁻³	10 ⁻⁹	1,00	10 ⁶	10 ⁹	10 ⁸	102
1 мН	10 ⁻⁶	10 ⁻¹²	10 ⁻⁶	1,00	10 ³	100	1,02 · 10 ⁻⁴
1 МКН	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁵	10 ⁻⁹	10 ³	1,00	0,100	1,02 · 10 ⁻⁷
1 ДМКН	10 ⁻⁵	10 ⁻¹¹	10 ⁻⁵	10 ⁻²	10,0	1,00	1,02 · 10 ⁻⁶
1 кгс (килопонд)	9,81 · 10 ³	9,81 · 10 ⁻³	9,81	9,81 · 10 ⁶	9,81 · 10 ⁹	9,81 · 10 ⁸	10 ³
1 гс (попа)	9,81	9,81 · 10 ⁻⁶	9,81 · 10 ⁻³	9,81 · 10 ⁶	9,81 · 10 ⁹	9,81 · 10 ⁸	1,00
1 t. tonf (длинная тонна-сила)	9,96 · 10 ³	9,96 · 10 ⁻³	9,96	9,96 · 10 ⁶	9,96 · 10 ⁹	9,96 · 10 ⁸	10 ³
1 kltf (килофунт-сила)	4,45 · 10 ³	4,45 · 10 ⁻³	4,45	4,45 · 10 ⁶	4,45 · 10 ⁹	4,45 · 10 ⁸	1,05 · 10 ³
1 lbf (фунт-сила)	4,45	4,45 · 10 ⁻⁶	4,45 · 10 ⁻³	4,45 · 10 ⁶	4,45 · 10 ⁹	4,45 · 10 ⁸	4,54 · 10 ²

Соотношения между единицами скорости (линейной)

Единица	м/с	км/ч	км/с	см/с
1 м/с	1	3,60	10^{-3}	100
1 км/ч	0,278	1,00	$2,78 \cdot 10^{-4}$	27,8
1 км/с	10^3	3600	1,00	10^5
1 м/ч	$2,78 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$2,78 \cdot 10^{-2}$
1 м/мин	$1,67 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,67 \cdot 10^{-5}$	1,67
1 см/с	10^{-2}	$3,6 \cdot 10^{-2}$	10^{-5}	1,00
1 уз (морская миля в час)	0,514	1,85	$5,14 \cdot 10^{-4}$	51,4
1 mi/h (миля в час)	0,447	1,61	$4,47 \cdot 10^{-4}$	44,7
1 mi/min (миля в минуту)	26,8	96,6	$2,68 \cdot 10^{-2}$	$2,68 \cdot 10^3$
1 mi/s (миля в секунду)	$1,61 \cdot 10^3$	$5,79 \cdot 10^3$	1,61	$1,61 \cdot 10^5$
1 yd/s (ярд в секунду)	0,914	3,29	$9,14 \cdot 10^{-4}$	91,4
1 ft/h (фут в час)	$8,47 \cdot 10^{-5}$	$3,05 \cdot 10^{-4}$	$8,47 \cdot 10^{-8}$	$8,47 \cdot 10^{-3}$
1 ft/min (фут в минуту)	$5,08 \cdot 10^{-3}$	$1,83 \cdot 10^{-2}$	$5,08 \cdot 10^{-6}$	0,508
1 ft/s (фут в секунду)	0,305	1,10	$3,05 \cdot 10^{-4}$	30,5
1 in/s (дюйм в секунду)	$2,54 \cdot 10^{-2}$	$9,14 \cdot 10^{-2}$	$2,54 \cdot 10^{-5}$	2,54

Соотношения между единицами ускорения (линейного)

Единица	м/с ²	см/с ²	g
1 м/с ²	1,00	10^2	0,102
1 см/с ² (Гал)	10^{-2}	1,00	$1,02 \cdot 10^{-3}$
1 g	9,81	981	1,00
1 мГал	10^{-5}	10^{-3}	$1,02 \cdot 10^{-6}$
1 км/(ч · с)	0,278	27,8	$2,84 \cdot 10^{-2}$
1 vd/s ²	0,914	91,4	$9,3 \cdot 10^{-2}$
1 ft/s ²	0,305	30,5	$3,1 \cdot 10^{-2}$
1 in/s ²	$2,54 \cdot 10^{-2}$	2,54	$2,6 \cdot 10^{-3}$

Соотношения между единицами частоты

Единица	Гц	ТГц	ГГц	МГц	кГц
1 Гц	1,00	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}
1 ТГц	10^{12}	1,00	10^3	10^6	10^9
1 ГГц	10^9	10^{-3}	1,00	10^3	10^6
1 МГц	10^6	10^{-6}	10^{-3}	1,00	10^3
1 кГц	10^3	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1,00
1 мГц	10^{-3}	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}

Соотношения между единицами частоты вращения

Единица	с ⁻¹	об/с	об/мин
1 с ⁻¹	1,00	1,00	60,0
1 об/с	1,00	1,00	60,0
1 об/мин	$1,67 \cdot 10^{-2}$	$1,67 \cdot 10^{-2}$	1,00

Соотношения между единицами массы

Единица	кг	т	г
1 кг	1,00	10^{-3}	10^3
1 т (Мг)	10^3	1,00	10^6
1 ц	10^2	0,100	10^5
1 г	10^{-3}	10^{-6}	1,00
1 мг	10^{-6}	10^{-9}	10^{-3}
1 мкг	10^{-9}	10^{-12}	10^{-6}
1 кгс · с ² /м (т. е. м.)	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^3$
1 l. tp (тонна длинная)	$1,02 \cdot 10^3$	1,02	$1,02 \cdot 10^6$
1 sh. tp (тонна короткая)	907	0,907	$9,07 \cdot 10^5$
1 l. cwt (центнер длинный)	50,8	$5,08 \cdot 10^{-2}$	$5,08 \cdot 10^4$
1 lb (фунт торговый)	0,454	$4,54 \cdot 10^{-4}$	454
1 oz (унция)	$2,83 \cdot 10^{-2}$	$2,83 \cdot 10^{-5}$	28,3
1 sl (слаг)	14,6	$1,46 \cdot 10^{-2}$	$1,46 \cdot 10^4$

Соотношения между единицами плотности

Единица	кг/м ³	г/см ³
1 кг/м ³	1,00	10^{-3}
1 г/см ³ (г/мл)		
1 кг/дм ³ (кг/л)	10^3	1,00
1 т/м ³ (Мг/м ³)		
1 кгс · с ² /м ⁴	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$
1 гс · с ² /см ⁴	$9,81 \cdot 10^5$	981
1 lb/ft ³ (фунт на куб. фут)	16,0	$1,60 \cdot 10^{-2}$
1 lb/in ³ (фунт на куб. дюйм)	$2,77 \cdot 10^4$	27,7
1 oz/ft ³ (унция на куб. фут)	1,001	10^{-3}
1 lb/gal (liq.) (фунт на галлон (жидкостный))	120	0,120

Соотношения между единицами удельного объема

Единица	м ³ /кг	см ³ /г
1 м ³ /кг	1,00	10^3
1 см ³ /г (мл/г)		
1 дм ³ /кг (л/кг)	10^{-3}	1,00
1 м ³ /т (м ³ /Мг)		
1 м ³ /(кгс · с ²)	0,102	102
1 ft ³ /lb (куб. фут на фунт)	$6,24 \cdot 10^{-2}$	62,4
1 in ³ /lb (куб. дюйм на фунт)	$3,61 \cdot 10^{-5}$	$3,61 \cdot 10^{-2}$
1 ft ³ /oz (куб. фут на унцию)	0,999	999

Соотношения между единицами линейной плотности

Единица	кг/м	г/м	мг/м	мкг/м
1 кг/м	1,00	10 ³	10 ⁶	10 ⁹
1 г/м (кг/км)	10 ⁻³	1,00	10 ³	10 ⁶
1 мг/м (г/км; текс) ¹	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1,00	10 ³
1 мкг/м (мг/км)	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1,00
1 lb/mi (фунт на милю)	2,82 · 10 ⁻⁴	0,282	282	2,82 · 10 ⁵
1 lb/yd (фунт на ярд)	0,496	496	4,96 · 10 ⁵	4,96 · 10 ⁸
1 lb/ft (фунт на фут)	1,49	1,49 · 10 ³	1,49 · 10 ⁶	1,49 · 10 ⁹
1 oz/yd (унция на ярд)	3,10 · 10 ⁻²	31,0	3,10 · 10 ⁴	3,10 · 10 ⁷

¹ Текс — специальное наименование единицы линейной плотности, применяемое в текстильной промышленности (1 текс=1 г/км, что соответствует массе нити длиной 1 км, равной 1 г).

Соотношения между единицами поверхностной плотности

Единица	кг/м ²	г/см ²	т/м ²
1 кг/м ²	1,00	0,1	10 ⁻³
1 г/см ²	10,0	1,00	10 ⁻²
1 т/м ²	10 ³	10 ²	1,00
1 lb/ft ² (фунт на кв. фут)	4,88	0,488	4,88 · 10 ⁻³
1 oz/yd ² (унция на кв. ярд)	3,39 · 10 ⁻²	3,39 · 10 ⁻³	3,39 · 10 ⁻⁵

Соотношения между единицами объемного расхода

Единицы	м ³ /с	м ³ /сут	м ³ /ч	м ³ /мин
1 м ³ /с	1,00	8,64 · 10 ⁴	3,60 · 10 ³	60,0
1 м ³ /сут	1,16 · 10 ⁻⁵	1,00	4,17 · 10 ⁻²	6,94 · 10 ⁻⁴
1 м ³ /ч	2,78 · 10 ⁻⁴	24,0	1,00	1,67 · 10 ⁻²
1 м ³ /мин	1,67 · 10 ⁻²	1440	60,0	1,00
1 ft ³ /h (куб. фут в час)	7,87 · 10 ⁻⁶	0,690	2,83 · 10 ⁻²	4,72 · 10 ⁻⁴
1 ft ³ /min (куб. фут в минуту)	4,72 · 10 ⁻⁴	40,8	1,70	2,83 · 10 ⁻²
1 ft ³ /s (куб. фут в секунду)	2,83 · 10 ⁻²	2,45 · 10 ³	102	1,70
1 gal (US)/h [жидкостный (галлон (США) в час)]	1,05 · 10 ⁻⁶	9,08 · 10 ⁻²	3,79 · 10 ⁻³	6,31 · 10 ⁻⁵
1 bbl (US)/h [нефтяной (баррель в час)]	4,42 · 10 ⁻⁵	3,82	0,159	2,65 · 10 ⁻³

Соотношения между единицами массового расхода

Единица	кг/с	кг/ч	кг/мин	т/ч
1 кг/с	1,00	3 600	60,0	3,60
1 кг/ч	2,78 · 10 ⁻⁴	1,00	1,67 · 10 ⁻²	10 ⁻³
1 кг/мин	1,67 · 10 ⁻²	60,0	1,00	6,00 · 10 ⁻²
1 т/сут	1,16 · 10 ⁻²	41,7	0,694	4,17 · 10 ⁻²
1 т/ч	0,278	10 ³	16,7	1,00
1 т/с	10 ³	3,60 · 10 ⁶	6,00 · 10 ⁴	3,60 · 10 ³
1 г/с	10 ⁻³	3,60	6,00 · 10 ⁻²	3,60 · 10 ⁻³
1 т/h [тонна (длинная) в час]	0,282	1,02 · 10 ³	16,9	1,02
1 lb/h (фунт в час)	1,26 · 10 ⁻⁴	0,454	7,56 · 10 ⁻³	4,54 · 10 ⁻⁴
1 lb/min (фунт в минуту)	7,56 · 10 ⁻³	27,2	0,454	2,72 · 10 ⁻²
1 lb/s (фунт в секунду)	0,454	1,63 · 10 ³	27,2	1,63
1 oz/s (унция в секунду)	2,83 · 10 ⁻²	102	1,70	0,102

Соотношения между единицами импульса (количества движения)

Единица	кг · м/с	г · см/с	т · м/с
1 кг · м/с	1,00	10 ⁵	10 ⁻³
1 г · см/с	10 ⁻⁵	1,00	10 ⁻⁸
1 т · м/с	10 ³	10 ⁸	1,00
1 гс · с	9,81 · 10 ⁻³	981	9,81 · 10 ⁻⁶
1 кгс · с	9,81	9,81 · 10 ⁵	9,81 · 10 ⁻³
1 тс · с	9,81 · 10 ³	9,81 · 10 ⁸	9,81
1 lb · ft/s (фунт-фут в секунду)	0,138	1,38 · 10 ⁴	1,38 · 10 ⁻⁴
1 lbf · s (фунт-сила-секуида)	4,45	4,45 · 10 ⁵	4,45 · 10 ⁻³

Соотношения между единицами момента импульса (количества движения)

Единица	кг · м ² /с	г · см ² /с	г · м ² /с
1 кг · м ² /с	1,00	10 ⁷	10 ⁻³
1 г · см ² /с	10 ⁻⁷	1,00	10 ⁻¹⁰
1 т · м ² /с	10 ³	10 ¹⁰	1,00
1 гс · см · с	9,81 · 10 ⁻⁵	981	9,81 · 10 ⁻⁸
1 кгс · м · с	9,81	9,81 · 10 ⁷	9,81 · 10 ⁻³
1 тс · м · с	9,81 · 10 ³	9,81 · 10 ¹⁰	9,81
1 pdl · ft · s (паундаль-фут-секунда)	4,21 · 10 ⁻²	4,21 · 10 ⁵	4,21 · 10 ⁻⁵
1 lbf · ft · s (фунт-сила-фут-секунда)	1,36	1,36 · 10 ⁷	1,36 · 10 ⁻³

Соотношения между единицами момента силы
(пары сил, крутящего момента, вращающего момента)

Единица	Н · м	дин · см	кгс · м	гс · см
1 Н · м	1,00	10 ⁷	0,102	1,02 · 10 ⁴
1 МН · м	10 ⁶	10 ¹³	1,02 · 10 ⁵	1,02 · 10 ¹⁰
1 кН · м	10 ³	10 ¹⁰	102	1,02 · 10 ⁷
1 мН · м	10 ⁻³	10 ⁴	1,02 · 10 ⁻⁴	10,2
1 мкН · м	10 ⁻⁶	10,0	1,02 · 10 ⁻⁷	1,02 · 10 ⁻²
1 дин · см	10 ⁻⁷	1,00	1,02 · 10 ⁻⁸	1,02 · 10 ⁻³
1 тс · м	9,81 · 10 ³	9,81 · 10 ¹⁰	10 ³	10 ⁸
1 кгс · м	9,81	9,81 · 10 ⁷	1,00	10 ⁵
1 гс · м	9,81 · 10 ⁻³	9,81 · 10 ⁴	10 ⁻³	10 ²
1 гс · см	9,81 · 10 ⁻⁵	981	10 ⁻⁵	1,00
1 lbf · ft (фунт-сила-фут)	1,36	1,36 · 10 ⁷	0,138	1,38 · 10 ⁴
1 lbf · in (фунт-сила-дюйм)	0,113	1,13 · 10 ⁶	1,15 · 10 ⁻²	1,15 · 10 ³
1 pdl · ft (паундаль-фут)	4,21 · 10 ⁻²	4,21 · 10 ⁵	4,30 · 10 ⁻³	430
1 ozf · in (унция-сила-дюйм)	7,06 · 10 ⁻³	7,06 · 10 ⁴	7,19 · 10 ⁻⁴	71,9

Соотношения между единицами поверхностного натяжения

Единица	Н/м	дин/см	кгс/м	гс/см
1 Н/м	1,00	10 ³	0,102	1,02
1 мН/м (дин/см)	10 ⁻³	1,00	1,02 · 10 ⁻⁴	1,02 · 10 ⁻³
1 кгс/м	9,81	9,81 · 10 ³	1,00	10,0
1 гс/см	0,981	981	0,100	1,00
1 lbf/ft (фунт-сила на фут)	14,6	1,46 · 10 ⁴	1,49	14,9
1 pdl/ft (паундаль на фут)	0,454	454	4,63 · 10 ⁻²	0,463

Соотношения между единицами удельного веса (удельной силы тяжести)

Единица	Н/м ³	кН/м ³	дин/см ³	кгс/м ³
1 Н/м ³	1,00	10 ⁻³	0,100	0,102
1 кН/м ³	10 ³	1,00	100	102
1 дин/см ³	10,0	10 ⁻²	1,00	1,02
1 кгс/м ³	9,81	9,81 · 10 ⁻³	0,981	1,00
1 гс/см ³ (тс/м ³)	9,81 · 10 ³	9,81	981	10 ³
1 lbf/ft ³ (фунт-сила на куб. фут)	157	0,157	15,7	16,0
1 pdl/ft ³ (паундаль на куб. фут)	4,88	4,88 · 10 ⁻³	0,488	0,498

Соотношения между единицами кинематической вязкости

Единица	м ² /с	м ² /ч	см ² /с	мм ² /с
1 м ² /с	1,00	3600	10 ⁴	10 ⁶
1 м ² /ч	2,78 · 10 ⁻⁴	1,00	2,78	278
1 Ст (стокс) [см ² /с]	10 ⁻⁴	0,360	1,00	10 ²
1 сСт (сайстикс) [мм ² /с]	10 ⁻⁶	3,60 · 10 ⁻³	10 ⁻²	1,00
1 ft ² /s (кв. фут на секунду)	9,29 · 10 ⁻²	334	929	9,29 · 10 ⁴
1 ft ² /h (кв. фут на час)	2,58 · 10 ⁻⁵	9,29 · 10 ⁻²	0,258	25,8
1 ud ² /s (кв. ярд на секунду)	0,836	3,01 · 10 ³	8,36 · 10 ³	8,36 · 10 ⁵

Соотношения между единицами работы (энергии, количества теплоты)

Единица	Дж	эрг	ккал	кВт · ч
1 Дж	1,00	10 ⁷	0,239	2,78 · 10 ⁻⁷
1 ТДж	10 ¹²	10 ¹⁹	2,39 · 10 ¹¹	2,78 · 10 ⁵
1 ГДж	10 ⁹	10 ¹⁶	2,39 · 10 ⁸	278
1 МДж	10 ⁶	10 ¹³	2,39 · 10 ⁵	0,278
1 кДж	10 ³	10 ¹⁰	239	2,78 · 10 ⁻⁴
1 мДж	10 ⁻³	10 ⁴	0,239	2,78 · 10 ⁻¹⁰
1 эрг	10 ⁻⁷	1,00	2,39 · 10 ⁻¹¹	2,78 · 10 ⁻¹⁴
1 ккал	4,19	4,19 · 10 ⁷	100	1,16 · 10 ⁻⁸
1 ккал	4,19 · 10 ³	4,19 · 10 ¹⁰	10 ³	1,16 · 10 ⁻³
1 Вт · ч	3600	3,60 · 10 ¹⁰	860	10 ⁻³
1 кВт · ч	3,60 · 10 ⁶	3,60 · 10 ¹³	8,60 · 10 ⁵	1,00
1 кгс · м	9,81	9,81 · 10 ⁷	2,34	2,72 · 10 ⁻⁶
1 лс · ч	2,65 · 10 ⁶	2,65 · 10 ¹³	6,32 · 10 ⁵	0,736
1 Вtu (британская ед. теплоты)	1,06 · 10 ³	1,06 · 10 ¹⁰	0,252	2,93 · 10 ⁻⁴
1 lbf · ft (фунт-сила-фут)	1,36	1,36 · 10 ⁷	0,324	3,78 · 10 ⁻⁷
1 pdl · ft (паундаль-фут)	4,21 · 10 ⁻²	4,21 · 10 ⁵	1,01 · 10 ⁻²	1,17 · 10 ⁻⁸

Соотношения между единицами удельной работы (удельной энергии, удельной теплоты)

Единица	Дж/кг	МДж/кг	кДж/кг	эрг/г	ккал/кг, кал/г
1 Дж/кг	1,00	10^{-6}	10^{-3}	10^4	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 МДж/кг	10^6	1,00	10^3	10^{10}	239
1 кДж/кг	10^3	10^{-3}	1,00	107	0,239
1 эрг/г	10^{-4}	10^{-10}	10^{-7}	1,00	$2,39 \cdot 10^{-3}$
1 ккал/кг (кал/г)	$4,19 \cdot 10^3$	$4,19 \cdot 10^{-3}$	4,19	$4,19 \cdot 10^7$	1,00
1 кВт · ч/кг	$3,60 \cdot 10^6$	3,60	$3,60 \cdot 10^3$	$3,60 \cdot 10^{10}$	860
1 кгс · м/кг	9,81	$9,81 \cdot 10^{-6}$	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^4$	$2,34 \cdot 10^{-3}$
1 гс · см/г	$9,81 \cdot 10^{-2}$	$9,81 \cdot 10^{-8}$	$9,81 \cdot 10^{-5}$	981	$2,34 \cdot 10^{-5}$
1 lbf · ft/lb (фунт-сила-фут на фунт)	2,99	$2,99 \cdot 10^{-6}$	$2,99 \cdot 10^{-3}$	$2,99 \cdot 10^4$	$7,15 \cdot 10^{-4}$
1 pdl · ft/lb (паундаль-фут на фунт)	$9,29 \cdot 10^{-2}$	$9,29 \cdot 10^{-8}$	$9,29 \cdot 10^{-5}$	929	$2,22 \cdot 10^{-5}$
1 Втu/lb (британская ед. теплоты на фунт)	$2,33 \cdot 10^3$	$2,33 \cdot 10^{-3}$	2,33	$2,33 \cdot 10^7$	0,556

Соотношения между единицами мощности

Единица	Вт	кВт	МВт	ГВт	мВт	л. с.	эрг/с
1 Вт	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^3	$1,36 \cdot 10^{-3}$	10^7
1 кВт	10^3	1,00	10^{-3}	10^{-6}	10^6	1,36	10^{10}
1 МВт	10^6	10^3	1,00	10^{-3}	10^9	$1,36 \cdot 10^3$	10^{13}
1 ГВт	10^9	10^6	10^3	1,00	10^{12}	$1,36 \cdot 10^6$	10^{16}
1 мВт	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	1,00	$1,36 \cdot 10^{-6}$	10^4
1 л. с.	736	$0,736$	$7,36 \cdot 10^{-4}$	$7,36 \cdot 10^{-7}$	$7,36 \cdot 10^5$	1,00	$7,36 \cdot 10^9$
1 эрг/с	10^{-7}	10^{-10}	10^{-13}	10^{-16}	10^{-4}	$1,36 \cdot 10^{-10}$	1,00
1 кал/с	4,19	$4,19 \cdot 10^{-3}$	$4,19 \cdot 10^{-6}$	$4,19 \cdot 10^{-9}$	$4,19 \cdot 10^3$	$5,69 \cdot 10^{-3}$	$4,19 \cdot 10^7$
1 lbf · ft/s (фунт-сила-фут в секунду)	1,36	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-6}$	$1,36 \cdot 10^{-9}$	$1,36 \cdot 10^3$	$1,84 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^7$

Соотношения между единицами давления (механического напряжения)

Единица	Па	ГПа	МПа	кПа	мПа
1 Па (Н/м ²)	1,00	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3
1 ГПа	10^9	1,00	10^3	10^6	10^{12}
1 МПа	10^6	10^{-3}	1,00	10^3	10^9
1 кПа	10^3	10^{-6}	10^{-3}	1,00	10^6
1 мПа	10^{-3}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^0
1 МКПа	10^{-6}	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-3}
1 бар	10^5	10^{-4}	0,100	10^2	10^8
1 мбар	10^2	10^{-7}	10^{-4}	0,100	10^5
1 дин/см ² (МКбар)	0,100	10^{-10}	10^{-7}	10^{-4}	10^2
1 кгс/см ² (1 ат)	$9,81 \cdot 10^4$	$9,81 \cdot 10^{-5}$	$9,81 \cdot 10^{-2}$	98,1	$9,81 \cdot 10^7$
1 атм	$1,01 \cdot 10^5$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	0,101	101	$1,01 \cdot 10^8$
1 мм вод. ст. (кгс/м ²)	9,81	$9,81 \cdot 10^{-9}$	$9,81 \cdot 10^{-6}$	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^3$
1 мм рт. ст. (Торр)	133	$1,33 \cdot 10^{-7}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	0,133	$1,33 \cdot 10^5$
1 lbf/ft ² (фунт-сила на кв. фут)	47,9	$4,79 \cdot 10^{-3}$	$4,79 \cdot 10^{-5}$	$4,79 \cdot 10^{-2}$	$4,79 \cdot 10^4$
1 lbf/in ² (фунт-сила на кв. дюйм)	$6,89 \cdot 10^3$	$6,89 \cdot 10^{-6}$	$6,89 \cdot 10^{-3}$	6,89	$6,89 \cdot 10^6$
1 pdl/ft ² (паундаль на кв. фут)	1,49	$1,49 \cdot 10^{-9}$	$1,49 \cdot 10^{-6}$	$1,49 \cdot 10^{-3}$	$1,49 \cdot 10^3$
1 in. H ₂ O (дюйм вод. ст.)	249	$2,49 \cdot 10^{-7}$	$2,49 \cdot 10^{-4}$	0,249	$2,49 \cdot 10^5$
1 in. Hg (дюйм рт. ст.)	$3,39 \cdot 10^3$	$3,39 \cdot 10^{-6}$	$3,39 \cdot 10^{-3}$	3,39	$3,39 \cdot 10^6$

Соотношения между единицами теплоемкости

Единица	Дж/К	МДж/К	кДж/К	мДж/К
1 Дж/К	1,00	10^{-6}	10^{-3}	10^3
1 ТДж/К	10^{12}	10^6	10^9	10^{15}
1 ГДж/К	10^9	10^3	10^6	10^{12}
1 МДж/К	10^6	1,00	10^3	10^9
1 кДж/К	10^3	10^{-3}	1,00	10^6
1 мДж/К	10^{-3}	10^{-9}	10^{-6}	1,00
1 ккал/°С	$4,19 \cdot 10^3$	$4,19 \cdot 10^3$	$4,19 \cdot 10^6$	$4,19 \cdot 10^{12}$
1 Мкал/°С	$4,19 \cdot 10^6$	4,19	$4,19 \cdot 10^3$	$4,19 \cdot 10^9$
1 ккал/°С	$4,19 \cdot 10^3$	$4,19 \cdot 10^{-3}$	4,19	$4,19 \cdot 10^6$
1 кал/°С	4,19	$4,19 \cdot 10^{-6}$	$4,19 \cdot 10^{-3}$	$4,19 \cdot 10^3$
1 Btu/°F (британская ед. теплоты на градус Фаренгейта)	$1,90 \cdot 10^3$	$1,90 \cdot 10^{-3}$	1,90	$1,90 \cdot 10^6$

Соотношения между единицами удельной теплоемкости

Единица	Дж/(кг · К)	кДж/(кг · К)	эрг/(г · °С)	ккал/(кг · °С); кал/(г · °С)
1 Дж/(кг · К)	1,00	10^{-3}	10^4	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 кДж/(кг · К)	10^3	1,00	10^7	0,239
[Дж/(г · К)]				
1 эрг/(г · °С)	10^{-4}	10^{-7}	1,00	$2,39 \cdot 10^{-8}$
1 ккал/(кг · °С)	$4,19 \cdot 10^3$	4,19	$4,19 \cdot 10^7$	1,00
[кал/(г · °С)]				
1 Btu/(lb · °F)	$4,19 \cdot 10^3$	4,19	$4,19 \cdot 10^7$	1,00
[британская ед. теплоты на фунт-градус Фаренгейта]				

Соотношения между единицами удельной газовой постоянной

Единица	Дж/(кг · К)	кДж/(кг · К)	эрг/(г · °С)	ккал/(кг · °С); кал/(г · °С)
1 Дж/(кг · К)	1,00	10^{-3}	10^4	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 кДж/(кг · К)	10^3	1,00	10^7	0,239
1 эрг/(г · К)	10^{-4}	10^{-7}	1,00	$2,39 \cdot 10^{-8}$
1 кгс · м/(кг · °С)	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^4$	$2,34 \cdot 10^{-3}$
1 л · атм/(кг · °С)	101	0,101	$1,01 \cdot 10^6$	$2,42 \cdot 10^{-2}$
1 ккал/(кг · °С)	$4,19 \cdot 10^3$	4,19	$4,19 \cdot 10^7$	1,00
1 кал/(г · °С)				
1 Btu/(lb · °F)	$4,19 \cdot 10^3$	4,19	$4,19 \cdot 10^7$	1,00
(британская ед. теплоты на фунт-градус Фаренгейта)				

Соотношения между единицами температурного коэффициента (линейного расширения, объемного расширения, давления и др.)

Единица	К ⁻¹ , °С ⁻¹	°R ⁻¹ , °F ⁻¹
1 К ⁻¹ (1 °С ⁻¹)	1,00	0,556
1 °R ⁻¹ (градус Реякина в минус первой степени)	1,80	1,00
1 °F ⁻¹ (градус Фаренгейта в минус первой степени)		

Соотношения между единицами теплового потока (тепловой мощности)

Единица	Вт	ГВт	МВт	кВт	мВт	ккал/ч
1 Вт	1,00	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	0,860
1 ГВт	10^9	1,00	10^3	10^6	10^{12}	$8,60 \cdot 10^8$
1 МВт	10^6	10^{-3}	1,00	10^3	10^9	$8,60 \cdot 10^5$
1 кВт	10^3	10^{-6}	10^{-3}	1,00	10^6	860
1 мВт	10^{-3}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	1,00	$8,60 \cdot 10^{-4}$
1 эрг/с	10^{-7}	10^{-16}	10^{-13}	10^{-10}	10^{-4}	$8,60 \cdot 10^{-8}$
1 ккал/ч	$1,16 \cdot 10^9$	1,16	$1,16 \cdot 10^3$	$1,16 \cdot 10^6$	$1,16 \cdot 10^{12}$	1,00
1 Гкал/ч	$1,16 \cdot 10^6$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	1,16	$1,16 \cdot 10^3$	$1,16 \cdot 10^9$	10^3
1 Мкал/ч	$1,16 \cdot 10^3$	$1,16 \cdot 10^{-6}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	1,16	$1,16 \cdot 10^6$	1,00
1 ккал/с	$1,16 \cdot 10^9$	$1,16 \cdot 10^{-9}$	$1,16 \cdot 10^{-6}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^3$	3,60
1 кал/с	4,19	$4,19 \cdot 10^{-9}$	$4,19 \cdot 10^{-6}$	$4,19 \cdot 10^{-3}$	$4,19 \cdot 10^3$	1,00
1 Мкал/сут	48,5	$4,85 \cdot 10^{-8}$	$4,85 \cdot 10^{-5}$	$4,85 \cdot 10^{-2}$	$4,85 \cdot 10^4$	41,7
1 Btu/h (британская ед. теплового потока в час)	0,293	$2,93 \cdot 10^{-10}$	$2,93 \cdot 10^{-7}$	$2,93 \cdot 10^{-4}$	293	0,252

Соотношения между единицами плотности теплового и лучистого потоков, облученности, излучательности

Единица	Вт/м ²	Вт/см ²	кВт/м ²	ккал/(ч · м ²)	эрг/(с · см ²)
1 Вт/м ²	1,00	10 ⁻⁴	10 ⁻³	0,860	10 ³
1 Вт/см ²	10 ⁴	1,00	10,0	8,60 · 10 ³	10 ⁷
1 кВт/м ²	10 ³	0,100	1,00	860	1,00
1 ккал/(ч · м ²)	1,16 · 10 ⁴	1,16 · 10 ⁻⁴	1,16 · 10 ⁻³	1,00	1,16 · 10 ³
1 кал/(с · см ²)	4,19 · 10 ⁴	4,19	41,9	3,60 · 10 ⁴	4,19 · 10 ⁷
1 кал/(мин · см ²)	698	6,98 · 10 ²	0,698	600	6,98 · 10 ⁵
1 эрг/(с · см ²)	10 ⁻³	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	8,60 · 10 ⁻⁴	1,00
1 Вт/(ч · м ²)	3,15	3,15 · 10 ⁻⁴	3,15 · 10 ⁻³	2,71	3,15 · 10 ³
(британская ед. теплоты в час на кв. фут)					
1 Вtu/(с · ft ²)	1,14 · 10 ⁴	1,14	11,4	9,77 · 10 ³	1,14 · 10 ⁷
(британская ед. теплоты в секунду на кв. фут)					
1 Вtu/(с · in ²)	1,64 · 10 ⁶	164	1,64 · 10 ⁻³	1,41 · 10 ⁶	1,64 · 10 ⁹
(британская ед. теплоты в секунду на кв. дюйм)					

Соотношения между единицами теплопроводности

Единица	Вт/(м · К)	кВт/(м · К)	Вт/(см · К)	эрг/(с · см · °С)	ккал/(ч · м · °С)
1 Вт/(м · К)	1,00	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁵	0,860
1 кВт/(м · К)	10 ³	1,00	10,0	10 ⁸	860
1 Вт/(см · К)	10 ²	0,100	1,00	10 ⁷	86,0
1 ккал/(ч · см · °С)	10 ⁻⁵	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	1,00	8,60 · 10 ⁻⁶
1 эрг/(с · см · °С)	1,16	1,16 · 10 ⁻³	1,16 · 10 ⁻²	1,16 · 10 ⁵	1,00
1 кал/(с · см · °С)	419	0,419	4,19	4,19 · 10 ⁷	360
1 Вtu/(h · ft · °F)	1,73	1,73 · 10 ⁻³	1,73 · 10 ⁻²	1,73 · 10 ⁵	1,49
(британская ед. теплоты в час на фут-градус Фаренгейта)					
1 Вtu/(с · ft · °F)	6,23 · 10 ³	6,23	62,3	6,23 · 10 ⁶	5,36 · 10 ³
(британская ед. теплоты в секунду на фут-градус Фаренгейта)					

Соотношения между единицами силы тока

Единица	A	кА	мА	мкА	нА	пА	Ед. силы тока СГС и СГСЭ	Ед. силы тока СГСМ
1 A	1,00	10 ⁻³	10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	3,00 · 10 ⁹	0,100
1 кА	10 ³	1,00	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵	3,00 · 10 ¹²	10 ²
1 мА	10 ⁻³	10 ⁻⁶	1,00	10 ³	10 ⁶	10 ⁹	3,00 · 10 ⁶	10 ⁻⁴
1 мкА	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻³	1,00	10 ³	10 ⁶	3,00 · 10 ³	10 ⁻⁷
1 нА	10 ⁻⁹	10 ⁻¹²	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1,00	10 ³	3,00	10 ⁻¹⁰
1 пА	10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁵	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1,00	3,00 · 10 ⁻³	10 ⁻¹³
1 ед. силы тока СГС и СГСЭ [Ft/s (франклин в секунду)]	3,34 · 10 ⁻¹⁰	3,34 · 10 ⁻¹³	3,34 · 10 ⁻⁷	3,34 · 10 ⁻⁴	0,334	0,334	1,00	3,34 · 10 ⁻¹¹
1 ед. силы тока СГСМ [1 Вt (био)]	10,0	10 ⁻²	10 ⁴	10 ⁷	10 ¹⁰	10 ¹³	3,00 · 10 ¹⁰	1,00

Соотношения между единицами электрического заряда (количества электричества)

Единица	Кл	кКл	мКл	мкКл
1 Кл (А · с)	1,00	10^{-3}	10^3	10^6
1 ГКл	10^9	10^6	10^{12}	10^{15}
1 МКл	10^6	10^3	10^9	10^{12}
1 кКл	10^3	1,00	10^6	10^9
1 мКл	10^{-3}	10^{-6}	1,00	10^3
1 мкКл	10^{-6}	10^{-9}	10^{-3}	1,00
1 нКл	10^{-9}	10^{-12}	10^{-6}	10^{-3}
1 пКл	10^{-12}	10^{-15}	10^{-9}	10^{-6}
1 А · ч	$3,60 \cdot 10^3$	3,60	$3,60 \cdot 10^6$	$3,60 \cdot 10^9$
1 ед. электрического заряда СГС и СГСЭ [Fr (франклин)]	$3,34 \cdot 10^{-10}$	$3,34 \cdot 10^{-13}$	$3,34 \cdot 10^{-7}$	$3,34 \cdot 10^{-4}$
1 ед. электрического заряда СГСМ [Bi · с (био-секунда)]	10,0	10^{-2}	10^4	10^7
1 элементарный электрический заряд	$1,60 \cdot 10^{-9}$	$1,60 \cdot 10^{-12}$	$1,60 \cdot 10^{-6}$	$1,60 \cdot 10^{-3}$

Соотношения между единицами поверхностной плотности электрического тока

Единица	А/м ²	кА/м ²	А/см ²	МА/м ²
1 А/м ²	1,00	10^{-3}	10^{-4}	10^{-6}
1 кА/м ²	10^3	1,00	0,100	10^{-3}
1 А/см ²	10^4	10,0	1,00	10^{-2}
1 МА/м ² (А/мм ²)	10^6	10^3	10^2	1,00
1 ед. поверхностной плотности тока СГС и СГСЭ	$3,34 \cdot 10^{-6}$	$3,34 \cdot 10^{-9}$	$3,34 \cdot 10^{-10}$	$3,34 \cdot 10^{-12}$
1 ед. поверхностной плотности тока СГСМ	10^5	100	10,0	0,100

Соотношения между единицами линейной плотности электрического тока

Единица	А/м	кА/м	А/см
1 А/м	1,00	10^{-3}	10^{-2}
1 кА/м (А/мм)	10^3	1,00	10,0
1 А/см	10^2	0,100	1,00
1 ед. линейной плотности тока СГС и СГСЭ	$3,34 \cdot 10^{-8}$	$3,34 \cdot 10^{-11}$	$3,34 \cdot 10^{-10}$
1 ед. линейной плотности тока СГСМ	10^3	1,00	10,0

Соотношения между единицами пространственной плотности электрического заряда

Единица	Кл/м ³	ГКл/м ³	МКл/м ³	кКл/м ³
1 Кл/м ³	1,00	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}
1 ГКл/м ³ (Кл/мм ³)	10^9	1,00	10^3	10^6
1 МКл/м ³ (Кл/см ³)	10^6	10^{-3}	1,0	10^3
1 кКл/м ³	10^3	10^{-6}	10^{-3}	1,00
1 мКл/м ³	10^{-3}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}
1 ед. пространственной плотности электрического заряда СГС и СГСЭ	$3,34 \cdot 10^{-4}$	$3,34 \cdot 10^{-13}$	$3,34 \cdot 10^{-10}$	$3,34 \cdot 10^{-7}$
1 ед. пространственной плотности электрического заряда СГСМ	10^7	10^{-2}	10,0	10^4

Соотношения между единицами поверхностной плотности электрического заряда

Единица	Кл/м ²	МКл/м ²	кКл/м ²	мКл/м ²	мкКл/м ²
1 Кл/м ²	1,00	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6
1 МКл/м ²	10^6	1,00	10^3	10^9	10^{12}
1 кКл/м ²	10^3	10^{-3}	1,00	10^6	10^9
1 мКл/м ²	10^{-3}	10^{-9}	10^{-6}	1,00	10^3
1 мкКл/м ²	10^{-6}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-3}	1,00
1 Кл/мм ²	10^4	10^{-2}	10,0	10^7	10^{10}
1 Кл/см ²	10^4	10^{-2}	10,0	10^7	10^{10}
1 мКл/см ²	10,0	10^{-5}	10^{-2}	10^4	10^7
1 ед. поверхностной плотности электрического заряда СГС и СГСЭ	$3,34 \cdot 10^{-6}$	$3,34 \cdot 10^{-12}$	$3,34 \cdot 10^{-9}$	$3,34 \cdot 10^{-3}$	3,34
1 ед. поверхностной плотности электрического заряда СГСМ	10^5	0,100	10^2	10^8	10^{11}

Соотношения между единицами напряженности электрического поля

Единица	В/м	МВ/м	кВ/м	мВ/м	мкВ/м
1 В/м	1,00	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6
1 МВ/м (кВ/мм)	10^6	1,00	10^3	10^9	10^{12}
1 кВ/м (В/мм)	10^3	10^{-3}	1,00	10^6	10^9
1 мВ/м	10^{-3}	10^{-9}	10^{-6}	1,00	10^3
1 мкВ/м	10^{-6}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-3}	1,00
1 кВ/см	10^5	0,100	10^2	10^8	10^{11}
1 В/см	10^2	10^{-4}	0,100	10^5	10^8
1 ед. напряженности электрического поля СГС и СГСЭ	$3,00 \cdot 10^4$	$3,00 \cdot 10^{-2}$	30,0	$3,00 \cdot 10^7$	$3,00 \cdot 10^{10}$
1 ед. напряженности электрического поля СГСМ	10^{-6}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-3}	1

Соотношения между единицами электрического напряжения (электрического потенциала, разности электрических потенциалов, электродвижущей силы)

Единица	В	МВ	кВ	мВ	мкВ
1 В	1,00	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6
1 МВ	10^6	1	10^3	10^9	10^{12}
1 кВ	10^3	10^{-3}	1,00	10^6	10^9
1 мВ	10^{-3}	10^{-9}	10^{-6}	1,00	10^3
1 мкВ	10^{-6}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-3}	1,00
1 ед. электрического напряжения СГС и СГСЭ	300	$3,00 \cdot 10^{-4}$	0,300	$3,00 \cdot 10^5$	$3,00 \cdot 10^8$
1 ед. электрического напряжения СГСМ	10^{-8}	10^{-14}	10^{-11}	10^{-5}	10^{-2}

Соотношения между единицами электрической емкости

Единица	Ф	мФ	мкФ	нФ	пФ
1 Ф	1,00	10^3	10^6	10^9	10^{12}
1 мФ	10^{-3}	1,00	10^3	10^6	10^9
1 мкФ	10^{-6}	10^{-3}	1,00	10^3	10^6
1 нФ	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1,00	10^3
1 пФ	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1,00
1 ед. электрической емкости СГС и СГСЭ	$1,11 \cdot 10^{-12}$	$1,11 \cdot 10^{-9}$	$1,11 \cdot 10^{-6}$	$1,11 \cdot 10^{-3}$	1,11
1 ед. электрической емкости СГСМ	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}

Соотношения между единицами электрического сопротивления

Единица	Ом	ГОм	МОм	КОм	МОм	кОм	мкОм
1 Ом	1,00	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9
1 ГОм	10^{12}	1,00	10^6	10^3	10^3	10^6	10^9
1 МОм	10^9	10^3	10^3	10^3	10^3	10^6	10^9
1 КОм	10^6	10^3	1,00	1,00	10^3	10^6	10^9
1 МОм	10^3	10^{-6}	10^{-3}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9
1 КОм	10^{-3}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-6}	10^3	10^6	10^9
1 МОм	10^{-6}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-9}	10^3	10^6	10^9
1 мкОм	10^{-6}	10^{-18}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-3}	10^3	10^6
1 ед. электрического сопротивления СГС и СГСЭ	$8,99 \cdot 10^{11}$	0,899	$8,99 \cdot 10^5$	$8,99 \cdot 10^8$	$8,99 \cdot 10^6$	$8,99 \cdot 10^4$	$8,99 \cdot 10^{17}$
1 ед. электрического сопротивления СГСМ	10^{-9}	10^{-21}	10^{-15}	10^{-12}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-8}

Соотношения между единицами удельного электрического сопротивления

Единица	Ом · м	ГОм · м	МОм · м	КОм · м	МОм · м	кОм · м	мкОм · м
1 Ом · м	1,00	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9
1 ГОм · м	10^9	1,00	10^6	10^3	10^3	10^6	10^9
1 МОм · м	10^6	10^{-6}	10^{-3}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9
1 КОм · м	10^3	10^{-12}	10^{-9}	10^{-9}	10^3	10^6	10^9
1 МОм · м	10^{-6}	10^{-15}	10^{-12}	10^{-12}	10^3	10^6	10^9
1 КОм · м	10^{-9}	10^{-18}	10^{-15}	10^{-15}	10^3	10^6	10^9
1 МОм · м	10^{-2}	10^{-11}	10^{-8}	10^{-8}	10^3	10^6	10^9
1 Ом · см	10^{-5}	10^{-14}	10^{-11}	10^{-11}	10^3	10^6	10^9
1 мкОм · см	10^{-8}	10^{-17}	10^{-14}	10^{-14}	10^3	10^6	10^9
1 ед. удельного сопротивления СГС и СГСЭ	$8,99 \cdot 10^9$	8,99	$8,99 \cdot 10^3$	$8,99 \cdot 10^6$	$8,99 \cdot 10^2$	$8,99 \cdot 10^5$	$8,99 \cdot 10^{15}$
1 ед. удельного сопротивления СГСМ	10^{-11}	10^{-20}	10^{-17}	10^{-14}	10^{-8}	10^{-5}	10^{-5}

Соотношения между единицами электрической проводимости

Единица	См	кСм	мСм	мкСм
1 См (Ом^{-1})	1,00	10^{-3}	10^3	10^6
1 кСм	10^3	1,00	10^6	10^9
1 мСм	10^{-3}	10^{-6}	1,00	10^3
1 мкСм	10^{-6}	10^{-9}	10^{-3}	1,00
1 ед. электрической проводимости СГС и СГСЭ	$1,11 \cdot 10^{-12}$	$1,11 \cdot 10^{-15}$	$1,11 \cdot 10^{-9}$	$1,11 \cdot 10^{-6}$
1 ед. электрической проводимости СГСМ	10^9	10^6	10^{12}	10^{15}

Соотношения между единицами удельной электрической проводимости

Единица	См/м	МСм/м	кСм/м	См/см
1 См/м ($\text{Ом}^{-1}/\text{м}$)	1,00	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}
1 МСм/м	10^6	1,0	10^3	10^4
[м/($\text{Ом} \cdot \text{мм}^2$)]				
1 кСм/м	10^3	10^{-3}	1,00	10,0
1 См/см ($\text{Ом}^{-1}/\text{см}$)	10^2	10^{-4}	0,100	1,00
1 ед. удельной электрической проводимости СГС и СГСЭ	$1,11 \cdot 10^{-10}$	$1,11 \cdot 10^{-16}$	$1,11 \cdot 10^{-13}$	$1,11 \cdot 10^{-12}$
1 ед. удельной электрической проводимости СГСМ	10^{11}	10^5	10^8	10^9

Соотношения между единицами магнитного потока

Единица	Вб	кВб	мВб	мкВб
1 Вб ($\text{В} \cdot \text{с}$)	1,00	10^{-3}	10^3	10^6
1 кВб	10^3	1,00	10^6	10^9
1 мВб	10^{-3}	10^{-6}	1,00	10^3
1 мкВб	10^{-6}	10^{-9}	10^{-3}	1,00
1 Мкс (максвелл)	10^{-8}	10^{-11}	10^{-5}	10^{-2}
1 ед. магнитного потока СГСЭ	300	0,300	$3,00 \cdot 10^5$	$3,00 \cdot 10^8$

Соотношения между единицами магнитной индукции

Единица	Тл	мТл	мкТл	нТл
1 Тл (тесла)	1,00	10^3	10^6	10^9
($\text{Вб}/\text{м}^2$)				
1 мТл ($\text{мВб}/\text{м}^2$)	10^{-3}	1,00	10^3	10^6
1 мкТл ($\text{мкВб}/\text{м}^2$)	10^{-6}	10^{-3}	1,00	10^3
1 нТл ($\text{нВб}/\text{м}^2$)	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1,00
1 Вб/см ²	10^4	10^7	10^{10}	10^{13}
1 мВб/см ²	10,0	10^4	10^7	10^{10}
1 Гс (гаусс)	10^{-4}	0,100	10^2	10^5
1 кГс	0,100	10^2	10^5	10^8
1 ед. магнитной индукции СГСЭ	$3,00 \cdot 10^6$	$3,00 \cdot 10^9$	$3,00 \cdot 10^{12}$	$3,00 \cdot 10^{15}$

Соотношения между единицами напряженности магнитного поля

Единица	А/м	кА/м	А/см
1 А/м	1,00	10^{-3}	10^{-2}
1 кА/м (А/мм)	10^3	1,00	10,0
1 А/см	10^2	0,100	1,00
1 Э (эрстед)	79,6	$7,96 \cdot 10^{-2}$	0,796
1 ед. напряженности магнитного поля СГСЭ	$2,65 \cdot 10^{-9}$	$2,65 \cdot 10^{-12}$	$2,65 \cdot 10^{-11}$

Соотношения между единицами индуктивности (взаимной индуктивности)

Единица	Гн	кГн	мГн	мкГн	нГн
1 Гн (генри)	1,00	10^{-3}	10^3	10^6	10^9
1 кГн	10^3	1,00	10^6	10^9	10^{12}
1 мГн	10^{-3}	10^{-6}	1,00	10^3	10^6
1 мкГн	10^{-6}	10^{-9}	10^{-3}	1,00	10^3
1 нГн	10^{-9}	10^{-12}	10^{-6}	10^{-3}	1,00
1 пГн	10^{-12}	10^{-15}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}
1 ед. индуктивности СГС и СГСМ	10^{-9}	10^{-12}	10^{-6}	10^{-3}	1,00
1 ед. индуктивности СГСЭ	$8,99 \cdot 10^{11}$	$8,99 \cdot 10^8$	$8,99 \cdot 10^{14}$	$8,99 \cdot 10^{17}$	$8,99 \cdot 10^{20}$

Соотношения между единицами активной электрической энергии

Единица	Дж	ГДж	МДж	кДж	мДж	кВт·ч
1 Дж	1,00	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	$2,78 \cdot 10^{-7}$
1 ГДж	10^9	1,00	10^3	10^6	10^9	278
1 МДж	10^6	10^{-3}	1,00	10^3	10^6	0,278
1 кДж	10^3	10^{-6}	10^{-3}	1,00	10^3	$2,78 \cdot 10^{-4}$
1 мДж	10^{-3}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	$2,78 \cdot 10^{-10}$
1 Вт·ч	$3,60 \cdot 10^{15}$	$3,60 \cdot 10^6$	$3,60 \cdot 10^9$	$3,60 \cdot 10^{12}$	1,00	10^9
1 ГВт·ч	$3,60 \cdot 10^{12}$	$3,60 \cdot 10^3$	$3,60 \cdot 10^6$	$3,60 \cdot 10^9$	$3,60 \cdot 10^{15}$	10^6
1 МВт·ч	$3,60 \cdot 10^9$	3,60	$3,60 \cdot 10^3$	$3,60 \cdot 10^6$	$3,60 \cdot 10^{12}$	10^3
1 кВт·ч	$3,60 \cdot 10^6$	$3,60 \cdot 10^{-3}$	3,60	$3,60 \cdot 10^3$	$3,60 \cdot 10^9$	1,00

Соотношения между единицами вектора Пойнтинга

Единица	Вт/м ²	кВт/м ²	мВт/м ²	Вт/см ²
1 Вт/м ²	1,00	10^{-3}	10^3	10^{-4}
1 кВт/м ²	10^3	1,00	10^6	0,100
1 мВт/м ²	10^{-3}	10^{-6}	1,00	10^{-7}
[эрг/(с·см ²)]	10^4	10,0	10^7	1,00

6. Государственные эталоны СССР единиц физических величин, наиболее широко применяемых в школе

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения или диапазон измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	несистематическая
Государственный первичный эталон радиана — единицы плоского угла Государственный первичный эталон метра — единицы длины	36-гранная кварцевая призма; эталонная угломерная автоколлимационная установка Источник первичного эталонного излучения криптона-86, два эталонных интерферометра (для измерений длины штриховых и концевых мер длины и для исследования источников первичного и вторичного эталонных излучений)	0 ... 360° (10, 20, 30, ..., 360°)	8.016—81	0,02"	0,02"
		0 ... 1 м	8.020—75	—	$5 \cdot 10^{-9}$
Государственный первичный эталон секунды — единицы времени и герца — единицы частоты	Группа квантовых мер частоты, группа квантовых часов, аппарата внутреннего и внешнего сличений эталона, аппаратура средств обеспечения	$10^{-8} \dots 10^{-10}$ с;	8.123—77	$1 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-12}$
		1 ... 1420 · 10 ⁶ Гц			
Государственный первичный эталон килограмма — единицы массы	Копия № 12 международного прототипа килограмма — платино-иридиевая гиря (цилиндр с закругленными ребрами диаметром и высотой	1 кг	8.021—78	0,002 мг	—

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения или диапазон измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	неисключенная систематическая
Государственный первичный эталон ньютонна — единицы силы	39 мм); эталонные равноплечные призмные весы на 1 кг с дистанционным управлением для передачи размера единицы массы вторичным эталонам Набор мер силы в четырех эталонных установках (10...200 Н; 100 ... 5 · 10 ³ Н; 2 · 10 ⁵ ... 10 ⁶ Н; 10 ⁶ ... 10 ⁶ Н) Установка, основанная на повороте акселерометра в гравитационном поле Земли; центрифуга с электромеханической системой, системой управления электроприводом, измерительной системой и системой регистрации параметров, хранения и ввода информации	10...10 ⁶ Н	8.065—73	5 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻⁵
		1 · 10 ⁻³ ... 200 м/с ²	8.179—76	1 · 10 ⁻³ ... 1 · 10 ⁻⁵	4 · 10 ⁻² ... 3 · 10 ⁻⁵
4. Измерения давления					
Государственный первичный эталон паскаля — единицы давления	Группа из пяти поршневых приборов переменного состава; два набора гирь массой от 5 мкг до 5 кг; специальная аппаратура для создания и поддержания гидростатического давления Два колокольных микроманометра (диапазон измерений 0,1...1 · 10 ² Па); два грузопоршневых манометра (диапазон измерений 1 · 10 ³ ... 1 · 10 ⁴ Па); два компенсационных микроманометра	0,6 ... 6 МПа	8.017—79	6 · 10 ⁻⁶	4 · 10 ⁻⁵
		0,1 ... 4 · 10 ⁴ Па	8.187—76	0,05 ... 0,4 Па	0,05 ... 0,8 Па
Государственный специальный эталон паскаля (единицы давления для области абсолютного давления)					

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения или диапазон измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	неисключенная систематическая
Государственный специальный эталон паскаля (единицы давления для области абсолютного давления)	ра (диапазон измерений 50...5 · 10 ³ Па) Два грузопоршневых манометра абсолютного движения; специальная аппаратура для создания и поддержания измеряемого давления	2,7 · 10 ² ... 4 · 10 ⁵ Па	8.223—76	0,3 Па	2 Па
5. Измерения температуры					
Государственный первичный эталон кельвина — единицы температуры	Платиновые термометры сопротивления; аппаратура для воспроизведения реперных точек МПШ-68; установка для реализации тройных точек кислорода и равновесного водорода; установка для реализации точек кипения кислорода, неона и равновесного водорода; ампула для реализации тройной точки кипения воды; реализация точки кипения воды; криостат сравнения для области температур от 13,81 до 273,15 К; электроизмерительная аппаратура Аппаратура для воспроизведения реперных точек — тройной точки водородной точки кипения воды, точек кипения олова, цинка, серебра, золота; платиновые термометры сопротивления для тройной точки воды, точки	13,81 ... 273,15 К	8.079—79	0,001 К	0,003 К
		273,15 ... 2800 К	8.080—73	0,0001 ... 1,5 К	0,0001 ... 0,5 К

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения или диапазон измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	исключенная систематическая
Государственный специальный эталон кельвина — единицы температуры по инфракрасному излучению (для обеспечения единства измерений яркостной температуры)	кипания воды, точек затвердевания олова и цинка; высокотемпературные термометры сопротивления для точек затвердевания серебра и золота; термпературные лампы для точки затвердевания золота; фотоэлектрическая аппаратура удвоения яркостей для диапазона температур от 1357,58 до 2800 К; электроизмерительная аппаратура для измерений сопротивления. Модель черного тела с аппаратурой для регулирования и контроля температуры; группа из трех платиновых термоэлектрических термометров; фотоэлектрический спектроцирометр для ближней инфракрасной области спектра; набор из трех термпературных ламп с телом накаливания из вольфрама и окном из сапфира; набор из поглощающих светофильтров для регулирования и контроля температуры; температурная лампа; фотоэлектрический спектроцирометр для видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра; набор термпературных ламп с телом накаливания из вольфрама и окнами из увиоля или сапфира; набор поглощающих светофильтров	600 ... 2300 К	8.186—76	1 ... 2 К	1 ... 4 К
Государственный специальный эталон кельвина — единицы температуры измерения по ультрафиолетовому излучению (для обеспечения единства измерений яркостной температуры)	Модель черного тела с аппаратурой для регулирования и контроля температуры; температурная лампа; фотоэлектрический спектроцирометр для видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра; набор термпературных ламп с телом накаливания из вольфрама и окнами из увиоля или сапфира; набор поглощающих светофильтров	1800 ... 3000 К	8.185—76	1,5 К	1 ... 3,5 К

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения или диапазон измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	исключенная систематическая
Государственный специальный эталон кельвина — единицы температуры плазмы в инфракрасной области спектра	Стабилизированный плазменный излучатель; эталонная измерительная установка с пультом управления	5 000 ... 15 000 К (при длине волны 763,5 нм)	8.168—75	15 К	25 К
Государственный специальный эталон кельвина в минус первой степени (К ⁻¹) — единицы температурного коэффициента линейного расширения	Интерференционный дилатометр для измерений температурных коэффициентов линейного расширения в диапазоне температур 4,2 ... 90 К; вспомогательная аппаратура	$2 \cdot 10^{-8} \dots 2 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$	8.158—75	$5 \cdot 10^{-9} \dots 8 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$	$1 \cdot 10^{-8} \text{ К}^{-1}$
Государственный специальный эталон кельвина в минус первой степени (К ⁻¹) — единицы температурного коэффициента линейного расширения	Два интерференционных дилатометра для измерений температурных коэффициентов линейного расширения в диапазоне температур 90 ... 300 К и 300 ... 1100 К	$(0,1 \dots 25) 10^{-6} \text{ К}^{-1}$	8.018—75	$(3,9 \dots 834) \times 10^{-9} \text{ К}^{-1}$	$(1,8 \dots 834) \times 10^{-9} \text{ К}^{-1}$
Государственный специальный эталон Джоуля — единицы количества теплоты	Калориметрическая установка (водный калориметр с устройством для измерений температуры и стенд для регулирования режима работы калориметра); установка для определения теплотового эквивалента калориметра	26,44 ... 26,47 Дж	8.026—79	$8 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$

6. Измерения тепловых величин

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения для диапазонов измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	исключенная систематическая
Государственный первичный эталон сопротивления на метр-кельвин [Вт/(м·К)] — единицы теплопроводности твердых тел	(средства измерений времени, силы тока и напряжения на электрическом сопротивлении калориметрического сосуда) Калориметрическое устройство (основной и фоновый нагреватели; термометрические термометры); потенциометр с нормальным элементом для измерения силы постоянного тока и падения напряжения в основном на вольтовый блок питания основного нагревателя; регулятор температуры эталонных мер теплопроводности; набор специальных мер теплопроводности из оптического кварцевого и органического стекла	0,1 ... 5 Вт/(м·К) (в диапазоне температур 90...500 К)	8.140—75	$3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Государственный первичный эталон джоуля на килограмм-кельвин [Дж/(кг·К)] — единицы удельной теплоемкости твердых тел (в диапазоне температур 273,15 ... 700 К)	Адиабатический калориметр с нагревателем и платиновым термометром сопротивления; печатающий хронограф для измерений времени выделения энергии в калориметрической бомбе; потенциометры с нормальными элементами для измерений силы постоянного тока и падения напряжения в нагревателе калориметра; специальная мера удельной теплоемкости из корунда	50...2000 Дж/(кг·К)	8.141—75	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения для диапазонов измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	исключенная систематическая
Государственный первичный эталон ампера — единицы силы постоянного электрического тока	Токовые весы (динамическая система и весы с дистанционным управлением); мера электрического сопротивления (эталон сравнения)	$1 \cdot 10^{-12}$... 30 А (значение, воспроизводимое эталоном и неизменяемое во времени, 1,018 646 А)	8.022—75	$4 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$
Государственный первичный эталон вольты — единицы электродвижущей силы и электрического напряжения	Группа переменного состава из 20 насыщенных нормальных элементов; компаратор для сличения нормальных элементов и передачи размера единицы вторичным эталонам	Среднее арифметическое значение ЭДС, наименьшее во времени, 1,018 640 В	8.027—81	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Государственный первичный эталон фарада — единицы электрической емкости	Расчетный конденсатор; интерферометр для определения геометрических размеров электродов; мостовая измерительная установка	Значение изменения электрической емкости 0,400 244 3 · 10 ⁻¹² Ф	8.371—80	$7 \cdot 10^{-7}$	$13 \cdot 10^{-7}$
Государственный первичный эталон ома — единицы электрического сопротивления	Группа из 10 марганитовых катушек электрического сопротивления с номинальным значением 1 Ом; мостовая измерительная установка	Среднее арифметическое значение электрического сопротивления, 1,000 002 Ом	8.028—75	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Государственный первичный эталон генри — единицы индуктивности	Группа из четырех катушек индуктивности; мостовая измерительная установка	Среднее арифметическое значение индуктивности (постоянное во времени)	8.029—80	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$

7. Измерения электрических и магнитных величин

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения или диапазон измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	исключенная систематическая
Государственный первичный эталон ватта — единицы мощности переменного тока в коаксиальных трактах	Измерительная установка с калориметрическим преобразователем мощности переменного тока; набор из трех болометрических преобразователей; измерительная установка из трех калориметров и болометрического моста	0,021 157 0 Гн при частоте 10^6 Гц $1 \cdot 10^{-3} \dots 1$ Вт	8.073—73	$(0,5 \dots 1,5) \cdot 10^{-3}$	$(1 \dots 8) \cdot 10^{-3}$
Государственный специальный эталон вольт на метр (В/м) — единицы напряженности электрического поля (в диапазоне частот 0,15 ... 30 МГц)	Плоский конденсатор; набор симметрирующих трансформаторов; набор антенн-переносчиков; набор специальных термовольтметров	0,1 ... 60 В/м	8.098—73	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$(15 \dots 25) \cdot 10^{-3}$
Государственный первичный эталон вебера (Вб) — единицы магнитного потока	Эталонная катушка магнитного потока; эталонная баллистическая установка	0,010 017 6 Вб (при возбуждающей силе тока 1 А)	8.080—72	$1 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-6}$
Государственный первичный эталон теслы (Тл) — единицы магнитной индукции	Набор из трех эталонных катушек магнитной индукции; установка для измерений силы тока в обмотках эталонных катушек; ядерно-прецессионная установка	Значения магнитной индукции постоянных катушек: 0,576 409 $\cdot 10^{-4}$ Тл; 1,154 87 $\cdot 10^{-4}$ Тл; 7,538 25 $\cdot 10^{-4}$ Тл; $1 \cdot 10^{-2} \dots 1,5$ А \cdot м ²	8.095—73	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$
Государственный первичный эталон ампер —	Четыре катушки; устройство для измерений силы тока; компаратор		8.231—77	$2 \cdot 10^{-4}$	$(3 \dots 5) \cdot 10^{-4}$

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения или диапазон измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	исключенная систематическая
квдратного метра (А \cdot м ²)	магнитного момента; стабилизированные источники постоянного тока				
Государственный первичный эталон беккереля — единицы активности нуклидов	Эталонные установки со счетчиками заряженных частиц и фотонов; эталонная установка с ионизационной камерой для гамма-излучения; эталонная установка с калориметрами для альфа-, бета- и гамма-излучений	$1 \cdot 10^{-1} \dots 3 \cdot 10^{12}$ Бк	8.033—74	$(3 \dots 20) \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Государственный первичный эталон ампера на килограмм (А/кг) — единицы мощности экспозиционной дозы (грн для рентгеновского излучения и одна для гамма-излучения) с эталонными ионизационными камерами в каждой эталонной установке	Четыре эталонные установки для воспроизведения единицы экспозиционной дозы (грн для рентгеновского излучения и одна для гамма-излучения) с эталонными ионизационными камерами в каждой эталонной установке	$2,5 \cdot 10^{-9} \dots 2,5 \times 10^{-2}$ А/кг ($10^{-5} \dots 10^2$) Р/с	8.034—74	$5 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$
Государственный первичный эталон грея (Гр) единицы поглощенной дозы излучения грея в секунду (Гр/с) — единицы мощности поглощенной дозы излучения бета- и нейтронного излучений	Две эталонные установки для воспроизведения единицы поглощенной дозы; одна для бета-излучения с экстраполяционными плоскопараллельными ионизационными камерами; другая для нейтронного излучения с тканезквивалентной и графитовой полостными ионизационными камерами	$1 \cdot 10^{-5} \dots 1$ Гр/с (для бета-излучения); $0,5 \dots 10^3$ нГр/с (для нейтронного излучения)	8.035—74	$1,5 \cdot 10^{-2}$ (для бета-излучения); $2 \cdot 10^{-2}$ (для нейтронного излучения)	$3 \cdot 10^{+2}$ (для бета-излучения); $8 \cdot 10^{-2}$ (для нейтронного излучения)

8. Измерения характеристик низирующих излучений

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения или диапазон измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	исключенная систематическая
Государственный первичный эталон грей (Гр) и грей в секунду (Гр/с) — единиц поглощенной дозы фотонного ионизирующего излучения и мощности дозы	Раднационная установка, создающая коллимированный пучок гамма-излучения кобальта-60; измерительная установка «Фантом-калориметр»; проверочный стенд «Фантом графитовый»	1...10 мГр/с	8.070—73	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$
Государственный первичный эталон зиверта (Зв) — единицы эквивалентной дозы нейтронного излучения и зиверта в секунду (Зв/с) — единицы мощности эквивалентной дозы нейтронного излучения	Тканеэквивалентная и графитовая полостные ионизационные камеры; тканеэквивалентный фантом; прибор для определения среднего коэффициента качества (спектрометр линейных потерь энергии); спектрометр нейтронов	$5 \cdot 10^{-10} \dots 10^{-5}$ Зв/с	8.204—76	$3 \cdot 10^{-2}$	$10 \cdot 10^{-2}$
Государственный первичный эталон обсервля (Бк) — единицы потока нейтронов радионуклидных нейтронных источников	Три установки для воспроизведения и передачи размера единицы методами сопутствующих частиц, активации марганца и золотой фольги	$10^4 \dots 10^9$ Бк	8.031—74	$(1 \dots 1,5) \cdot 10^{-2}$	—
Государственный первичный эталон килограмма на кубический метр	Два набора переменного состава стеклянных пикнометров и поплавок; три установки для гидростатического	$650 \dots 2000$ кг/м ³	8.024—75	$1,2 \cdot 10^{-6}$	—

9. Измерения физико-химических величин

Наименование эталона	Состав эталона	Номинальные значения или диапазон измерений	Номер государственного стандарта	Погрешность	
				случайная	исключенная систематическая
метр (кг/м ³) — единицы плотности жидкости	взвешивания, для заполнения пикнометром под вакуумом и для аттестации пикнометров; аппаратура для измерения плотности воздуха				
Государственный первичный эталон квадратного метра на секунду (м ² /с) — единицы кинематической вязкости жидкости	Набор из 30 стеклянных капиллярных вискозиметров с висязим уровнем; аппаратура для поддержания и измерений температуры жидкости в эталонных вискозиметрах	$4 \cdot 10^{-7} \dots 6 \cdot 10^{-2}$ м ² /с	8.025—75	$5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^{-3}$
Государственный первичный эталон единицы рН	Измерительная установка, состоящая из водородно-хлорсеребряного элемента без переноса ионов, потенциометра с нормальным элементом, гальванометра для измерения электродвижущей силы и термостатирующего устройства; набор буферных растворов, содержащих добавки хлористого натрия	$2 \dots 9$ ед. рН	8.120—74	$(1 \dots 4) \times 10^{-3}$ ед. рН	$(1 \dots 10) \times 10^{-3}$ ед. рН

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 16263—70. Метрология. Термины и определения.— М.: Изд-во стандартов, 1970.
2. Стандарт СЭВ СТ СЭВ 1052—78. Метрология. Единицы физических величин.— М.: Изд-во стандартов, 1978.
3. Методические указания. Внедрение и применение СТ СЭВ 1052—78. Метрология. Единицы физических величин.— М.: Изд-во стандартов, 1979.
4. ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78). Единицы физических величин.— М.: Изд-во стандартов, 1981.
5. МИ 221—80. Методика внедрения СТ СЭВ 1052—78. Единицы физических величин в области измерений давления, силы и теплофизических измерений. ВНИИМС Госстандарта СССР.— М.: Изд-во стандартов, 1981.
6. Государственная служба справочных стандартных данных (ГСССД). ГСССД—1—76. Фундаментальные физические константы.— М.: Изд-во стандартов, 1976.
7. Государственные эталоны и общесоюзные поверочные схемы.— М.: Изд-во стандартов, 1978.
8. СТ СЭВ 543—77. Числа. Правила записи и округления.— М.: Изд-во стандартов, 1978.
9. Международный союз чистой и прикладной физики (J.U.P.A.P.). Комиссия обозначений единиц измерения (S.U.N.Commission). Обозначения, единицы измерения и терминология в физике. Документ U.J.P.20 (1978).— Успехи физических наук, 1979, вып. 2, т. 129, с. 299.
10. Бурдун Г. Д. Справочник по Международной системе единиц.— М.: Изд-во стандартов, 1980.
11. Енохович А. С. Справочник по физике.— М.: Просвещение, 1978.
12. Камке Д., Кремер К. Физические основы единиц измерения.— М.: Мир, 1980.
13. Кипаренко В. И., Обухов А. С. Шестнадцатая Генеральная конференция мер и весов и 68-я сессия МКМВ.— Измерительная техника, 1980, № 2, с. 71—73.
14. Сена Л. А. Единицы физических величин и их размерности.— М.: Наука, 1977.

Глава 1.

Основные термины метрологии и их определения

§ 1.1. Понятие о метрологии	3
§ 1.2. Понятие о физической величине. Значение и размер физической величины	—
§ 1.3. Размерности физических величин	5
§ 1.4. Системы физических величин	6
§ 1.5. Уравнения связи между физическими величинами	7
§ 1.6. Уравнения связи между числовыми значениями физических величин	8
§ 1.7. Наименования, определения и обозначения физических величин (общие положения)	9
§ 1.8. Системы единиц физических величин	—
§ 1.9. Системные и внесистемные единицы. Кратные и дольные единицы	10
§ 1.10. Наименования и обозначения производных единиц физических величин (общие положения)	11
§ 1.11. Понятие об измерении физической величины. Виды измерений	—
§ 1.12. Средства измерений	13
§ 1.13. Эталоны единиц, образцовые средства измерений, образцовые вещества	14
§ 1.14. Погрешность и точность измерений	15
§ 1.15. О правильном использовании терминов метрологии	16

Глава 2.

Применение наименований, обозначений и определений физических величин

§ 2.1. Величины пространства	21
§ 2.2. О правильном применении наименований величин в разделе «Механика»	23
§ 2.3. О правильном применении наименований физических величин в разделе «Теплота»	27
§ 2.4. О правильном применении наименований физических величин в разделе «Электричество». Рационализация уравнений электромагнитного поля	28
§ 2.5. О правильном применении терминов в разделе «Оптика»	31
§ 2.6. О правильном применении наименований и обозначений физических величин в химии	34
§ 2.7. Об определениях физических величин	38
§ 2.8. О применении буквенных обозначений физических величин и индексаций	40

Глава 3.

Единицы физических величин

§ 3.1. Дюметрические единицы физических величин	42
§ 3.2. Метрическая система мер. Метрическая конвенция	43
§ 3.3. Системы единиц СГС	46
§ 3.4. Государственные стандарты на системы единиц в СССР, отмененные с 1 января 1980 г.	48

§ 3.5. Естественные системы единиц	51
§ 3.6. Международная система единиц (подготовка, принятие, развитие)	52
§ 3.7. Государственный стандарт ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) «Единицы физических величин»	56
§ 3.8. Основные единицы СИ и их определения	58
§ 3.9. Дополнительные единицы СИ и их определения	70
§ 3.10. Производные единицы СИ (общие положения)	71
§ 3.11. Размерности и единицы СИ важнейших производных величин про- странства и времени	73
§ 3.12. Размерности и единицы СИ важнейших производных величин перио- дических и связанных с ними явлений	75
§ 3.13. Размерности и единицы СИ важнейших производных механических величин	77
§ 3.14. Размерности и единицы СИ важнейших производных тепловых вели- чин	84
§ 3.15. Размерности и единицы СИ важнейших производных электрических и магнитных величин	88
§ 3.16. Размерности и единицы СИ важнейших производных акустических величин	95
§ 3.17. Размерности и единицы СИ важнейших производных величин опти- ческого излучения	96
§ 3.18. Размерности и единицы СИ важнейших производных величин, при- меняемых в химии и молекулярной физике	102
§ 3.19. Размерности и единицы СИ важнейших производных величин в области нонизирующих излучений	105
§ 3.20. Единицы, не входящие в СИ	110
§ 3.21. Методические указания по правильному применению наименований и определений единиц	112
§ 3.22. Методические указания по правильному применению обозначений единиц	123

Глава 4.

Фундаментальные физические постоянные

Глава 5.

Математические обозначения. Пересчетные номограммы

§ 5.1. Числа	129
§ 5.2. Основные математические обозначения	134
§ 5.3. Пересчет и округление числовых значений величин	—
§ 5.4. Пересчетные номограммы	135

Глава 6.

**Памятка учителю по правильному применению наименований,
обозначений и определений физических величин и их единиц**

§ 6.1. Физические величины	137
§ 6.2. Единицы физических величин	141

Приложение I

Таблица 3.1. Основные единицы СИ	146
Таблица 3.2. Определяющие реперные (постоянные) точки МПТШ-68	149
Таблица 3.3. Вторичные точки отсчета МПТШ-68	151
Таблица 3.4. Дополнительные единицы СИ.	152
Таблица 3.5. Производные единицы СИ, имеющие специальные наименова- ния	153
Таблица 3.6. Спектральная световая эффективность $K(\lambda)$ и относительная спектральная световая эффективность $V(\lambda)$ при различных длинах волн	155
Таблица 3.7. Наименования и обозначения приставок СИ для образования десятичных кратных и дольных единиц и их множители	—

Таблица 3.8. Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ	156
Таблица 3.9. Единицы, временно допускаемые к применению	158
Таблица 3.10. Внесистемные единицы, подлежащие изъятию	160
Таблица 4.1. Значения фундаментальных физических постоянных	165
Таблица 4.2. Энергетические эквиваленты величин	168
Таблица 5.1. Основные математические обозначения	169

Приложение II

1. Производные величины Международной системы (СИ) и их единицы	174
2. Значения в единицах СИ единиц электрических и магнитных величин, выраженных в единицах систем СГС, СГСЭ, СГСМ, СГС ϵ_0 и СГС μ_0	196
3. Неметрические русские единицы	198
4. Неметрические единицы, применяемые в США и Великобритании	199
5. Соотношения между единицами однородных физических величин	203
6. Государственные эталоны СССР единиц физических величин, наиболее широко применяемых в школе	225
Литература	236

Лев Рудольфович Стоцкий
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ЕДИНИЦЫ
СПРАВОЧНИК

Зав. редакцией **Н. В. Хрусталь**
Редактор **Л. С. Мордовцева**
Художник **Л. Е. Безрученков**
Художественный редактор **В. М. Прокофьев**
Технический редактор **С. Н. Терехова**
Корректор **Н. В. Бурдина**

ИБ № 7823

Сдано в набор 12.03.84. Подписано к печати 05.10.84. Формат 60 × 90¹/₁₆. Бумага тип. № 3. Гарнитура литерат. Печать высокая. Усл. печ. л. 15 + форз. 0,25. Усл. кр. отт. 15,69. Уч.-изд. л. 14,69 + форз. 0,45. Тираж 150 000 экз. Заказ № 821. Цена 80 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Саратовский ордена Трудового Красного Знамени полиграфический комбинат Росглавополиграфпрома Государственного комитета РСФСР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. Саратов, ул. Чернышевского, 59.