

М

Г. Д. БУРАЧУН  
В. А. БАЗАКУЦА

КГ

С

ЕДИНИЦЫ  
ФИЗИЧЕСКИХ  
ВЕЛИЧИН

А

К

МОЛЬ

КД

ВЕЛИЧИНА	ЕДИНИЦА				
НАИМЕНОВАНИЕ	РАЗМЕР-НОСТЬ	НАИМЕНОВАНИЕ	ОБОЗНАЧЕНИЕ		ОПРЕДЕЛЕНИЕ
			МЕЖДУ- НАРОДНОЕ	РУССКОЕ	
ДЛИНА	L	МЕТР	m	М	Метр равен 1 650 763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями 2 p <sub>10</sub> и 5 d <sub>5</sub> атома криптона-86
МАССА	M	КИЛО- ГРАММ	kg	КГ	Килограмм равен массе международного прототипа килограмма
ВРЕМЯ	T	СЕКУНДА	s	С	Секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133
СИЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА	I	АМПЕР	A	А	Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия $2 \cdot 10^{-7}$ N
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА	Θ	КЕЛЬВИН	K	К	Кельвин равен 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды
КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА	N	МОЛЬ	mol	МОЛЬ	Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 kg
СИЛА СВЕТА	J	КАНДЕЛА	cd	КД	Кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Hz, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 W/sr

Г.Д. БУРАЧУН  
В.А. БАЗАКУЦА

ЕДИНИЦЫ  
ФИЗИЧЕСКИХ  
ВЕЛИЧИН

СПРАВОЧНИК



ХАРЬКОВ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «ВИЩА ШКОЛА»

1984

УДК 53. 081. 03 (100)

**Единицы физических величин.** Бурдун Г. Д., Базакуца В. А. — Х.: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. — 208 с.

В справочнике приведены единицы Международной системы (СИ), даны наименования, обозначения, определения и рассмотрены вопросы их практического применения. В книге кратко изложены также другие единицы, применявшиеся ранее.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1984 г. Для инженерно-технических и научных работников, преподавателей.

Научные редакторы: канд. техн. наук, доц. *П. Н. Селиванов*, инж. *Н. А. Ерюхина* (НПО ВНИИМ им. Д. И. Менделеева)

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. К. П. Широков инж. *Н. А. Ерюхина* (НПО ВНИИМ им. Д. И. Менделеева)

Редакция научно-технической литературы  
Зав. редакцией *Л. А. Гаврилова*

**Григорий Дмитриевич Бурдун,  
Владимир Арсентьевич Базакуца  
ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

Редактор *Е. П. Иващенко*, художественное оформление *В. Е. Петренко*, художественный редактор *Т. П. Воробийенко*, технический редактор *Л. Т. Ена*, корректоры *Л. М. Забродина*, *Л. А. Марченко*

Информ. бланк № 7586

Сдано в набор 13.07.83. Подп. в печать 05.01.84. БЦ 09002. Формат 60×90/16. Бумага типогр. № 3. Лит. гарн. Вью. печать. 13 печ. л. 13,75 кр.-отт. 15,8 уч.-изд. л. Изд. № 776. Зак. 3-284. Тираж 15 000 экз. Цена 1 р.

Издательство при Харьковском государственном университете издательского объединения «Вища школа», 310003, Харьков-3, ул. Университетская, 16

Харьковская книжная фабрика им. М. В. Фрунзе, 310057, Харьков-57, ул. Донец-Закаржевская, 6/8

Б  $\frac{1704010000-005}{M226(04)-84}$  134—84

© Издательское  
объединение  
«Вища школа»,  
1984

Научно-техническая революция, вызванная бурным развитием науки и техники, и значительное расширение культурных и экономических связей между различными странами мира выдвинули в качестве одной из актуальных и неотложных задач в области метрологии установление единообразия единиц физических величин, их международную унификацию.

Решение этой задачи имеет принципиальное значение, поскольку единицы физических величин необходимы не только для количественной характеристики параметров физических явлений и процессов, свойств веществ и выражения результатов измерений, производимых в науке, технике и практической деятельности, но и для обеспечения строгого соблюдения основных показателей для огромного многообразия выпускаемой продукции, технологических режимов, методов испытаний и контроля, зафиксированных в международных и государственных стандартах.

Обеспечение единообразия используемых в СССР единиц физических величин — один из существенных факторов, способствующих решению больших задач, поставленных XXVI съездом КПСС в области стандартизации, унификации, взаимозаменяемости, повышения производительности труда, направленных на непрерывный рост эффективности производства и кардинальное улучшение качества выпускаемой продукции.

Советское государство с момента своего возникновения уделяло большое внимание проблеме унификации единиц. Одним из первых мероприятий в этом направлении является издание декрета Советского правительства от 11 сентября 1918 г. о введении международной метрической системы мер в нашей стране.

Для удовлетворения потребностей развития науки, техники и народного хозяйства в годы первой пятилетки были введены в действие 11 стандартов на единицы физических величин в области механики, теплоты, акустики, оптики, электричества, рентгеновского излучения и радиоактивности. Эти стандарты, утвержденные в 1932—1934 гг., действовали до 1955 г. Существенным недостатком их было отсутствие единообразия: одни из них базировались на системе единиц МТС, другие — на системе СГС, а третьих за основу были взяты внесистемные единицы. Поэтому в 1955—1958 гг. в СССР были подготовлены и приняты новые государственные стандарты на единицы физических величин, которые основывались главным образом на системе МКС.

Крупным шагом в установлении международного единообразия единиц физических величин было принятие в 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам единой Международной системы единиц (СИ).

В сентябре 1961 г. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР был утвержден ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», которым было предусмотрено ее предпочтительное применение во всех областях науки, техники, народного хозяйства, а также в преподавании.

Научно-технический прогресс, в частности широкое распространение электронно-вычислительной техники, настоятельно побуждали устранить множественность и несогласованность применяемых единиц. Поэтому Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР при широком участии научных учреждений Академии наук СССР, различных министерств и ведомств проводилась работа по практическому внедрению на всей террито-

рии СССР правильно образованной и взаимосвязанной совокупности единиц, приведенной в соответствие с международными рекомендациями.

Одно из важнейших мероприятий этого периода — разработка проекта единого государственного стандарта СССР, основанного на единицах СИ и охватывающего все области науки и техники.

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 марта 1981 г. № 1449 утвержден ГОСТ 8.417—81 «ГСИ. Единицы физических величин», который введен в действие с 1 января 1982 г. Этот стандарт соответствует СТ СЭВ 1052—78 относительно общих положений, единиц Международной системы, единиц, не входящих в СИ, правил образования десятичных кратных и дольных единиц, а также их наименований и обозначений, правил написания обозначений единиц и правил образования когерентных производных единиц СИ.

Справочник построен таким образом, чтобы читатель получил достаточно полную информацию о единицах физических величин, принципах построения систем единиц, о прежних системах единиц и внесистемных единицах, об основных этапах установления Международной системы единиц. Главное внимание здесь уделено рассмотрению основных и важнейших производных единиц СИ, а также особенностям их практического применения.

В связи с тем что большое количество научной и технической литературы, сохранившей свою ценность до сих пор, издано с использованием единиц устаревших систем и внесистемных единиц, в настоящем справочнике приведены сведения о ранее разработанных системах единиц и внесистемных единицах, которые имели более или менее широкое распространение в нашей стране. В ряде случаев сознательно допущены отклонения от некоторых правил, принятых в прежних стандартах. Это касается, например, записи русских обозначений единиц. Если в прежних стандартах обозначения записывались курсивом, то в справочнике в соответствии со стандартом СЭВ (СТ СЭВ 1052—78) «Метрология. Единицы физических величин» они приводятся прямым шрифтом.

В справочнике применяется терминология и определения, предусмотренные ГОСТ 16263—70 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения», а также другими стандартами. Из определений физических величин (которые в настоящее время не стандартизированы) авторы использовали наиболее установившиеся в научной, справочной и учебной литературе.

При составлении справочника были учтены решения о единицах Генеральных конференций по мерам и весам и Международного комитета мер и весов, международные стандарты по единицам ИСО (Международной организации по стандартизации), стандарты СЭВ по единицам физических величин, государственные стандарты на единицы физических величин и их эталоны, а также другие метрологические материалы, опубликованные в последнее время.

Для обеспечения удобства пользования справочником в него включено большое количество таблиц, в приложениях приведены новейшие данные о важнейших универсальных константах, алфавитные указатели единиц физических величин и таблиц и рекомендуемая литература.

Авторы благодарны рецензентам проф. С. С. Волосову, проф. Е. Г. Голоскокову, проф. А. Л. Рвачеву, проф. К. П. Широкову, инж. Н. А. Ерюхиной за их полезные советы и ценные замечания.

Критические замечания и предложения просим направлять по адресу: 310002, Харьков -2, ул. Фрунзе, 21, Харьковский политехнический институт, кафедра общей и экспериментальной физики.

# 1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1 Физические величины и их измерение. Единицы физических величин. Некоторые сведения из метрологии

Многие области деятельности человека и человеческого общества связаны с измерениями физических величин и выражением их через соответствующие единицы.

*Физической величиной* называется свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем, их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Эта индивидуальность понимается в том смысле, что данное свойство может быть для одного объекта в определенное число раз больше или меньше, чем для другого. Качественная и количественная стороны физической величины неразрывно связаны между собой. Поэтому не следует термин «величина» применять только для выражения количественной стороны рассматриваемого свойства. Не рекомендуется, например, писать «величина массы», «величина ускорения», «величина силы», так как масса, ускорение и сила сами являются величинами. В таких случаях следует применять термин «размер величины», который определяется ее значением.

*Размером физической величины* (размером величины) называется количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина».

*Значением физической величины* (значением величины) называется оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Отвлеченное число, входящее в значение физической величины, называется ее *числовым значением*.

Термин «физическая величина» допускается применять для свойств, изучаемых не только в физике, но и в химии или других науках, если для сравнения их количественного содержания в разных объектах требуется применение физических методов.

*Истинным значением физической величины* (истинным значением величины) называется значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

*Действительным значением физической величины* (действительным значением величины) называют значение физической величины, найденное экспериментально и настолько приближающееся

к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Значения физических величин определяются путем измерений и расчетов.

*Измерением* называется нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Измерения физических величин производят, используя определенные физические явления. Совокупность физических явлений, положенных в основу измерений, называется *принципом измерений*. Примером могут служить измерения температуры с использованием термоэлектрического эффекта; измерение массы взвешиванием (использование силы тяжести, которая пропорциональна массе); измерения расхода газа или жидкости по перепаду давления и другие.

Измерение физических величин характеризуется *точностью измерений*, под которой понимается качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям измерений.

Измерения физических величин очень важны для решения разнообразных научных и практических задач. В частности, измерение различных физических величин, характеризующих тот или иной объект, позволяет установить и количественно выразить связи, существующие между ними. Именно таким путем, например, была установлена связь между массой тела, ускорением и вызывающей его силой, известная под названием второго закона Ньютона — важнейшего закона классической механики.

В общем случае связь между физическими величинами отображается *уравнением связи между величинами*:

$$X_{n+1} = k X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} X_3^{\alpha_3} \dots X_n^{\alpha_n}. \quad (1.1)$$

Здесь  $X_i$  — величины ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $\alpha_i$  — отвлеченные положительные или отрицательные числа;  $k$  — числовой коэффициент.

Непременное условие проведения измерений — выбор единиц соответствующих физических величин (в дальнейшем для краткости будем пользоваться термином «единица величины»).

*Единицей физической величины* называется физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное 1.

Каждой единице физической величины присваивается наименование, которое может быть специальным или производным от наименований других единиц.

Единица физической величины характеризуется определенным *размером*, под которым понимается количество физической величины, содержащееся в единице. Единицы некоторой величины могут различаться по своему размеру, например, метр, фут и дюйм, являясь единицами длины, имеют различный размер: 1 фут = 0,3048 м, 1 дюйм = 25,4 · 10<sup>-3</sup> м.

Легко видеть, что числовое значение величины равно отношению между физической величиной и соответствующей единицей. Очевидно, что числовое значение величины зависит от выбора единицы величины. Действительно, обозначив числовое значение величины через  $\{X\}$ , а единицу — через  $[X]$ , по определению, имеем

$$\{X\} = X/[X]. \quad (1.2)$$

Из уравнения (1.2) следует, что

$$X = \{X\} [X]. \quad (1.3)$$

Уравнение (1.3) называется *основным уравнением измерения*. Из этого уравнения следует, что результат измерения  $\{X\} [X]$  будет выражен с помощью единицы  $[X]$ .

Если между физическими величинами существует связь, выражаемая уравнением (1.1), то и между соответствующими единицами существует аналогичная связь, называемая *уравнением связи между единицами*, под которым подразумевают уравнение, где буквенные символы означают единицы физических величин. Общий вид уравнения связи между единицами

$$[X_{n+1}] = \chi [X_1]^{\alpha_1} [X_2]^{\alpha_2} [X_3]^{\alpha_3} \dots [X_n]^{\alpha_n}, \quad (1.4)$$

где  $[X_i]$  — единица величины  $X_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  $\alpha_i$  — отвлеченные положительные или отрицательные числа;  $\chi$  — числовой коэффициент.

Из уравнений (1.1), (1.3), (1.4) вытекает связь между числовыми значениями — *уравнение связи между числовыми значениями величин*, общий вид которого

$$\{X_{n+1}\} = \psi \{X_1\}^{\alpha_1} \{X_2\}^{\alpha_2} \{X_3\}^{\alpha_3} \dots \{X_n\}^{\alpha_n}, \quad (1.5)$$

где  $\{X_i\}$  — числовое значение величины  $X_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ );  $\alpha_i$  — отвлеченное положительное или отрицательное число;  $\psi$  — числовой коэффициент.

Измерения физических величин осуществляются с помощью соответствующих *средств измерений*, т. е. технических средств, используемых при измерениях и имеющих нормированные метрологические свойства (меры, измерительные приборы, измерительные установки и др.).

Под *мерой* подразумевается средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Например, гиря является мерой массы, измерительный резистор — мерой электрического сопротивления; температурная лампа — мерой яркостной или цветовой температуры; пьезокварцевый генератор — мерой частоты электрических колебаний и т. д.

Существует большое разнообразие средств измерений. Среди них особое место занимают эталоны единиц. *Эталон единицы* (эталон) называется 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.

Примерами эталонов могут служить платиноиридиевая гиря № 6, утвержденная в качестве эталона — копии килограмма; группа из шести одноомных манганиновых резисторов, утвержденная в качестве первичного эталона ома; комплекс средств воспроизведения метра через длину световой волны, утвержденный в качестве первичного эталона метра.

Существует много различных типов и видов эталонов. Они служат для проверки *образцовых средств измерений*, представляющих собой меры, измерительные приборы или измерительные преобразователи, утвержденные в качестве образцовых и служащие для проверки по ним других средств измерений, например *рабочих средств измерений*, применяемых для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Меры бывают однозначными и многозначными. *Однозначной* называют меру, воспроизводящую физическую величину одного размера. Такими мерами являются, например, гиря, плоскопараллельная концевая мера длины, измерительная колба, измерительный резистор, нормальный элемент, конденсатор постоянной емкости. *Многозначной* мерой называется мера, воспроизводящая ряд одноименных величин различного размера. Многозначными мерами являются, например, линейки с миллиметровыми делениями, вариометр индуктивности, конденсатор переменной емкости.

Существенное значение имеет обеспечение *единообразия средств измерений*, т. е. состояния средств измерений, характеризующегося тем, что они проградуированы в узаконенных единицах и их свойства соответствуют принятым нормам.

Измерения физических величин подразделяются на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

*Прямыми* называются такие измерения, при которых искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. К ним относятся измерения массы на циферблатных или равноплечных весах, температуры термометром, длины с помощью линейных мер и т. д.

*Косвенными* называются измерения, при которых искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Примерами косвенных измерений могут служить определение плотности однородного тела по его массе и геометрическим размерам; установление удельного электрического сопротивления проводника по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения.

*Совкупными* называются производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин. Таким способом, например, определяют массы отдельных гирь на

бора по известной массе одной из них и по результатам измерений масс различных сочетаний гирь.

*Совместными* называются производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними. Примером таких измерений могут служить измерения, при которых электрическое сопротивление при температуре 20 °С и температурные коэффициенты измерительного резистора находят по данным прямых измерений его сопротивления при различных температурах.

Измерения подразделяют также на абсолютные и относительные.

*Абсолютным* называется измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин (1.2) и использовании значений физических констант. Например, измерение давления при помощи грузопоршневого манометра как отношения силы тяжести грузов, наложенных на поршень, к площади поперечного сечения этого поршня в условиях равновесия; измерение ускорения силы тяжести, основанное на измерении пути, пройденного свободно падающим телом, и соответствующего времени.

*Относительным* называется измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

При выполнении измерений большое внимание уделяется обеспечению *единства измерений* т. е. такого состояния измерений, при котором результаты выражения в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

Совокупность приемов использования принципов и средств измерений называется *методом измерений*. В ГОСТ 16263—70 зафиксированы следующие методы измерений.

*Метод непосредственной оценки* — это метод измерений, в котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия. Примерами этого метода являются измерения давления пружинным манометром, массы на циферблатных весах, силы электрического тока амперметром.

*Метод сравнения с мерой* (метод сравнения) — метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. К этому методу относится измерение массы на рычажных весах с уравновешиванием гирями; измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнения с э. д. с. нормального элемента.

*Метод протипоставления* — разновидность метода сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами. Примером этого метода может служить определение массы на равноплечных весах по массе уравновешивающих ее гирь, наложенных на другую чашку весов.

*Дифференциальный метод* — разновидность метода противопоставления. В нем на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой. Этим методом выполняют измерения при поверке мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторе.

*Нулевой метод* — это разновидность метода сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. Таким методом, например, проводят измерения электрического сопротивления мостом с полным его уравновешиванием.

*Метод замещения* — разновидность метода сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Таким методом, например, производится взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гири на одну и ту же чашку весов.

*Метод совпадений* — разновидность метода сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов. Заметим, что под *сигналом* подразумевается физическая величина, полученная в результате преобразования измеряемой величины и отображающая ее в условной форме. Так, сигналом является электрический ток на выходе измерительного преобразователя или отклонение указателя измерительного прибора. Этот метод используют, например, для измерения длины с помощью штангенциркуля с нониусом. При этом наблюдают совпадение отметок на шкалах штангенциркуля и нониуса.

С усложнением измерений и расширением их многообразия возникла самостоятельная отрасль науки — метрология. Это название произошло от греческих слов: «метрон» — мера и «логос» — учение. *Метрология* — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

К основным проблемам метрологии относятся: общая теория измерений; единицы физических величин и их системы; методы и средства измерений; методы определения точности измерений; основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений; эталоны и образцовые средства измерений; методы передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений. Основными разделами этой науки являются теоретическая, прикладная и законодательная метрологии.

*Теоретическая метрология* — это раздел метрологии, посвященный общим теоретическим проблемам: теории измерений, методам обработки результатов измерений с целью оценки их точности, теории величин и единиц, теории воспроизведения и передачи размеров единиц и т. п.

*Прикладная метрология* — раздел метрологии, рассматривающий приложения метрологии для практических измерений и для обеспечения единства измерений.

*Законодательная метрология* — раздел метрологии, включающий комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, требований и норм, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений.

Как и любая другая наука, метрология возникла и развивалась под влиянием практических потребностей человеческого общества. Научно-технический прогресс, естественно, ставит все более сложные задачи перед метрологией.

В Советском Союзе развитию метрологии всегда уделялось большое внимание, и поэтому советская метрология занимала и занимает ведущее место в мире. В нашей стране самая богатая эталонная база, которая включает наиболее полные и высококачественные комплексы эталонов механических, электрических, теплофизических, оптических и других величин.

В утвержденных XXVI съездом КПСС «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» записано: «Совершенствовать стандарты и технические условия на готовую продукцию, комплектующие изделия, материалы и сырье в соответствии с требованиями потребителей». Решение этой задачи, основанное на использовании новых стандартов на единицы физических величин, применении более надежных и точных приборов в процессе производства, учета и контроля за качеством продукции, будет способствовать успешной реализации задач 11-й пятилетки по обеспечению высокого качества выпускаемой продукции и повышению эффективности производства.

Все это тесно связано с дальнейшим возрастанием значения метрологии и совершенствованием метрологического обеспечения в нашей стране.

## **1.2. Основные и производные физические величины.**

### **Размерности производных физических величин.**

### **Систематизация единиц. Основные и производные единицы. Внесистемные, кратные и дольные единицы**

Связи между физическими величинами, выражаемые уравнениями типа (1.1), закономерны, так как они в математических символах объективно отражают взаимную связь между различными формами движения материи.

Совокупность физических величин, рассматриваемых как обобщенные физические свойства и связанных между собой зависимостями, называется *системой физических величин* (системой величин).

Для проведения анализа закономерных связей между физическими величинами, находящимися в функциональной зависимости друг от друга, систему величин подразделяют на основные и производные.

*Основной физической величиной* (основной величиной) называется физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы. Примерами таких величин служат длина  $l$ , масса  $m$  и время  $t$ .

*Производной физической величиной* (производной величиной) называется величина, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы. Такой величиной в механике является, например, скорость  $v$ , если длина и время выбраны в качестве основных величин системы.

Выбор основных величин системы позволяет определять размерность остальных величин, входящих в систему. Под *размерностью физической величины* (размерностью величины) понимается выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в котором коэффициент пропорциональности принят равным единице. Размерность величины представляет собой произведение основных величин, возведенных в соответствующие степени.

Согласно СТ СЭВ 1052—78 размерности физических величин обозначаются заглавными буквами латинского алфавита прямым шрифтом.

Если в качестве основных величин в механике выбирают длину, массу и время, а их размерности условно обозначают буквами  $L$ ,  $M$ ,  $T$  соответственно, то размерность производной величины системы  $LMT$  будет выражаться произведением размерностей основных величин, возведенных в соответствующие степени, показывающие, как увеличивается или уменьшается размер производной величины при изменении размеров основных величин.

Размерность величин обозначается  $\dim$  (от слова dimension — размер, размерность, измерение). Размерность скорости в системе  $LMT$  может быть получена из формулы скорости для равномерного и прямолинейного движения  $v = l/t$ . Она будет выражаться соотношением  $\dim V = LT^{-1}$  (1.6). Величина, в размерности которой хотя бы одна из основных величин возведена в степень, не равную нулю, называется *размерной физической величиной*.

*Безразмерной физической величиной* называется величина, в размерность которой основные величины входят в степени, равной нулю. Следует иметь в виду, что величина, безразмерная в одной системе величин, может быть размерной в другой системе.

Если какая-нибудь физическая величина системы выражается через длину, массу и время, выбранные в качестве основных, то формула для этой величины может быть записана в виде  $X = kl^p m^q t^r$  (1.7). Очевидно, что размерность этой величины запишется следующим образом:  $\dim X = L^p M^q T^r$  (1.8). Иногда размерностью производной величины  $X$  называют совокупность показателей степени  $p$ ,  $q$  и  $r$ , которые могут быть положительными или отрицательными, любыми целыми или дробными числами. В соответствии с ГОСТ 16263—70 показатели степени, в которые возведены размерности основных величин, входящие в размерность производной величины, называются *показателями физической величины* (показатели размерности).

Согласно уравнению (1.3) любая физическая величина может быть представлена в виде произведения ее числового значения  $\{X\}$  на единицу  $[X]$ , следовательно, уравнение (1.7) можно переписать в виде

$$\{X\} [X] = \{l\}^p \{m\}^q \{t\}^r [l]^p [m]^q [t]^r. \quad (1.9)$$

Это уравнение, как было указано выше, распадается на уравнение связи между числовыми значениями величин

$$\{X\} = \{l\}^p \{m\}^q \{t\}^r \quad (1.10)$$

и уравнение связи между единицами

$$[X] = [l]^p [m]^q [t]^r. \quad (1.11)$$

Последнее и явилось основанием для деления единиц физических величин на основные и производные, которые, как и физические величины, образуют соответствующую систему.

*Основной единицей физической величины* (основной единицей) называется единица основной физической величины, выбранная произвольно при построении системы единиц. Например, в системе единиц МКС, соответствующей системе с основными величинами *длина, масса и время*, основными единицами являются метр, килограмм и секунда.

*Производной единицей* называется единица соответствующей производной величины системы, образуемая по определяющему эту единицу уравнению из основных и других ранее образованных производных единиц данной системы единиц. *Определяющие уравнения* для установления производной единицы, вообще говоря, выбираются произвольно. Но предпочтение отдают наиболее простым уравнениям, в которых физические величины связаны между собой операциями умножения или деления.

Если производная единица образована по уравнению между единицами, в котором числовой коэффициент принят равным 1, то она называется *когерентной производной единицей физической величины* (когерентная единица). Примером когерентной единицы в системе МКС может служить единица скорости 1 м/с, образованная по уравнению между единицами  $[v] = [l] [t]^{-1}$  (1.12), где  $[l] = 1 \text{ м}$ ;  $[t] = 1 \text{ с}$ .

*Системой единиц физических величин* (системой единиц) называется совокупность основных и производных единиц, относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами.

*Когерентной системой единиц физических величин* (когерентной системой единиц) называется система единиц, все производные единицы которой когерентны.

*Системной единицей физической величины* (системной единицей) называется основная или производная единица системы единиц. В когерентной системе единиц системными являются основные и когерентные производные единицы.

Выбор основных и производных единиц, а также их систем тесно связан с выбором основных и производных величин и их систем, который в значительной мере является произвольным. Некоторые специалисты считают введение основных и производных, размерных и безразмерных величин необоснованным и нецелесообразным, поскольку такая классификация, по их мнению, не имеет глубокого физического смысла. С их точки зрения, подобная классификация справедлива только для единиц. Основными производными величинами можно назвать величины, измеряемые соответственно с помощью основных и производных единиц.

Вообще говоря, единицы величин можно устанавливать совершенно произвольно, независимо от выбора других единиц. Из истории метрологии известно много примеров, когда единицы длины, площади, объема и других величин устанавливались независимо друг от друга. Это создавало серьезные научные и практические трудности. Впоследствии была показана нецелесообразность бессистемного выбора единиц. Наиболее разумным оказался выбор связанных между собою единиц, в которых только немногие (основные) выбирались произвольно, а остальные (производные) устанавливались на основе существующих закономерных связей между физическими величинами.

Наряду с установлением системных единиц, были введены и получили широкое распространение *внесистемные единицы физических величин*, т. е. единицы, не входящие ни в одну из систем единиц. К ним относятся, например, единица массы — карат, единица мощности — лошадиная сила и многие другие.

Для обеспечения больших удобств в проведении измерений физических величин или их расчетов были введены кратные и дольные единицы.

*Кратной единицей* называется единица, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы. Поэтому кратную единицу получают умножением исходной единицы на целое число. Например, кратная единица времени получается из секунды умножением на 60 (1 мин = 60 с), кратная единица длины километр получается умножением метра на 1000 и т. д.

*Дольной единицей физической величины* (дольной единицей) называется единица, в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы. Например, дольная единица времени микросекунда в  $10^6$  раз меньше исходной — секунды (1 микросекунда =  $10^{-6}$  секунды), дольная единица массы миллиграмм в  $10^3$  раз меньше грамма (1 миллиграмм =  $10^{-3}$  грамма) и т. д.

Для практических и теоретических целей очень удобно образование кратных и дольных единиц, когда кратную или дольную единицу получают из исходной умножением на число 10 с целым положительным или отрицательным показателем степени.

Использование кратных и дольных единиц удобно для производства ряда практических измерений.

Как правило, наименования кратных и дольных единиц получают прибавлением соответствующих приставок к наименованиям исходных единиц с учетом соответствующих правил, которые будут рассмотрены ниже.

### **1.3. Принципы построения рациональных систем единиц. О переходе от единиц одной системы к единицам другой**

Установление системы единиц, которая обладала бы внутренним единством построения, охватывала бы все области измерений и удовлетворяла бы всем требованиям практики измерений, является сложной метрологической задачей. Успешное решение ее осуществлено построением и принятием Международной системы единиц (СИ).

Впервые общий принцип построения систем единиц был сформулирован известным немецким ученым К. Гауссом (1777—1855 г.) в работе «Напряжение земной магнитной силы, приведенное к абсолютной мере», вышедшей в свет в 1832 г. Выбрав в качестве основных единиц длину, время и массу, Гаусс показал, что остальные единицы физических величин можно установить, используя закономерные связи между физическими величинами.

Плодотворность принципа, высказанного Гауссом, обусловлена, с одной стороны, взаимосвязью всех явлений природы, которая выражает единство материального мира, а с другой — удачным выбором основных единиц. Выбор в качестве основных единиц длины и времени хорошо согласуется с тем, что материальный мир существует в пространстве и времени. Что касается массы, то она является одной из важнейших характеристик материальных объектов.

Указанный выбор основных единиц, произведенный Гауссом, не является однозначным решением проблемы выбора основных единиц. Более того, из-за бесконечного разнообразия материальных объектов и форм их движения, естественно, существует и бесконечное многообразие возможных комбинаций основных величин и систем единиц, построенных на их основе.

Из принципа Гаусса следует, что особенно важное значение для построения рациональной системы единиц имеет разумный выбор основных величин, а также отбор тех функциональных зависимостей между физическими величинами, которые должны служить определяющими для установления производных единиц системы.

Рациональность системы единиц определяется тем, в какой степени она удовлетворяет важнейшим требованиям практики, т. е. тем, насколько удобна она для проведения измерений физических величин, выполнения теоретических исследований и облегчения технических расчетов.

К многочисленным и зачастую противоречивым требованиям практики в первую очередь относятся следующие.

А. Число основных величин, которые, как отмечено выше, выбираются произвольно и независимо друг от друга, должно быть оптимальным. Это требование связано с тем, что увеличение числа основных величин, а следовательно, и основных единиц приводит к росту количества размерных коэффициентов в уравнениях связи между физическими величинами, а это усложняет теоретические исследования и технические расчеты.

Действительно, всякая система единиц в современном понимании строится на основе функциональных связей между физическими величинами типа (1.1), из которых вытекают уравнения связи между единицами (1.4), следовательно, с увеличением числа основных единиц возрастает количество размерных коэффициентов. Они приобретают характер универсальных констант, затрудняющих расчеты и требующих значительных усилий по точному определению их значений. Поэтому нежелательно увеличивать число универсальных констант.

Вместе с тем уменьшение числа основных единиц сопровождается ростом количества производных единиц величин, обладающих одинаковыми размерностями, что, естественно, вызывает практические трудности.

Б. Выбор определяющих уравнений, используемых для установления производных единиц, должен обеспечивать возможность построения когерентной системы единиц.

*Когерентной* является такая система, в которой производные единицы образованы по уравнениям связи между единицами (1.4) с числовыми коэффициентами, равными 1. В этом случае уравнения связи между числовыми значениями величин (1.5) по форме будут идентичными уравнениям связи между величинами (1.1).

Произвольность выбора определяющих уравнений позволяет построить их систему таким образом, что в нее будут входить только независимые и совместные уравнения, в которых все физические величины связаны друг с другом операциями деления или умножения. При этом определяющие уравнения располагают в последовательности, которая позволяет выражать новую производную единицу через основные и производные единицы, установленные с помощью предыдущих определяющих уравнений.

В. Важным практическим требованием, предъявляемым к основным единицам, является обеспечение возможности вещественного представления единицы с помощью эталона, обладающего неизменностью с течением времени, воспроизводимостью и максимальной точностью, допустимой достигнутым уровнем измерительной техники

Воспроизводимость эталона в случае его утраты должна обеспечиваться теоретическим определением единицы, однозначно и исчерпывающе выражающим ее физическую сущность.

Г. Основные и производные единицы системы должны иметь

размер, удобный для выполнения измерений физических величин, часто встречающихся на практике.

Д. Для обеспечения единства измерений необходимо, чтобы для каждой физической величины была установлена только одна единица.

Из этого далеко не полного перечня практических требований, предъявляемых к системам единиц, видно, что построить идеальную систему единиц, полностью удовлетворяющую одновременно всем требованиям, невозможно. Однако разумный компромисс между этими требованиями дает возможность создать рациональную систему единиц, приемлемую для практических целей.

Решить такую задачу сравнительно просто для каждой области измерений в отдельности. Поэтому в прошлом когерентные системы единиц обычно разрабатывались для каждой специфической области измерений, что позволяло в максимальной степени удовлетворить практическим требованиям, но вместе с тем приводило к нарушению логической связи между единицами в различных областях и даже к использованию большого многообразия единиц одних и тех же величин. Это создавало серьезные практические и теоретические затруднения. Положение усугублялось существованием и использованием в каждой отдельной области измерений нескольких систем единиц. Возникла сложная проблема перевода единиц одной системы в другую. В зависимости от характера построения систем единиц такой переход осуществлялся по-разному.

Наиболее простой переход от единиц одной системы к единицам другой наблюдается в случае, когда обе системы построены с помощью одних и тех же основных величин и при построении обеих систем использована одна и та же система определяющих уравнений. Тогда размерности однородных величин совпадают, различаются лишь размеры их единиц. Соотношения между ними (коэффициенты пересчета) устанавливаются с помощью несложных расчетов.

Если определяющие уравнения в обеих системах единиц одинаковы, а величины, на которых строятся основные единицы, разные, возникает необходимость в экспериментальном установлении соотношений между теми единицами, которые в одной системе являются основными, а в другой — производными. Подробно и конкретно вопрос о переходе от единиц одной системы к единицам другой рассмотрен ниже.

Следует иметь в виду, что значение размерностей величин не ограничивается только установлением связи между физическими величинами и их единицами. Поскольку правая и левая части любого уравнения связи между физическими величинами должны иметь одинаковую размерность, формулы размерности широко используются для проверки правильности записи уравнений (в частности, при выполнении конкретных расчетов, решении задач и т. д.). Если размерности обеих частей уравнений не совпадают, значит, эти уравнения записаны неправильно. Конечно, их совпадение еще не означает правильности записи уравнений.

Анализ размерностей в ряде случаев позволяет сравнительно простым способом устанавливать функциональные зависимости между величинами (метод размерностей). По сути, этот метод основан на существовании определенных масштабных соотношений между величинами, проявляющихся в требовании совпадения размерностей правой и левой частей уравнений.

## 2

## МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА МЕР

### 2.1. Метрическая система мер

Разработка и внедрение Метрической системы мер — это первый шаг по устранению множественности единиц физических величин и воспроизводящих их мер, которая тормозила развитие промышленности и торговли.

В период французской буржуазной революции по настоянию торгово-промышленных кругов Национальное Собрание Франции 31 марта 1791 г. приняло подготовленное Специальной комиссией, в состав которой входили известные французские ученые того времени (Лаплас, Лагранж, Борда, Кондорсе, Монж и др.), предложение о введении в качестве единицы длины метра, равного одной десятиллионной доле четверти земного меридиана. Эта единица длины была окончательно утверждена 10 декабря 1799 г., став основой метрической системы. В качестве ее прототипа (первоначального эталона) был избран платиновый стержень. Второй единицей Метрической системы явилась единица массы — килограмм, которая первоначально равнялась массе в вакууме кубического дециметра воды при ее наибольшей плотности ( $4^{\circ}\text{C}$ ) в месте, находящемся на уровне моря и на широте  $45^{\circ}$ . Прототипом этой единицы служила платиновая гиря. Прототипы метра и килограмма хранятся в Национальном Архиве Франции и называются «метр Архива» и «килограмм Архива» соответственно.

Важным достоинством Метрической системы мер была ее десятичность, так как дольные и кратные единицы согласно принятым правилам образовывались в соответствии с десятичным счетом с помощью десятичных множителей, которым соответствуют приставки деци, санти, милли, дека, гекто и кило.

Международная дипломатическая конференция семнадцати государств (Россия, Франция, Англия, США, Германия, Италия и др.) 20 мая 1875 г. приняла Метрическую конвенцию, в которой Метрическая система мер признавалась международной, утверждались прототипы метра и килограмма. Конференцией было учреждено Международное бюро мер и весов, основной задачей которого было обеспечение единства измерений в международном масштабе, и об-

разован Международный комитет мер и весов, который осуществлял научное руководство этой работой, подготавливал и проводил Генеральные конференции по мерам и весам (ГКМВ). Первая из них была проведена в 1889 г.

В результате больших усилий, приложенных Главным хранителем Палаты мер и весов великим русским ученым Д. И. Менделеевым — горячим сторонником Метрической системы мер, в России 4 июля 1899 г. был принят закон, по которому с января 1900 г., разрешалось Метрическую систему применять «наравне с основными российскими мерами». Но только после Великой Октябрьской социалистической революции декретом Совета Народных Комиссаров от 11 сентября 1918 г. в нашей стране была официально введена Метрическая система мер. Полный переход к метрической системе был завершён к 1 января 1927 г. В период с 1927 по 1934 г. Комитет стандартизации при Совете Труда и Обороне утвердил первые советские стандарты на физические величины: ОСТ 169, ОСТ ВКС 6052, ОСТ ВКС 6053 — на механические единицы; ОСТ 515 — на электрические единицы; ОСТ 516 — на метрические меры; ОСТ ВКС 5010 — на единицы давления; ОСТ 5037 — на единицы частоты, ОСТ ВКС 6954 — на международную температурную шкалу; ОСТ ВКС 7132 — на единицы времени; ОСТ ВКС 5578 — на абсолютные магнитные единицы электромагнитной системы СГС; ОСТ 4891 — на световые единицы; ОСТ ВКС 6259 — на тепловые единицы; ОСТ ВКС 7623 — на единицы рентгеновского излучения; ОСТ ВКС 7159 — на единицы радиоактивности, а также некоторые другие.

После завершения в 1934 г. большой и важной работы по разработке и утверждению стандартов на единицы физических величин для всех областей науки и техники была поставлена задача их совершенствования и устранения существенных недостатков, которые были присущи этим стандартам. Главный недостаток состоял в том, что стандарты для различных областей применения основывались на разных системах единиц. Эта задача решалась под руководством Комитета по делам мер и измерительных приборов при СНК СССР, организованного в сентябре 1938 г.

В послевоенный период основные усилия направлялись на разработку стандартов, построенных на базе единой системы единиц. С 1955 по 1958 г. Комитет стандартов мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР утвердил новые ГОСТы на единицы для всех областей измерений. Установление новых стандартов происходило в период разработки Международной системы единиц, являющейся современной формой Метрической системы, которая базируется на системе МКСА. Поэтому и новые стандарты в своей основе исходили из этой системы. Как и в СИ, в стандартах произведено четкое разграничение единицы массы (килограмма) и единицы силы (ньютон), отсутствие которого до этого часто вызывало путаницу между единицей силы в системе МКГСС и единицей массы в системе МКС.

18 сентября 1961 г. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР утвержден ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», разработанный в соответствии с решениями XI Генеральной конференции по мерам и весам. Этот стандарт был введен в действие с 1 января 1963 г. Им официально утверждалось сокращенное обозначение Международной системы единиц русскими буквами СИ (латинскими SI) и устанавливалось, что СИ должна применяться в качестве предпочтительной во всех областях науки, техники и народного хозяйства, а также в преподавании. В стандарте было приведено шесть основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина, свеча), две дополнительные единицы (радиан и стерадиан) и 27 производных единиц.

Важным обстоятельством, содействующим введению СИ, было одновременное установление новых эталонов, разработанных с использованием более совершенных теоретических определений единиц. Это позволило взять новые эталоны из природы, что дало возможность полностью восстановить их в случае утраты. Новые эталоны обладали наивысшим уровнем точности воспроизведения единиц, полностью удовлетворявшим запросы науки и техники.

Внедрение СИ во все области науки, техники и производства способствовало дальнейшему подъему народного хозяйства нашей страны, поэтому Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР осуществил систему мероприятий по введению единиц СИ в государственные стандарты, нормативную документацию и измерительную технику.

Объединение научно-технических издательств (ОНТИЗ) Государственного комитета Совета Министров СССР по координации научно-исследовательских работ также осуществило необходимые меры по внедрению СИ в научные издания и провело широкую популяризацию этой системы.

Важнейшим этапом перехода на единицы СИ явилась соответствующая перестройка преподавания физики, химии, астрономии и технических дисциплин в учебных заведениях страны. По линии министерств просвещения и высшего и среднего специального образования была проведена большая работа по обеспечению применения Международной системы единиц как предпочтительной при чтении лекций, проведении практических и лабораторных занятий. В учебниках и учебных пособиях начиная с 1 января 1963 г. преимущественно применялась СИ.

Наряду с проблемой переучивания кадров переход на единую систему единиц потребовал замены большого количества измерительной аппаратуры, разработки новой технической документации и выполнения ряда других мероприятий, осуществление которых, естественно, не должно было сопровождаться нарушением налаженных производств и поэтому проходило постепенно и в разумные сроки.

Внедрение единиц СИ остается важной государственной задачей, полное решение которой в приемлемые сроки требует дальнейший научно-технический прогресс в нашей стране.

Учитывая большую работу, проведенную в стране по пропаганде, изучению и внедрению СИ после введения ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», Комитет стандартов мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР в 1965 г. принял решение о развертывании мероприятий по переходу от предпочтительного применения единиц СИ к их обязательному применению. Среди этих мероприятий важное место заняла подготовка единого стандарта на допускаемые к применению в СССР единицы физических величин. Подготовка проекта этого стандарта была поручена Всесоюзному научно-исследовательскому институту метрологии (ВНИИМ). Разработанный этим ведущим в СССР метрологическим институтом проект был рассмотрен и отредактирован комиссией из представителей Комитета стандартов, научно-исследовательских институтов — ВНИИМ, ВНИИФТРИ, ВНИИК и Комитета ВСНТО по стандартизации и после одобрения Комитетом стандартов представлен для ознакомления широкому кругу ученых, инженерно-технических работников и заинтересованных организаций.

Одновременно Комитет стандартов рекомендовал начать практическое внедрение проекта стандарта.

## **2.2. Краткая история создания Международной системы единиц (СИ)**

Интенсивное развитие промышленности и науки, а также расширение торговых связей между различными государствами в XIX в. явились основными причинами, стимулировавшими создание и прогресс метрологии как науки и постановку в качестве основной ее проблемы создание единой международной системы единиц, которая охватывала бы все области измерений.

Первоначальными этапами в решении этой проблемы были установление и международное распространение Метрической системы мер и весов, разработка научных основ построения систем взаимосвязанных единиц физических величин, характеризующих широкий круг явлений природы, создание и практическое внедрение систем СГС, МКГСС, МТС, МКС и др. Многие из этих систем единиц имели ограниченную область применения и не были взаимосвязаны друг с другом. Одновременно с созданием систем единиц в результате стремления обеспечить максимальные удобства для измерения и записи значений тех или иных физических величин в ряде отраслей науки и техники появилось большое количество разнообразных внесистемных единиц. Из-за этого сложилось такое положение, что для одной и той же величины использовалось большое количество разных единиц (например, для силы применялось более 10 единиц, для энергии и работы — свыше 30, для давления — 18 единиц

и т. д.). Это вызывало существенные практические неудобства, так как возникла потребность в установлении большого количества переходных коэффициентов для перевода единиц из одной системы в другую. К тому же точность воспроизведения единиц сильно различалась, что вносило дополнительную путаницу и создавало большие трудности в проведении научных исследований, в преподавании, а также при решении конкретных технических задач.

Практические потребности побуждали к проведению мероприятий по устранению многообразия систем единиц и внесистемных единиц, становившегося все большим тормозом в развитии науки, техники и экономики.

Важнейшую роль в осуществлении унификации единиц физических величин сыграла Международная организация стран, подписавших в 1875 г. Метрическую конвенцию с целью «обеспечения международного единства и совершенствования метрической системы». К ней в настоящее время присоединилось более 40 стран мира, среди которых большинство крупнейших государств. Существенный вклад в решение этой проблемы внесли Международный союз чистой и прикладной физики, Международный союз чистой и прикладной химии, Международный конгресс электриков, Международная электротехническая комиссия, Международная организация по стандартизации (ИСО) и другие, а также национальные метрологические организации.

V Генеральная конференция по мерам и весам в 1913 г. предложила Международному комитету мер и весов рассмотреть возможность создания международной унифицированной системы единиц на базе системы МКСА. В 1948 г. IX Генеральная конференция по мерам и весам в ответ на обращение Международного союза чистой и прикладной физики о принятии для международных сношений практической международной системы единиц поручила Международному комитету мер и весов путем изучения мнений научной, технической и педагогической общественности различных стран представить рекомендации по установлению единой практической системы единиц, которая могла бы быть принята всеми странами, подписавшими Метрическую конвенцию.

Уже в 1954 г. X Генеральная конференция по мерам и весам решила принять в качестве основных единиц для международных сношений следующие шесть единиц: единицу длины — метр, единицу массы — килограмм, единицу времени — секунду, единицу силы тока — ампер, единицу термодинамической температуры — градус Кельвина, единицу силы света — канделу (свечу).

В том же году Международный комитет мер и весов образовал Комиссию по системе единиц в составе семи членов Международного комитета и директора Международного бюро мер и весов, предложив ей подвести итоги опроса стран по проекту международной унификации единиц и разработать рекомендации по созданию системы единиц. Комиссия, действовавшая в течение 10 лет (1954—1964 гг.), разработала проект единой системы единиц с наи-

менованием «Международная система единиц» (1956 г.), подготовила рекомендации о сокращенном обозначении наименования системы двумя буквами SI и образовании кратных и дольных единиц (1958 г.). Комитет принял резолюцию, подготовленную Комиссией, о списке дополнительных и производных единиц и о наименовании системы. Резолюция получила полную поддержку Международного комитета законодательной метрологии, принявшего следующее постановление: «Международный комитет законодательной метрологии, собравшись на пленарное заседание 7 октября 1958 г. в Париже, объявляет о присоединении к резолюции Международного комитета мер и весов об установлении Международной системы единиц (SI). Основными единицами этой системы являются метр — килограмм — секунда — ампер — градус Кельвина — кандела.

Комитет рекомендует государствам — членам организации принятие этой системы в законодательстве о единицах измерений».

Рассмотрев доклад Комиссии по системе единиц, XI Генеральная конференция по мерам и весам, проходившая с 11 по 20 октября 1960 г. в Париже, приняла резолюцию об окончательном утверждении решения Международного комитета мер и весов по установлению единой системы единиц с присвоением ей наименования «Международная система единиц» и сокращенного обозначения «SI» (от начальных букв слов *Système International*). Решением XI Генеральной конференции по мерам и весам утверждены список основных, дополнительных и производных единиц, приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц, приняты новые определения метра и секунды, уточнена редакция Положения о Международной практической температурной шкале.

В 1964 г. Комиссия по системам единиц представила на XII Генеральную конференцию по мерам и весам ряд предложений по единицам: о приравнивании одного литра одному кубическому дециметру; о единице интервала температур и ряд других, принятых конференцией. В 1964 г. Международный комитет мер и весов вместо Комиссии по системе единиц организовал Консультативный комитет по единицам, так как основная работа по созданию унифицированной системы единиц к этому времени была завершена.

Принятие Международной системы единиц явилось итогом большой подготовительной работы, выполненной рядом международных и национальных метрологических организаций и учреждений по унификации и уточнению единиц физических величин. Несомненные достоинства Международной системы единиц обеспечили ее быстрое международное признание и широкое распространение. Международная организация по стандартизации (ИСО) рекомендовала применять единицы Международной системы (рекомендация ИСО R—31). Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) также пригласила все страны — члены организации — принять Международную систему единиц. Система рекомендована к применению Международным союзом чистой и прикладной физики, Международной электро-

технической комиссией, Международным газовым конгрессом и другими важнейшими международными научно-техническими организациями.

В настоящее время почти все страны приняли Международную систему единиц в законодательном порядке. Вопросы практического внедрения Международной системы детально обсуждались на специальной Международной конференции по применению СИ в механике, строительстве и промышленности строительных материалов, энергетике, при градуировке измерительных приборов, которая состоялась в 1969 г. в Брюсселе.

Для обеспечения более эффективного внедрения СИ в практику Международная организация по стандартизации (ИСО) образовала при техническом комитете 12 (занимающемся величинами, единицами и переводными коэффициентами) специальный подкомитет ПК 2-12 «Общие правила применения единиц СИ, их кратных и дольных».

Являясь современной формой Метрической системы, Международная система единиц быстро распространяется по всему земному шару, во все большей степени становится общепризнанным единым международным языком в области измерений.

### **2.3. Основные принципы построения СИ**

Основной принцип построения Международной системы единиц сформулирован К. Гауссом (см. подразд. 1.3.). В этой системе, как и в других современных системах единиц, за основу принимаются несколько независимых друг от друга единиц (основные единицы), а единицы остальных физических величин (производные единицы) устанавливаются с помощью основных единиц и определяющих уравнений, в которых зафиксирована функциональная связь между соответствующими физическими величинами.

Важнейший критерий выбора основных единиц и построения всей системы единиц — практическая эффективность и целесообразность применения системы, определяемая удобными размерами основных и производных единиц, их воспроизводимостью с точностью, удовлетворяющей современным требованиям науки и техники, приемлемостью системы для проведения теоретических исследований и технических расчетов.

Принятие шести основных единиц (на XIV Генеральной конференции по мерам и весам к ним была добавлена седьмая основная единица — моль) обусловлено тем, что СИ, будучи универсальной системой, охватывает все области науки и техники. Все основные единицы СИ имеют удобные для практики измерений размеры и фактически уже давно применяются.

В состав Международной системы включены две дополнительные единицы: для плоского угла — радиан и для телесного угла — стерадиан.

Несмотря на то что XI и XII Генеральные конференции по мерам и весам утвердили только 33 производные единицы СИ, в их решениях предусматривалось добавление в будущем других производных единиц.

Важный принцип построения Международной системы единиц — когерентность (согласованность) единиц, относящихся к различным областям измерений. Это нашло свое выражение, например, в том, что единица энергии джоуль является единственной и для выражения энергии механического движения системы, и ее внутренней энергии, энергии электрического и магнитного полей, световой энергии и энергии внутриядерной.

Существенная особенность СИ, которая учитывалась при ее разработке, состоит в том, что применительно к электрическим и магнитным величинам она с самого начала была системой, предназначенной для рациональной записи уравнений электромагнетизма.

Другая важная особенность СИ связана с ее созданием на базе системы МКС: по типу размерности физических величин она относится к системам размерностей LMT, к которым в каждой специфической области добавляется размерность еще одной величины; выбранной в качестве основной и характерной для данной области.

## **2.4. Важнейшие преимущества Международной системы единиц**

Международная система единиц обладает значительными преимуществами по сравнению с разработанными ранее системами единиц. Важнейшие из них следующие:

1. Международная система единиц обеспечивает унификацию единиц, так как в ней вместо исторически сложившегося многообразия единиц для каждой физической величины устанавливается только одна единица. При этом единицы органически включаются во взаимосвязанную и согласованную систему. Для образования кратных и дольных единиц (с целью сохранения унификации) вводятся строго определенные и четкие правила.

2. СИ является универсальной системой, так как она охватывает все области науки, техники, производства и торговли; применима ко всем специфическим областям и представляет собой неразрывную совокупность единиц механических, тепловых, электрических, магнитных и других величин. Это достигнуто путем целенаправленного и логического объединения и совершенствования ранее существовавших систем МКС, МКСГ, МКСА и т. д.

3. Все основные и большинство производных единиц СИ обладают размерами, удобными для практики. Еще до введения этой системы почти все ее единицы ранее широко применялись. При ее создании проведено четкое разграничение единицы массы килограмм-

ма и единицы силы ньютона. Введение одной единицы энергии и работы для всех многообразных форм движения материальных объектов устраняет необходимость установления таких переводных коэффициентов, как механический эквивалент теплоты, термический эквивалент работы, термический коэффициент работы электрического тока и др.

4. По сравнению со многими другими системами значительно повысилась точность воспроизведения единиц с помощью новых эталонов, изготовленных на основе теоретических определений основных единиц. В эпоху резкого повышения точности изготовления образцов промышленной продукции это имеет особо важное значение.

5. Введение Международной системы единиц приводит к упрощению записи формул и уравнений во многих областях науки и техники, а следовательно, к экономии времени при выполнении теоретических исследований и технических расчетов. Это связано с устранением необходимости использования различных пересчетных коэффициентов, которые надо вводить, если отдельные физические величины выражены с помощью различных единиц.

Конечно, давая объективную оценку Международной системе единиц, необходимо иметь в виду, что ей присущи и некоторые недостатки. Невозможно построить идеальную систему единиц, в одинаковой степени удовлетворяющую большому многообразию порою противоречивых требований науки и техники. Не может одна единица быть одинаково удобной для измерения параметров существенно различных объектов.

Например, единица длины метр не может быть в равной мере удобной для измерения расстояний в макромире (мир, непосредственно воспринимаемый человеком и соизмеримый с параметрами, присущими непосредственному человеческому опыту), микромире (мир молекул, атомов, ядер и элементарных частиц) и в мегамире (мир звездных скоплений, галактик, внегалактических туманностей).

Для устранения этого недостатка предусматривается использование десятичных кратных и дольных единиц СИ. Заметим, что теоретические исследования и расчеты могут быть выполнены без привлечения кратных и дольных единиц. Эти единицы потребуются только для выражения конечных результатов. Исходные данные, если они выражены в десятичных кратных и дольных единицах, тоже могут быть переведены в единицы СИ.

Детальный анализ Международной системы единиц показывает, что ее достоинства и неоспоримые преимущества значительно преобладают над недостатками.

Перечисленные выше достоинства Международной системы обеспечивают значительное повышение эффективности труда проектировщиков, производственников и научных работников. Введение Международной системы упрощает и облегчает педагогический процесс в средней и высшей школе.

Применение Международной системы единиц в практике международных контактов по установлению, развитию или укреплению экономических и научно-технических связей между государствами способствует ускорению и облегчению решения возникающих технических вопросов.

## **2.5. Стандарт СЭВ «Метрология. Единицы физических величин» (СТ СЭВ 1052—78). Общие положения**

Одновременно с подготовкой проекта государственного стандарта СССР «Единицы физических величин» происходила подготовка к утверждению аналогичного стандарта СЭВ, который имеет наименование «Метрология. Единицы физических величин» и построен на основе СИ. В подготовке этого стандарта, в разработку и принятие Генеральной конференцией по мерам и весам Международной системы единиц большой вклад внесли советские метрологические организации.

Стандарт СЭВ «Метрология. Единицы физических величин» (СТ СЭВ 1052—78), разработанный взамен РС 3472—74, был утвержден Постоянной комиссией СЭВ по стандартизации в июне 1978 г. в г. Софии. Как отмечено в стандарте, он обязателен в рамках Конвенции о применении стандартов СЭВ. Им устанавливаются единицы физических величин, применяемые в странах СЭВ, в договорно-правовых отношениях между странами и используемые во всех видах деятельности органов СЭВ, а также наименования, обозначения и правила применения этих единиц. Стандарт СЭВ не распространяется на единицы, применяемые в научных исследованиях и публикациях теоретического характера в области естествознания, на единицы величин, оцениваемых по условным шкалам (например, шкалы твердости Роквелла и Виккерса, светочувствительности фотоматериалов). Срок начала применения стандарта СЭВ в договорно-правовых отношениях по экономическому и научно-техническому сотрудничеству — январь 1979 г. Срок начала применения стандарта СЭВ в народном хозяйстве СССР — 1 января 1980 г. Срок первой проверки стандарта — 1986 г., периодичность проверки — 10 лет.

Этот стандарт введен в действие в качестве государственного стандарта СССР Постановлением Госстандарта № 113 от 6 апреля 1979 г. со сроком начала применения в договорно-правовых отношениях по сотрудничеству в рамках СЭВ и в народном хозяйстве страны с 1 января 1980 г.

Постановлением Госстандарта № 2242 от 25 июня 1979 г. утверждены и введены в действие разработанные ВНИИ им. Д. И. Менделеева Методические указания РД 50—160—79 «Внедрение и применение СТ СЭВ 1052—78 «Метрология. Единицы физических величин», которые определяют порядок внедрения и применения в СССР

совокупности физических величин, устанавливаемой данным стандартом.

В качестве официального стандарта СССР эти единицы зафиксированы в ГОСТ 8.417—81 «ГСИ. Единицы физических величин» (СТ СЭВ 1052—78).

В «Методических указаниях» отмечается, что наименования физических величин, приведенные в СТ СЭВ 1052—78, не являются предметом стандартизации, поэтому при их использовании не следует делать ссылку на названный стандарт. В таких случаях рекомендуется исходить из стандартов, которые устанавливают терминологию в области величин. В настоящем справочнике учтены соответствующие рекомендации по применению наименований физических величин.

Размерности физических величин в стандарте СЭВ 1052—78 и «Методических указаниях» выражены в размерной системе длина — масса — время — сила электрического тока — температура — количество вещества — сила света (L, M, T, I,  $\theta$ , N, J), соответствующей группе основных единиц СИ, и приведены лишь для облегчения идентификации величин, так как, вообще говоря, размерности физических величин не дают полной информации об их физической природе. Как отмечено в «Общих положениях» СТ 1052—78, обязательному применению подлежат единицы Международной системы единиц, а также десятичные кратные и дольные от них.

В табл. 1 представлены основные (табл. 1 СЭВ) и дополнительные (табл. 2 СТ СЭВ) единицы СИ, их наименования и обозначения.

Таблица 1. Основные и дополнительные единицы СИ  
(по СТ СЭВ 1052—78)

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
<b>Основные единицы</b>				
Длина	L	метр	m	м
Масса	M	килограмм	kg	кг
Время	T	секунда	s	с
Сила электрического тока	I	ампер	A	А
Термодинамическая температура	$\theta$	кельвин	K	К
Количество вещества	N	моль	mol	моль
Сила света	J	кандела	cd	кд
<b>Дополнительные единицы</b>				
Плоский угол	—	радиан	rad	рад
Телесный угол	—	стерадиан	sr	ср

Таблица 2. Примеры производных единиц СИ, наименования которых образованы из наименований основных и дополнительных единиц (табл. 3 по СТ СЭВ 1052—78)

Величина		Единица	
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение
			международное   русское
Площадь	$L^2$	квадратный метр	$m^2$
Объем, вместимость	$L^3$	кубический метр	$m^3$
Скорость	$LT^{-1}$	метр в секунду	$m/s$
Угловая скорость	$T^{-1}$	радиан в секунду	$rad/s$
Ускорение	$LT^{-2}$	метр на секунду в квадрате	$m/s^2$
Угловое ускорение	$T^{-2}$	радиан на секунду в квадрате	$rad/s^2$
Волновое число	$L^{-1}$	метр в минус первой степени	$m^{-1}$
Плотность	$L^{-3}M$	килограмм на кубический метр	$kg/m^3$
Удельный объем	$L^3M^{-1}$	кубический метр на килограмм	$m^3/kg$
Плотность электрического тока	$L^{-2}I$	ампер на квадратный метр	$A/m^2$
Напряженность магнитного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	$A/m$
Молярная концентрация	$L^{-3}N$	моль на кубический метр	$mol/m^3$
Поток ионизирующих частиц	$T^{-1}$	секунда в минус первой степени	$s^{-1}$
Плотность потока частиц	$L^{-2}T^{-1}$	секунда в минус первой степени на метр в минус второй степени	$s^{-1} \cdot m^{-2}$
Яркость	$L^{-2}J$	кандела на квадратный метр	$cd/m^2$

Таблица 3. Производные единицы СИ, имеющие специальные наименования (табл. 4 по СТ СЭВ 1052—78)

Наименование	Величина	Размерность	Наименование	Единица		Выражение через основные и дополнительные единицы СИ
				Обозначение	русское	
Частота		$T^{-1}$	герц	Hz	Гц	$s^{-1}$
Сила, вес		$LMT^{-2}$	ньютон	N	Н	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление, механическое напряжение, модуль упругости		$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Pa	Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты		$L^2MT^{-2}$	джоуль	J	Дж	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Мощность, поток энергии		$L^2MT^{-3}$	ватт	W	Вт	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Количество электричества (электрический заряд)		$TI$	кулон	C	Кл	$s \cdot A$
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила		$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	V	В	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Электрическая емкость		$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	F	Ф	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Электрическое сопротивление		$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	$\Omega$	Ом	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость		$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	S	См	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Поток магнитной индукции, магнитный поток		$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Wb	Вб	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Плотность магнитного потока, магнитная индукция		$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	T	Тл	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Индуктивность, взаимная индуктивность		$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	H	Гн	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Световой поток		$J$	люмен	lm	лм	$cd \cdot sr$
Освещенность		$L^{-2}J$	люкс	lx	лк	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
Активность нуклида в радиоактивном источнике (активность радионуклида)		$T^{-1}$	беккерель	Bq	Бк	$s^{-1}$
Поглощенная доза излучения, керма, покапель поглощенной дозы (поглощенная доза ионизирующего излучения)		$L^2T^{-2}$	грэй	Gy	Гр	$m^2 \cdot s^{-2}$
Эквивалентная доза излучения		$L^2T^{-2}$	зиверт*	Sv	Зв	$m^2 \cdot s^{-2}$

\* Специальное наименование единицы эквивалентной дозы зиверт принято XVI ГКМВ в 1979 г.

Таблица 4. Примеры производных единиц СИ, наименования которых образованы с использованием специальных наименований (табл. 5 по СТ СЭВ 1052—78)

Наименование	Размерность	Наименование	Единица		Выражение через основные и дополнительные единицы СИ
			международное	русское	
Момент силы	$L^2MT^{-2}$	ньютон-метр	$N \cdot m$	$H \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Поверхностное натяжение	$MT^{-2}$	ньютон на метр	$N/m$	$H/m$	$kg \cdot s^{-2}$
Динамическая вязкость	$L^{-1}MT^{-1}$	паскаль-секунда	$Pa \cdot s$	$Па \cdot с$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
Пространственная плотность электрического заряда	$L^{-3}TI$	кулон на кубический метр	$C/m^3$	$Кл/м^3$	$m^{-3} \cdot kg \cdot s^{-1}$
Электрическое смещение	$L^{-2}TI$	кулон на квадратный метр	$C/m^2$	$Кл/м^2$	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
Напряженность электрического поля	$LMT^{-3}I^{-1}$	вольт на метр	$V/m$	$В/м$	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	$L^{-3}MT^{-4}I^2$	фарад на метр	$F/m$	$Ф/м$	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Абсолютная магнитная проницаемость	$LMT^{-2}I^{-2}$	генри на метр	$H/m$	$Гн/м$	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Удельная энергия	$L^2T^{-2}$	джоуль на килограмм	$J/kg$	$Дж/кг$	$m^2 \cdot s^{-2}$
Теплоемкость системы, энтропия системы	$L^2MT^{-2}\theta^{-1}$	джоуль на кельвин	$J/K$	$Дж/К$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Удельная теплоемкость, удельная энтропия	$L^2T^{-2}\theta^{-1}$	джоуль на килограмм-кельвин	$J/(kg \cdot K)$	$Дж/(кг \cdot К)$	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Поверхностная плотность потока энергии	$MT^{-3}$	ватт на квадратный метр	$W/m^2$	$Вт/м^2$	$kg \cdot s^{-3}$
Теплопроводность	$LMT^{-3}\theta^{-1}$	ватт на метр-кельвин	$W/(m \cdot K)$	$Вт/(м \cdot К)$	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
Молярная внутренняя энергия	$L^2MT^{-2}N^{-1}$	джоуль на моль	$J/mol$	$Дж/моль$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
Молярная энтропия, молярная теплоемкость	$L^2MT^{-2}\theta^{-1}N^{-1}$	джоуль на моль-кельвин	$J/(mol \cdot K)$	$Дж/(моль \cdot К)$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
Энергетическая сила света (сила излучения)	$L^2MT^{-3}$	ватт на стерадиан	$W/sr$	$Вт/ср$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot sr^{-1}$
Экспозиционная доза (рентгеновского и гамма-излучения)	$M^{-1}TI$	кулон на килограмм	$C/kg$	$Кл/кг$	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
Мощность поглощенной дозы	$L^2T^{-3}$	грей в секунду	$Gy/s$	$Гр/с$	$m^2 \cdot s^{-3}$

Таблица 5. Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ (табл. 6 по СТ СЭВ 1052—78)

Наименование величины	Единица				Соотношение с единицей СИ	Примечание
	Наименование	Обозначение		русское		
		между- народное				
Масса	тонна	t		т	$10^3$ кг	Допускается также применять другие единицы, получившие широкое распространение, например неделя, месяц, год, век, тысячетлетие и т. п.
Время	минута	min		мин	60 с	
	час	h		ч	3 600 с	
	сутки	d		сут	86 400 с	
Плоский угол		...	°	...	$(\pi/180)$ рад = $1,745\ 329\dots 10^{-2}$ рад	
		...	'	...	$(\pi/10\ 800)$ рад = $2,908\ 882\dots 10^{-4}$ рад	
		...	"	...	$(\pi/648\ 000)$ рад = $4,848\ 137\dots 10^{-6}$ рад	
Объем, вместимость	литр	l		л	$10^{-3}$ м <sup>3</sup>	1. Не рекомендуется применять при точных измерениях 2. При возможности смещения обозначения 1 с цифрой 1 допускается обозначение 1л

Примечание. Приведенные выше единицы времени и плоского угла не допускаются применять с приставками.

Таблица 6. Внесистемные единицы, допускаемые к применению в специальных областях (табл. 7 по СТ СЭВ 1052—78)

Наименование величины	Единица		Соотношение с единицей СИ	Примечание	
	Наименование	Обозначение			
		международное			русское
Длина	астрономическая единица	ua	а. е.	1,495 98 · 10 <sup>11</sup> м (приблизительно);	В астрономии
	световой год	ly	св. год	9,460 5 · 10 <sup>15</sup> м (приблизительно)	»
	парсек	pc	пк	3,085 7 · 10 <sup>16</sup> м (приблизительно)	»
Оптическая сила	диоптрия	—	дптр	1 м <sup>-1</sup>	В оптике
Площадь	гектар	ha	га	1 · 10 <sup>4</sup> м <sup>2</sup>	В сельском и лесном хозяйстве
Масса	атомная единица массы	u	а. е. м.	1,660 57 · 10 <sup>-27</sup> кг (приблизительно)	В атомной физике
Плоский угол	град (гон)*	...g (гон)	град	(π/200) рад	В геодезии
Энергия	электрон-вольт	eV	эВ	1,602 19 · 10 <sup>-19</sup> Дж (приблизительно)	В физике
Полная мощность	вольт-ампер	V · A	В · А		В электротехнике
Реактивная мощность	вар	var	вар		В электротехнике

Примечание. \* Допускается применять наименование «гон». Приведенные выше единицы — астрономическую единицу длины, световой год, диоптрию, атомную единицу массы — не допускается применять с приставками.

Таблица 7. Единицы, временно допускаемые к применению (табл. 8 по СТ СЭВ 1052—78)

Наименование величины	Единица			Соотношение с единицей СИ и примечание
	Наименование	Обозначение		
		международное	русское	
Длина	ангстрем	Å	Å	10 <sup>-10</sup> м (точно) 1,002 06 · 10 <sup>-13</sup> м 1852 м (точно) В морской навигации
	икс-единица морская миля	X —	икс-ед. миля	
Площадь	барн	b	б	10 <sup>-28</sup> м <sup>2</sup> (точно) В физике
	карат	—	кар	2 · 10 <sup>-4</sup> кг (точно) Для драгоценных камней и жемчуга
Масса	центнер	q	ц	100 кг (точно) В сельском хозяйстве
	текс	tex	текс	10 <sup>-6</sup> кг/м (точно) В текстильной промышленности
Линейная плотность	квадратный градус	□°	□°	3,046 2...10 <sup>-4</sup> ср
	узел	kn	уз	0,514 (4) м/с В морской навигации
Телесный угол	гал	Gal	Гал	10 <sup>-2</sup> м/с <sup>2</sup> (точно) В гравиметрии
	оборот в секунду	—	об/с	1 с <sup>-1</sup>
Скорость	оборот в минуту	—	об/мин	1/60 с <sup>-1</sup> = 0,016 (6) с <sup>-1</sup>
	дина	dyn	дин	10 <sup>-5</sup> Н
Ускорение	килограмм-сила	kgf	кгс	9,80665 Н (точно)
	килопонд	kp	—	То же
Частота вращения	дина	dyn	дин	10 <sup>-5</sup> Н
	килограмм-сила	kgf	кгс	9,80665 Н (точно)
Сила, вес	килопонд	kp	—	То же

грамм-сила	gf	гс	$9,80665 \cdot 10^{-3}$ Н (точно)
понд	p	—	То же
тонна-сила	tf	тс	9806,65 Н (точно)
килограмм-сила на квадратный сантиметр	kgf/cm <sup>2</sup>	кгс/см <sup>2</sup>	98066,5 Па (точно)
килопонд на квадратный сантиметр	kp/cm <sup>2</sup>	—	То же
миллиметр водяного столба	mmH <sub>2</sub> O	мм вод. ст.	9,806 65 Па
миллиметр ртутного столба	mmHg	мм рт. ст.	133,322 Па
торр	Torr	—	То же
бар	bar	бар	$10^5$ Па
килограмм-сила на квадратный миллиметр	kdf/mm <sup>2</sup>	кгс/мм <sup>2</sup>	$9,806 65 \cdot 10^6$ Па (точно)
килопонд на квадратный миллиметр	kp/mm <sup>2</sup>	—	То же
эрг	erg	эрг	$1 \cdot 10^{-7}$ Дж
лошадиная сила	—	л. с.	735,499 Вт
пуаз	P	П	0,1 Па · с
стокс	St	Ст	$10^{-4}$ м <sup>2</sup> /с
ом-квадратный миллиметр на метр	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	$10^{-6}$ Ом · м
максвелл	Mx	Мкс	$10^{-8}$ Вб
гаусс	Gs	Гс	$10^{-4}$ Т
гильберт	Gb	Гб	(10/4π) А = 0,795 775 А

Наименование величины	Единица		Соотношение с единицей СИ и примечание	
	Наименование	Обозначение		
		международное		русское
Напряженность магнитного поля	эрсед	Ое	$(10^8/4\pi) \text{ А/м} = 79,5775 \text{ А/м}$	
Количество теплоты, термодинамический потенциал (внутренняя энергия, энтальпия, изохорно-изотермический потенциал), теплота фазового превращения, теплота химической реакции	калория (межд.) калория термохимическая калория 15-градусная	cal cal <sub>th</sub> cal <sub>15</sub>	4,1868 Дж (точно) 4,1840 Дж 4,1855 Дж	
Поглощенная доза излучения	рад	rad, rd	0,01 Гр	
Эквивалентная доза излучения, показатель эквивалентной дозы	бэр	rem	0,01 Дж/кг	
Экспозиционная доза фотонного излучения (экспозиционная доза гамма- и рентгеновского излучений)	реитген	R	$2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ (точно)	
Активность нуклида в радиоактивном источнике	кюри	Сi	$3,700 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ (точно)	
Натуральный логарифм безразмерного отношения физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную	непер	Np	1 Нп = 0,8686 Б = 8,686 дБ	

ния, установленные соответствующими решениями Генеральных конференций по мерам и весам. В таблицах стандарта СЭВ приведены также определения этих единиц, в настоящем справочнике они даны в подразд. 3.1 и 3.2 соответственно.

О производных единицах СИ в стандарте СЭВ указано, что их следует получать по правилам образования когерентных производных единиц. Производные единицы СИ, имеющие специальные наименования, также могут быть использованы для образования других производных единиц СИ. Примеры производных единиц СИ, наименования которых образованы из наименований основных и дополнительных единиц; приведены в табл. 2 (табл. 3 стандарта СЭВ). В табл. 3 представлены производные единицы СИ, имеющие специальные наименования (табл. 4 стандарта СЭВ). В табл. 4 даны примеры производных единиц СИ, наименования которых образованы с использованием специальных наименований (табл. 5 стандарта СЭВ).

В стандарте СЭВ отмечено, что электрические и магнитные единицы СИ следует образовывать в соответствии с рационализованной формой уравнений электромагнетизма.

Наравне с единицами СИ стандарт СЭВ допускает применение единиц, не входящих в СИ, которые перечислены в табл. 5, 6 (табл. 6, 7 стандарта СЭВ), а также их сочетаний с единицами СИ и некоторых нашедших широкое применение на практике десятичных кратных и дольных от этих единиц. Единицы, приведенные в табл. 5, допускаются к применению без ограничения срока наравне с единицами СИ. В специальных областях без ограничения срока допускается применение единиц, перечисленных в табл. 6.

Временно допускалось применение единиц, не входящих в СИ, перечисленных в табл. 7 (табл. 8 стандарта СЭВ), кратных и дольных от них, а также некоторых получивших распространение на практике сочетаний этих единиц с единицами СИ, десятичными кратными и дольными от них и с единицами, указанными в табл. 5, 6. Эти единицы подлежат постепенному изъятию из применения.

Единицы, приведенные в табл. 7 (за исключением единиц «морская миля», «узел», «карат», «оборот в секунду», «оборот в минуту», «бар», «текс» и «непер», срок изъятия которых установлен в соответствии с Международными решениями), допускались к применению до 1 января 1980 г.

В «Общих положениях» стандарта СЭВ и в приложениях к нему указаны общие требования и рекомендации, которые необходимо строго выполнить при его внедрении в практику. Эти требования и рекомендации подробно рассмотрены в подразд. 5.

С утверждением стандарта СЭВ (СТ СЭВ 1052—78 «Метрология. Единицы физических величин») и принятием его странами-членами СЭВ актуальность внедрения СИ в СССР значительно возросла. Исходя из этого в настоящей книге особое внимание уделяется рассмотрению единиц СИ.

## 2.6. Наименования единиц СИ

В СТ СЭВ-1052—78 (подразд. 1.9) указано, что в странах-членах СЭВ допускается использование наименований единиц на языках соответствующих стран. Русские наименования единиц приведены в табл. 1—7.

Наименования основных и дополнительных, а также некоторых производных единиц СИ приняты согласно рекомендациям Генеральных конференций по мерам и весам.

Наименования большинства производных единиц устанавливаются в соответствии с правилами, которыми необходимо руководствоваться при образовании наименований производных единиц, не включенных в стандарт. При этом наименования производных единиц выражаются через наименования соответствующих основных, дополнительных и ранее установленных производных единиц. Подставляя в определяющие уравнения вместо величин их единицы, получают выражение, связывающее между собой единицы соответствующих физических величин. Ниже приведены правила, руководствуясь которыми с помощью данных выражений можно установить искомое наименование производной единицы.

1. Если сложная производная единица выражена через произведение двух единиц, то ее наименование составляется из наименований этих единиц, записанных через дефис. Например, ом-метр (единица удельного электрического сопротивления), ньютон-метр (единица момента силы).

2. Если в наименовании производной единицы встречается частное от деления одной единицы на другую, то наименование пишется с предлогом «на». Например, джоуль на кельвин (единица энтропии), вебер на ампер (единица магнитной проводимости).

Исключения из этого правила имеют место в тех случаях, когда в знаменателе определяющего уравнения стоит в первой степени время и оно характеризует скорость протекания процесса. Тогда наименование единицы времени, стоящей в знаменателе, пишется с предлогом «в». Например, килограмм в секунду (единица массового расхода), радиан в секунду (единица угловой скорости). Если же частное от деления на единицу времени не является характеристикой протекания процесса во времени или время в знаменателе стоит в квадрате, то применяется предлог «на». Например, квадратный метр на секунду (единица температуропроводности), метр на секунду в квадрате (единица ускорения).

3. В наименованиях единиц площади или объема, а также если эти единицы входят в наименования других производных единиц, применяются прилагательные «квадратный» и «кубический»: квадратный метр (единица площади), кубический метр в секунду (единица объемного расхода), ампер на квадратный метр (единица плотности электрического тока).

В тех же случаях, когда вторая или третья степень длины в определяющем уравнении по своему физическому смыслу не пред-

ставляет собой площади или объема, применяются выражения «в квадрате» или «во второй степени», «в кубе» или «в третьей степени». Например, килограмм-метр в квадрате в секунду (единица момента количества движения), килограмм-метр в квадрате (единица динамического момента инерции).

4. В наименованиях производных единиц, не имеющих знаменателя, склоняется только последнее наименование и относящееся к нему прилагательное «квадратный» или «кубический». Например, момент силы равен десяти ньютон-метрам, магнитный момент электрического тока равен восьми ампер-квадратным метрам.

5. При склонении наименований единиц, содержащих знаменатель, изменяется только числитель, причем склоняется только последнее наименование числителя и относящееся к нему прилагательное «квадратный» или «кубический». Например, угловое ускорение равно пяти радианам на секунду в квадрате, кинематическая вязкость равна двум квадратным метрам на секунду.

6. Наименования сложных производных единиц образуются в соответствии с перечисленными выше правилами. Например, единица удельной теплоемкости — джоуль на килограмм-кельвин; единица акустического сопротивления — паскаль-секунда на кубический метр.

По сравнению с ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц» некоторые единицы в Стандарте СЭВ в соответствии с рекомендациями Генеральных конференций по мерам и весам получили другие наименования. Так, единица силы света, имевшая наименование «свеча» получила наименование «кандела», ибо все страны в своем законодательстве приняли наименование «кандела», русское наименование имело совершенно отличное звучание. Для единицы давления и механического напряжения — ньютона на квадратный метр — введено собственное наименование паскаль, которое было принято Международным комитетом мер и весов в 1969 г. и утверждено XIV Генеральной конференцией по мерам и весам в 1971 г.

Для единицы термодинамической температуры в соответствии с решением XIII Генеральной конференции по мерам и весам в Стандарте принято наименование «кельвин» (вместо прежнего «градус Кельвина»). Для разности температур также введена единица кельвин.

## 2.7. Обозначения единиц СИ

В соответствии с рекомендациями международных метрологических организаций и установившейся практикой для написания значений величин предусматривается применение обозначений единиц буквами (одной, двумя или тремя) или специальными знаками (...°, ...', ...", °С, %, ‰). Установлено два вида буквенных обозначений: русские (с использованием букв русского алфавита) и международные (с использованием букв латинского или греческого алфавитов).

Стандартом СТ СЭВ 1052—78 установлено обязательное применение международных обозначений единиц во всех видах деятельности и в договорно-правовых взаимоотношениях между странами-членами СЭВ (включая сопроводительную документацию при товарообмене и маркировку изделий).

В Методических указаниях РД 50—160—79 отмечается, что «во всех других случаях применения обозначений единиц в народном хозяйстве СССР, например в научно-технической литературе, предпочтение также следует отдавать международным обозначениям, однако применение русских обозначений единиц не запрещается. Нельзя лишь применять в одном и том же издании одновременно международные и русские обозначения, если это не специальные материалы по единицам физических величин».

При указании значений величин на табличках (щитках) и шкалах, помещаемых на изделиях, обязательно использование международных обозначений единиц.

Важным отличием нового стандарта от ранее действовавших является то, что буквенные обозначения единиц печатаются прямым шрифтом малыми (строчными) буквами, за исключением обозначений единиц, наименования которых образованы по фамилиям ученых, их пишут с прописной (заглавной) буквы. Это правило значительно упрощает подготовку рукописей к набору, облегчает и сам процесс их набора, ибо отпадает необходимость использования двух шрифтов: прямого для набора основного текста и курсивного для набора обозначений единиц. Такое упрощение позволяет повысить экономичность и производительность типографских работ. Печатаемые обозначения единиц, названных по фамилиям ученых, с прописной буквы дает возможность устранить сходство в написании обозначений некоторых единиц, что, несомненно, облегчает их восприятие.

В обозначениях единиц точка в качестве знака сокращения не ставится, за исключением сокращения слов, которые входят в наименование единицы, но сами не являются наименованиями единицы, например, мм рт. ст. (миллиметр ртутного столба), л. с. (лошадиная сила).

Буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, отделяются точками на средней линии как знаками умножения. В машинописных текстах точку разрешается не поднимать, следовательно, запись «Н. м» является правильной.

Стандарт СЭВ запрещает комбинировать обозначения и наименования единиц. Нельзя, например, при указании производной единицы, состоящей из двух и более единиц, для одних приводить обозначения, а для других — наименования. Вместе с тем в обоснованных случаях допускается использовать сочетания специальных знаков  $\dots^\circ$ ,  $\dots'$ ,  $\dots''$ ;  $C^\circ$ ,  $\%$ ,  $\%_0$  с буквенными обозначениями единиц.

Стандарт СЭВ допускает применение обозначений единиц в заголовках граф и наименованиях строк (боковиках) таблиц и выводов,

а также в пояснениях обозначений величин к формулам. Но помещение обозначений единиц в формулах, выражающих зависимости между величинами или между их числовыми значениями, представленных в буквенной форме, запрещается.

Не допускается применение обозначений вместо полных наименований единиц в тексте без числового обозначения величин. Например, нужно писать: «масса составляет 58 кг» и «масса выражается в килограммах», но нельзя писать: «масса выражается в кг».

При написании обозначений производных единиц согласно стандарту СЭВ необходимо соблюдать следующие правила.

1. Если в числовом значении величины встречается десятичная дробь, обозначение единицы ставится после всех цифр, например, 243,82 м или 5,758°. Если указаны значения величины с допусками (предельными отклонениями), следует заключать числовые значения в скобки и обозначения единицы помещать после скобок или проставлять обозначения единиц после числового значения величины и после ее предельного отклонения.

Правильно:

$$(100,0 \mp 0,1) \text{ кд}$$

$$50 \text{ д} \pm 1 \text{ д}$$

Неправильно:

$$100,0 \pm 0,1 \text{ кд}$$

$$50 \pm 1 \text{ д}$$

В тех случаях, когда в тексте приводят подряд несколько числовых значений какой-нибудь физической величины, выраженных одной и той же единицей, эту единицу можно указывать только после последней цифры. Например, 6,5; 8,3; 9,5; 18 мм;  $15 \times 15 \times 20$  мм; 30; 40; 50 кг.

2. Если производные единицы образованы путем деления одних на другие, то в их обозначениях должна применяться косая черта, при этом сами обозначения помещаются в строку, например: кг/м<sup>3</sup> (килограмм на кубический метр). При использовании косой черты обозначения произведения единиц в знаменателе должны быть заключены в скобки. Например: Вт/(м<sup>2</sup> · К) — ватт на квадратный метр-кельвин. Допускается применение горизонтальной черты, например,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ .

3. Допускается обозначение единицы в форме произведения обозначений единиц, возведенных в положительные и отрицательные степени, а также с помощью дробной черты. Например, Вт · м<sup>-2</sup> × К<sup>-1</sup> или Вт/(м<sup>2</sup> · К).

4. Не допускается при обозначении сложных производных единиц применять более одной косой или горизонтальной черты. Например, правильны записи, приведенные в предыдущих пунктах, и неправильны — записи обозначений этой же единицы в виде

$$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2/\text{К}} \text{ и } \frac{\text{Вт}}{\frac{\text{м}^2}{\text{К}}}.$$

В стандарте СЭВ для единиц силы света введено русское обозначение кд (по аналогии с международным cd). Аналогичным международному стало обозначение секунды — с (вместо прежнего «сек»).

Для обозначения единицы телесного угла введено обозначение ср (вместо прежнего стер). Новое обозначение похоже на обозначение сантирентгена в прежнем написании. Но в связи с введением для обозначения рентгена заглавной буквы (Р), такое сходство исключается. Для единицы давления и механического напряжения вместо  $\text{Н/м}^2$  введено русское обозначение Па, соответствующее новому названию единицы.

Изменено обозначение единицы электрической проводимости. Вместо «сим» введено обозначение, состоящее из двух букв — См.

Для единицы электрического заряда введено новое русское обозначение Кл. Изменено также обозначение единицы термодинамической температуры. Вместо «°К» введено обозначение «К».

Международные и русские обозначения относительных и логарифмических единиц следующие: процент (%), промилле (‰), миллионная доля (ppm,  $\text{млн}^{-1}$ ), бел (В, Б), децибел (дВ, дБ), октава (—, окт), декада (—, дек), фон (phon, фон).

Проведенные изменения русских обозначений единиц приводят их в соответствие с международными и делают их более удобными для записи значений величин.

Обозначения единиц по падежам и числам не изменяются. Исключение составляет внесистемная единица длины «св. год» («световой год»), для которой в родительном падеже множественного числа обозначение принимает форму «св. лет» (световых лет).

В Методических указаниях РД 50—160—79 указано, что обозначения единиц, совпадающие с наименованиями этих единиц, по падежам и числам изменять не следует, если они помещены после числовых значений, а также в заголовках граф, боковых таблиц и выводов, в пояснениях обозначений величин к формулам. К таким обозначениям относятся: бар, бэр, вар, моль, рад. Нужно писать: 1 моль; 2 моль; 5 моль и т. д.

Не следует обозначения единиц называть размерностями. Под размерностями производных величин следует понимать произведение степеней размерностей основных величин, подобные помещенным в графе 2 табл. 1, 3—5 СТ СЭВ 1052—78.

В Методических указаниях отмечается, что к обозначениям единиц и к их наименованиям нельзя добавлять буквы (слова), указывающие на физическую величину или на объект, например, п. м. или пм (погонный метр), укм (условный квадратный метр), экм (эквивалентный квадратный метр),  $\text{нм}^3$  или  $\text{Нм}^3$  (нормальный кубический метр), тут (тонна условного топлива), % весовой (весовой процент), % объемный (объемный процент). Во всех таких случаях определяющие слова следует присоединять к наименованию величины, а единицу обозначать в соответствии со стандартом. Например, погонная длина 5 м, эквивалентная площадь  $10 \text{ м}^2$ , объем газа (приведенный к нормальным условиям)  $100 \text{ м}^3$ , масса топлива (условного) 1000 т, массовая доля 10 %, объемная доля 2 % и т. д.

В соответствии с ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78) обязательному применению подлежат единицы Международной системы, а также десятичные кратные и дольные от них. Допускается применять и некоторые другие единицы, не входящие в СИ ишедшие широкое распространение на практике, от которых нецелесообразно отказываться в настоящее время. Единицы СИ и единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ, образуют совокупность единиц, допускаемых к применению в СССР.

Структура данного раздела выбрана такой, чтобы она в максимальной степени соответствовала СТ СЭВ 1052—78. В справочнике для большей полноты рассмотрены некоторые единицы физических величин, не включенные в этот стандарт. Они установлены в соответствии с рассмотренными выше правилами и в согласии с рекомендациями, приведенными в Приложении 1 к Методическим указаниям по внедрению и применению СТ СЭВ 1052—78 «Метрология. Единицы физических величин» РД 50—160—79.

Большое значение имеет применение правильных наименований физических величин, поскольку при этом исключается путаница, неоднозначное понимание, двусмысленность и неправильная трактовка различных текстов.

В Приложении 4 к Методическим указаниям по внедрению и применению СТ СЭВ 1052—78, РД 50—160—79 даны рекомендации по применению наименований физических величин. Здесь, в частности, сказано, что наименование физической величины должно точно и однозначно отражать сущность отображаемого им свойства объекта и параметра явления или процесса. Как правило, для каждой физической величины следует применять одно наименование (термин). Рекомендовано использовать наименования величин, включенные в упомянутые методические указания. Если же используемые величины в них отсутствуют, рекомендуется использовать наименования, принятые в терминологических стандартах или рекомендациях Комитета научно-технической терминологии АН СССР.

СТ СЭВ 1052—78 устанавливает предпочтительное применение международных обозначений единиц. Русские обозначения единиц в соответствии с примечанием на с. 2 указанного стандарта следует применять только в необходимых случаях. Кроме того, нужно помнить, что согласно п. 5.1 СТ СЭВ 1052—78 в печатных изданиях допускается применять либо международные, либо русские обозначения. Одновременное применение обоих видов обозначений единиц в данном справочнике объясняется тем, что он представляет собой публикацию по единицам физических величин.

## 3.1. Основные единицы СИ

### 3.1.1. Единица длины — метр

Метр равен 1 650 763, 73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями  $2p_{10}$  и  $5d_5$  атома криптона-86.

Такое определение метра было принято XI Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960 г. (резолюция 6) и включено в ГОСТ 8.417—81 и стандарт СЭВ СТ СЭВ 1052—78 на единицы.

Эта единица длины получила свое название от греческого слова *μετρον* (что в переводе означает «мера») в период установления Метрической системы мер во Франции. Теоретически метр определялся как длина одной десятиллионной доли четверти парижского меридиана, что, по мнению ученых, делало эту единицу длины «естественной» мерой, т. е. взятой непосредственно из природы.

Исходя из этого теоретического определения и измерения части дуги парижского меридиана, в 1799 г. был изготовлен эталон метра («метр Архива») в виде платиновой линейки шириной около 25 мм, толщиной около 4 мм и длиной 1 м. В результате повторных измерений, проведенных в XIX в., оказалось, что длина принятого метра короче «естественного» метра. Практическая невозможность реализации теоретического «естественного» метра, удовлетворяющего требованиям неизменности и точности воспроизведения, побудила метрологические организации перейти от «естественного» эталона метра к эталону, основанному на метре Архива. По этому эталону как первичному был изготовлен 31 эталон метра в виде штриховой меры из сплава иридия с платиной. Эталон метра № 6, в наибольшей мере при 0° С совпадающий с метром Архива, был утвержден в 1889 г. I Генеральной конференцией по мерам и весам в качестве международного прототипа метра. Остальные эталоны были распределены между странами — участниками Метрической конвенции. Россия получила в 1889 г. эталон метра № 28, который впоследствии был утвержден в качестве Государственного эталона СССР.

До октября 1960 г. действовало следующее определение метра, утвержденное VII Генеральной конференцией по мерам и весам: «Единица длины — метр — определяется расстоянием при температуре 0 °С между осями двух средних штрихов, нанесенных на платиново-иридиевом бруске, хранящемся в Международном бюро мер и весов и принятом в качестве прототипа I Генеральной конференции по мерам и весам, при условии, что эта линейка находится при нормальном атмосферном давлении и поддерживается двумя роликами диаметром не менее 1 см, расположенными симметрично в одной горизонтальной плоскости на расстоянии 571 мм один от другого».

Штриховой эталон метра обладает двумя основными недостатками: во-первых, в нем теряется естественная мера метра и, во-

вторых, штриховая мера не может обеспечить необходимую точность воспроизведения метра. Последнее связано с тем, что ширина штрихов равна приблизительно 10 мкм и поэтому воспроизвести метр с погрешностью, меньшей 0,1 мкм, практически невозможно.

Переход к световому эталону метра возвратил метру характер естественной меры и, как показали последующие исследования, позволил значительно повысить точность его воспроизведения, что имеет важное значение для современного приборостроения и точного машиностроения. С помощью светового эталона можно обеспечить точность воспроизведения метра не менее  $5 \cdot 10^{-9}$  (вместо  $10^{-7}$  с помощью штриховой меры).

Установление светового эталона метра оказалось сложной задачей, так как из-за особенностей атомных систем спектральные линии не являются бесконечно тонкими, и поэтому данному переходу соответствует не одна длина волны, а интервал длин волн (хотя и очень узкий). Ширина этого интервала длин волн (которая ограничивает точность эталона метра) зависит от сорта выбранных атомов и физических условий, при которых происходит излучательный переход.

Для решения этой задачи Международный комитет мер и весов в 1952 г. образовал специальный Консультативный комитет, который пришел в конечном результате к следующему выводу. Наилучшей спектральной линией для установления эталона метра является оранжевая спектральная линия, излучаемая атомами изотопа  $Kr^{86}$  при переходе уровня с условным обозначением  $2p_{10}$  на уровень  $5d_5$  при строго определенных условиях. В связи с этим консультативный комитет подготовил специальную рекомендацию по данному вопросу, которая и легла в основу определения метра, принятого XI Генеральной конференцией по мерам и весам. По решению конференции, Международный комитет разработал инструкцию, в которой указаны конструктивные характеристики излучателя и установлены параметры, при которых должна излучаться эталонная длина волны.

В СССР разработан Государственный первичный эталон метра, обеспечивающий воспроизведение этой единицы со среднеквадратичным отклонением результата измерений, не превышающим  $5 \cdot 10^{-9}$ .

### 3.1.2. Единица массы — килограмм

К и л о г р а м м равен массе международного прототипа килограмма.

Это определение килограмма было принято на III Генеральной конференции по мерам и весам (1901 г.). Без изменения оно принято в ГОСТ 8.417—81 и в СТ СЭВ 1052—78.

Единица впервые была установлена в период разработки Метрической системы мер, причем сначала из-за отсутствия четкого разграничения понятий «масса» и «вес» эта единица воспроизводилась

весом одного кубического дециметра дистиллированной воды при температуре ее наибольшей плотности ( $4^{\circ}\text{C}$ ). Объем, занимаемый в этих условиях килограммом воды, был принят за единицу вместимости — литр. Таким образом для килограмма устанавливалась вполне определенная естественная мера, которая воспроизводилась специально изготовленным эталоном в виде платино-иридиевого цилиндра, имеющего одинаковые высоту и диаметр — 39 мм. Эталон получил название «килограмм Архива», так как он был передан на хранение в Национальный Архив Франции.

Последующая проверка показала, что килограмм Архива на 0,028 г больше естественной меры. В результате этого снова возник вопрос о естественной мере килограмма. Международная комиссия по эталонам Метрической системы мер в 1872 г. решила не менять прототип килограмма и в качестве единственной меры сохранить килограмм Архива. По решению комиссии было изготовлено 42 платино-иридиевых эталона килограмма и тот эталон, масса которого была наиболее близкой к массе килограмма Архива, был утвержден в качестве Международного прототипа килограмма. Он хранится в Международном бюро мер и весов в Севре (Франция).

Другие эталоны по жребию были распределены между государствами-участниками Метрической конвенции. Россия получила 2 эталона: № 12 и № 26. Первый из них является первичным Государственным эталоном килограмма СССР, второй — первым эталоном-копией, который заменяет первичный эталон в период его нахождения в Международном бюро мер и весов.

Для устранения существовавшей путаницы между единицами веса и массы I Генеральная конференция (1899 г.) утвердила Международный прототип килограмма в качестве прототипа единицы массы. Это решение было принято в связи с тем, что вес тела, в отличие от его массы, зависит от его положения на поверхности Земли (от широты места и высоты над уровнем моря).

В связи с принятием в качестве единицы массы Международного прототипа килограмма, единица вместимости — литр стала отличаться от кубического дециметра ( $1\text{ л} = 1,000\ 028\ \text{дм}^3$ ), что вызвало большие неудобства на практике. Для устранения этого недостатка XII Генеральная конференция по мерам и весам (1964 г.) приняла решение считать, что 1 литр равен 1 кубическому дециметру. Единицу литр не рекомендуется применять для выражения результатов высокоточных измерений объема.

Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы массы килограмма и передачу ее значения вторичным эталонам со средним квадратичным отклонением результата, не превышающим 0,007 мг.

Точность воспроизведения единицы массы в основном удовлетворяет запросам современной науки и техники. Однако перспективы их развития требуют дальнейшего повышения точности воспроизведения единицы массы. Кроме того, разрушимость и невоспроизводимость Международного прототипа килограмма оставляет

в центре внимания метрологов проблему установления естественной меры для килограмма.

В настоящее время проводятся исследования по выяснению возможности выражения единицы массы через атомные константы.

### 3.1.3. Единица времени — секунда

Секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Данное определение секунды было принято в 1967 г. XIII Генеральной конференцией по мерам и весам (резолюция 1) и включено в стандарт СЭВ.

В разные времена и у разных народов в качестве единиц времени выбирались сутки или год, которым соответствовали периоды обращения Земли вокруг собственной оси и обращения Земли вокруг Солнца.

Во всех прежних системах единиц до 1960 г. секунда определялась как длительность интервала времени, равного  $\frac{1}{86400}$  части продолжительности средних солнечных суток. Международный астрономический союз и Международный комитет мер и весов проделали большую работу по установлению нового, более точного естественного эталона единицы времени — секунды. По рекомендации этих организаций в 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам приняла такое теоретическое определение секунды: «Секунда —  $\frac{1}{31\,556\,925,9747}$  часть тропического года для 1900 г. января 0 в 12 часов эфемеридного времени». Такое определение в 1961 г. было принято и в СССР (ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц»).

Для понимания смысла этого определения нужно иметь в виду следующее. Под тропическим годом подразумевается промежуток времени, равный периоду обращения Земли вокруг Солнца, что соответствует, например, времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия.

Тропический год не является строго постоянной величиной (он за столетие изменяется примерно на 0,5 с), поэтому в определении секунды сделана специальная ссылка на конкретный год, который для гринвичского меридиана начался в полдень 31 декабря 1899 г. Выбор 1900 г. делает секунду равной ее средней продолжительности за последние 300 лет.

Указание в определении секунды на эфемеридное время связано с тем, что под ним подразумевалось равномерно текущее время, которое устанавливается с помощью эфемерид-астрономических сборников о положении небесных светил через определенные промежутки равномерно текущего времени, не зависящего от нерегулярностей движения Земли.

Развитие современной физики открыло новые возможности для дальнейшего повышения точности воспроизведения единицы времени. В этом отношении перспективными оказались молекулярные и атомные эталоны частоты — атомные часы. В них частота стабилизируется электрическими колебаниями, происходящими в атомах и молекулах, что приводит к снижению относительной погрешности воспроизведения единицы времени до  $10^{-10}$ — $10^{-11}$ .

Для решения вопроса об использовании атомных часов в качестве эталонов единицы времени Международный комитет мер и весов организовал Консультативный комитет по определению секунды.

Государственный первичный эталон времени и частоты СССР обеспечивает воспроизведение единиц времени и частоты со среднеквадратичным отклонением результата измерений, не превышающим  $1 \cdot 10^{-13}$  при неисключенной систематической погрешности, не превышающей  $4 \cdot 10^{-12}$ .

### 3.1.4. Единица силы электрического тока — ампер

**А м п е р** 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.

Такое теоретическое определение единицы силы тока — ампера было установлено IX Генеральной конференцией по мерам и весам в 1948 г. (резолюция 2), а затем было использовано при разработке Международной системы единиц. Это определение включено в ГОСТ 8.417—81 и в СТ СЭВ 1052—78.

Новое определение ампера основано на пондермоторном (механическом) действии тока при его прохождении по двум бесконечным прямолинейным параллельным проводникам, расположенным в вакууме. Это действие описывается законом Ампера:  $F = \mu_0 I^2 l / 2\pi d$  (3.1), где  $d$  — расстояние между проводниками;  $l$  — длина участка проводника, к которому приложена сила  $F$ . Полагая в этой формуле  $I = 1$  А,  $d = l = 1$  м и учитывая, что  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м, получаем, что  $F$ , как и в определении ампера, составляет  $2 \cdot 10^{-7}$  Н. Таким образом, пользуясь данным теоретическим определением ампера, единицу силы тока можно воспроизвести с большой точностью, поскольку в настоящее время разработана высокочувствительная методика определения силы.

Конечно, непосредственно реализовать экспериментальную установку, соответствующую этому теоретическому определению ампера, невозможно, так как в нем говорится о бесконечно длинных проводниках, имеющих ничтожно малое сечение. Однако, исходя из закона Ампера, можно с большой точностью теоретически расчитать, например, силу электродинамического взаимодействия

двух катушек с током. Эта сила выражается простым законом:  $F = kI_1I_2$  (3.2), где  $I_1, I_2$  — силы токов во взаимодействующих катушках;  $k$  — коэффициент пропорциональности (постоянная электродинамической системы), зависящей от взаимного расположения и геометрических размеров катушек, а также от магнитных свойств среды. Силу взаимодействия между катушками можно с большей точностью измерить, уравневав ее какой-либо механической силой, например весом гири. Такие установки разработаны метрологическими организациями. Они известны под названием токовых весов (ампер-весов).

Обычно токовые весы представляют собой равноплечные весы высокой чувствительности, у которых вместо одной из чашек подвешена плоская катушка, уравновешиваемая гирями, помещенными на другую чашку. Коаксиально катушке, подвешенной к одному из плеч рычага равноплечных весов, располагается вторая катушка, не связанная с весами и в течение опыта остающаяся неподвижной. Обе катушки соединяют последовательно, и в образовавшуюся электрическую цепь включают нормальный элемент. При прохождении тока по катушкам подвижная катушка притягивается к неподвижной и равновесие весов нарушается. Для восстановления равновесия на чашку весов кладутся гири, вес которых и определяет искомую силу взаимодействия  $F$ .

Токовые весы позволяют воспроизводить ампер со среднеквадратичным отклонением результата измерений, не превышающим  $4 \cdot 10^{-6}$  при неисключенной систематической погрешности, равной  $8 \cdot 10^{-6}$ . Эта точность вполне удовлетворяет современным требованиям науки и измерительной техники. Однако дальнейший научно-технический прогресс, естественно, выдвинет более высокие требования к воспроизведению ампера — одной из основных единиц СИ.

К этому следует добавить необходимость удовлетворения метрологического требования, заключающегося в установлении связи ампера с естественной мерой.

Новейшие достижения ядерной физики открывают широкие возможности установления связи ампера с константами, характеризующими атомные ядра и элементарные частицы.

### **3.1.5. Единица термодинамической температуры — кельвин. Температурные шкалы**

К е л в и н равен  $1/273,16$  части термодинамической температуры тройной точки воды.

Это определение единицы термодинамической температуры было установлено XIII Генеральной конференцией по мерам и весам в 1967 г. (резолюция 4). Оно принято и в СТ СЭВ 1052—78.

До 1967 г. единица называлась «градус Кельвина» и обозначалась  $^{\circ}\text{K}$ .

Большое распространение получила температурная шкала Цельсия, в которой за исходный температурный интервал принят

интервал, заключенный между температурами плавления льда и кипения воды при нормальном атмосферном давлении. Первая из этих температур считается равной  $0^\circ\text{C}$ , вторая —  $100^\circ\text{C}$ . Весь интервал делится на 100 равных частей — градусов Цельсия.

С метрологической точки зрения измерения температур с помощью термометрических тел страдают серьезным недостатком. Строго говоря, любые температурные признаки имеют нелинейную зависимость от температуры, и это значительно усложняет установление температурных шкал, из-за чего температурные шкалы фактически оказываются зависящими от выбора термометрических тел.

Знаменитый английский физик В. Кельвин (1842—1907) впервые установил принципиальную возможность построения температурной шкалы, не зависящей от термометрических тел, если воспользоваться вторым началом термодинамики в формулировке Карно. Формулировка (теорема Карно) гласит, что коэффициент полезного действия  $\eta$  обратимого цикла Карно не зависит от природы рабочего тела и определяется только температурами нагревателя  $T_n$  и холодного тела  $T_x$ .

Если идеальный газ совершает обратимый цикл Карно, то его коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{Q_n - Q_x}{Q_n} = \frac{T_n - T_x}{T_n}, \quad (3.3)$$

где  $Q_n$  — количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя;  $Q_x$  — количество теплоты, переданное рабочим телом холодному телу.

Из соотношения (3.3) непосредственно вытекает, что  $Q_n/Q_x = T_n/T_x$  (3.4). Согласно Кельвину, осуществив обратимый цикл Карно между известной температурой  $T_0$  (например, температурой плавления льда), соответствующей температуре холодного тела, и неизвестной температурой  $T$ , соответствующей температуре нагревателя, и определив отношение  $Q_n/Q_x$ , можно найти неизвестную температуру по формуле

$$T = \frac{Q_n}{Q_x} T_0. \quad (3.5)$$

Очевидно, что абсолютный нуль температуры будет соответствовать такой температуре холодного тела, при которой к. п. д. обратимого цикла Карно при любой температуре нагревателя равен единице. Поскольку построение шкалы температуры в способе, предложенном Кельвиным, не зависит от природы рабочего тела (термометрического тела), такую шкалу назвали абсолютной термодинамической шкалой (термодинамической шкалой Кельвина).

Нужно иметь в виду, что построение термодинамической шкалы является чисто теоретическим, так как практически реализовать обратимый цикл Карно невозможно: все циклы, реализующиеся в природе, необратимы. Эта трудность в практической реализации

термодинамической шкалы, как показал Кельвин, может быть преодолена, поскольку термодинамическая шкала совпадает с температурной шкалой, установленной с помощью идеального газового термометра. Поэтому термодинамическую шкалу температур можно построить с достаточной для практики степенью точности, используя газовый термометр с сильно разреженным газом, свойства которого близки к свойствам идеального газа.

Для установления преемственности с широко распространенной температурной шкалой Цельсия размер единицы температуры, определяемой по термодинамической шкале, был выбран равным градусу Цельсия.

Как показали независимо друг от друга В. Кельвин и Д. И. Менделеев, выбор двух реперных точек для построения шкалы Цельсия (температуры таяния льда и температуры кипения воды) с метрологической точки зрения неудачен, так как он снижает точность определения абсолютной термодинамической температуры. Они предложили использовать для построения шкалы одну реперную точку.

Консультативный комитет по термометрии, созданный Международным комитетом мер и весов, конкретизировал это предложение, приняв термодинамическую температурную шкалу с одной реперной точкой — тройной точкой воды, которая соответствует термодинамическому равновесию трех фаз  $H_2O$  (твердой, жидкой и газообразной). Эта точка на  $0,01^\circ C$  выше температуры плавления льда при нормальном давлении. В качестве второй (нижней границы температурного интервала) была выбрана точка абсолютного нуля температур. Эти положения были официально закреплены в резолюции, принятой в 1954 г. X Генеральной конференцией по мерам и весам, которая постановила определить термодинамическую температурную шкалу при помощи тройной точки воды в качестве основной реперной точки, присвоив ей температуру  $273,16 K$  (точно).

Экспериментальные трудности реализации термодинамической шкалы температур привели к установлению Международной практической температурной шкалы, которая была принята VII Генеральной конференцией.

Абсолютная термодинамическая температура обозначается буквой  $T$ , а термодинамическая температура в градусах Цельсия —  $t$ . Связь между этими температурами выражается соотношением  $t = T - T_0$  (3,6), где  $T_0$  — температурный промежуток, на который смещается начало отсчета ( $T_0 = 273,15 K$ ).

В 1968 г. Международный комитет мер и весов принял новое положение о Международной практической температурной шкале (МПТШ—68), которая обеспечивает максимальное приближение к температуре, выраженной по термодинамической шкале. Различие температур в этих двух шкалах не превышает погрешностей измерения температуры при современном уровне измерений температуры.

Таблица 8. Определяющие постоянные точки МПТШ—68<sup>1</sup>

Состояние равновесия	Присвоенное значение международной практической температуры	
	$T_{68}K$	$t_{68}^{\circ}C$
Равновесие между твердой, жидкой и газообразной фазами равновесного водорода (тройная точка равновесного водорода)	13,81	—259,84
Равновесие между жидкой и газообразной фазами равновесного водорода при давлении 33330,6 Па (25/76 нормальной атмосферы)	17,042	—256,108
Равновесие между жидкой и газообразной фазами равновесного водорода (точка кипения равновесного водорода)	20,28	—252,87
Равновесие между жидкой и газообразной фазами неона (точка кипения неона)	27,102	—246,048
Равновесие между твердой, жидкой и газообразной фазами кислорода (тройная точка кислорода)	54,361	—218,789
Равновесие между жидкой и газообразной фазами кислорода (точка кипения кислорода)	90,188	—182,962
Равновесие между твердой, жидкой и газообразной фазами воды (тройная точка воды) <sup>2</sup>	273,16	0,01
Равновесие между жидкой и парообразной фазами воды (точка кипения воды) <sup>2</sup>	373,15	100
Равновесие между твердой и жидкой фазами цинка (точка затвердевания цинка)	692,73	419,58
Равновесие между твердой и жидкой фазами серебра (точка затвердевания серебра)	1235,08	961,93
Равновесие между твердой и жидкой фазами золота (точка затвердевания золота)	1337,58	1064,43

<sup>1</sup> За исключением тройных точек и одной точки равновесного водорода (17,042 К), присвоенные значения температур действительны для состояний равновесия при давлении 101325 Па (1 нормальная атмосфера). 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.

<sup>2</sup> Применяемая вода должна иметь изотопический состав воды океанов. Вместо точки кипения воды можно применять состояние равновесия между твердой и жидкой фазами олова (точку затвердевания олова) с присвоенным значением  $t_{68} = 231,9681^{\circ}C$ .

Международная практическая температура в случае, если ее необходимо отличить от термодинамической температуры, имеет в обозначении индекс «68» ( $t_{68}$ ,  $T_{68}$ ). Если это не вызывает недоумений, индекс опускается. Как указано в стандарте СЭВ, интервал или разность температур допускается выражать как в кельвинах, так и в градусах Цельсия.

Международная практическая температурная шкала 68 базируется на ряде температурных точек, соответствующих опреде-

ленному числу хорошо воспроизводимых состояний равновесия (определяющих постоянных точек), и на специфицированных аттестованных интерполяционных приборах. Интерполяцию между температурами постоянных точек производят по формулам, служащим для установления связи между показаниями этих приборов и значениями международной практической температуры. Определяющие постоянные точки МПТШ—68 приведены в табл. 8.

Для интерполяции в диапазоне температур 13,81 К — 630,74 °С в качестве эталонного прибора применяется платиновый термометр сопротивления. Элемент сопротивления термометра должен быть изготовлен из чистой платины, отожженной и свободной от натяжений. Относительное сопротивление  $W(T_{68})$ , определяемое выражением  $W(T_{68}) = R(T_{68})/R(273,15 \text{ К})$  (3.7), где  $R$  — сопротивление термометра, не должно быть меньше 1,3925 при  $T_{68} = 373,15 \text{ К}$ .

В интервале температур 630,74 ÷ 1064,43 °С в качестве эталонного прибора применяется термопара с электродами платинородий (10 % родия) — платина с зависимостью термо-э. д. с. от температуры, выражаемой уравнением второй степени. Выше температуры 1064,43 °С (1337,58 К) МПТШ—68 определяется по закону излучения Планка при 1337,58 К в качестве исходной температуры и значении  $c_2 = 0,014388 \text{ м} \cdot \text{К}$ .

Таким образом, для измерений температуры допускаются термодинамическая температура, термодинамическая температура Цельсия, международная практическая температура Кельвина, международная практическая температура Цельсия. Фактически речь идет о двух температурах: термодинамической и практической, которые могут быть выражены по шкале Кельвина либо по шкале Цельсия.

В зависимости от шкалы, по которой определена температура, часто применяют термины: температура Кельвина, температура Цельсия либо же термодинамическая температура Кельвина, термодинамическая температура Цельсия, практическая температура Кельвина, практическая температура Цельсия.

### 3.1.6. Единица количества вещества — моль

М о л ь равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углеводе-12 массой 0,012 кг.

При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц.

Международный комитет мер и весов на своей сессии в октябре 1969 г. принял решение о включении в состав основных единиц Международной системы единиц еще одной единицы — моля в качестве единицы количества вещества. Это решение было обсуждено и утверждено на XIV Генеральной конференции по мерам и весам

в октябре 1971 г. (резолюция 3). На этой же конференции было принято и приведенное выше определение моля. В таком же виде определение моля включено в стандарт СЭВ «Единицы физических величин» и в ГОСТ 8.417—81 «ГСИ. Единицы физических величин (СТ СЭВ 1052—78)».

Наименование «моль» происходит от латинского слова *moles*, что означает количество, массу или счетное множество.

Понятие о единице количества вещества моле возникло в XIX в., но его считали индивидуальной единицей массы, различной для конкретных веществ. Эта точка зрения обосновывалась исходя из предпосылок о постоянстве массы атомов данного изотопа и их тождественности.

В 1913 г. Авогадро высказал предположение (которое в дальнейшем было строго обосновано) о том, что равные объемы различных газов при одинаковых внешних условиях содержат одинаковое количество молекул. Число молекул газа, содержащихся в объеме  $V_0 = 22,414 \text{ дм}^3$  при температуре  $0^\circ\text{C}$  и нормальном атмосферном давлении, оказалось равным универсальной постоянной (постоянной Авогадро), значение которой по данным на 1973 г. принято  $N_A = (6,022\ 045 \pm 0,000\ 031) \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ . Считалось, что масса этого количества атомов или молекул для каждого вещества является константой, которую можно использовать для выражения массы любого количества данного вещества.

Однако представление о пропорциональности массы и количества вещества, как показало развитие атомной физики в XX в., оказалось недостаточно строгим. В квантовой теории атомов и молекул показано, что их энергия в различных стационарных состояниях различна. Но между массой  $m$  и энергией  $W$ , как установлено в теории относительности, существует взаимосвязь, которая может быть выражена формулой  $m = W/c^2$  (3.8), где  $c$  — константа, равная скорости света в вакууме. Отсюда следует, что масса атомов и молекул зависит от их энергетического состояния и, следовательно, строго говоря, масса и количество вещества не являются тождественными физическими величинами.

Моль как единица количества вещества нашла широкое применение в химии и молекулярной физике. Часто используется и кратная единица киломоль, которая равна  $10^3$  моль. На основе моля построен ряд производных единиц.

### 3.1.7. Единица силы света — кандела

Кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет  $1/683$  Вт/ср.

Такое определение единицы силы света было утверждено XVI Генеральной конференцией по мерам и весам (1979 г.) в резолюции 3. В таком же виде оно включено в ГОСТ 8.417—81.

Название единицы происходит от латинского слова *candela*, что означает свеча. До 1970 г. в СССР для этой единицы применялось наименование «свеча».

Установление единицы силы света, естественно, опиралось на предшествующие метрологические работы в этом направлении. Первые эталоны силы света появились в начале XIX в. Ими были изготовленные по особой спецификации стеариновые, спермацетовые или парафиновые свечи. Первая международная единица силы света предложена Виолем и принята на Международном конгрессе электриков в 1881 г. Единица равнялась силе света, испускаемого одним квадратным сантиметром поверхности затвердевающей платины в направлении, перпендикулярном к поверхности. Большие трудности, возникшие при изготовлении эталона этой единицы, привели к тому, что на Международном конгрессе электриков в 1893 г. в качестве эталона силы света была принята нормальная лампа Гефнера—Альтенека. В ней при определенных условиях, обеспечивающих заданную высоту и ширину пламени, сжигался чистый амилацетат.

Для единицы силы света в 1909 г. приняли наименование «международная свеча», а пламенные эталоны силы света в соответствии с разработанной спецификацией заменили эталонными электрическими лампами. К концу тридцатых годов XX в. создали новые эталоны единицы силы света, в которых использовались свойства полных излучателей. Под полными излучателями подразумеваются излучатели, спектральное распределение излучения которых при данной температуре совпадает с излучением абсолютно черного тела при той же температуре.

В 1946 г. Международный комитет мер и весов принял новые значения для световых единиц (см. п. 4.4.5), и с 1 января 1948 г. «новая свеча» с прежней свечой связывалась таким соотношением: 1 прежняя свеча = 1,005 новой свечи.

На IX Генеральной конференции по мерам и весам (1948 г.) было решено заменить наименование «новая свеча» (*bongie nouvelle*) наименованием «кандела» (*candela*).

Государственный первичный эталон СССР обеспечивает воспроизведение канделы со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим  $2 \cdot 10^{-3}$  при неисключенной систематической погрешности, не превышающей  $6 \cdot 10^{-8}$ .

## **3.2. Дополнительные единицы СИ**

### **3.2.1. Единица плоского угла — радиан**

**Р а д и а н** равен углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу.

Плоский угол  $\varphi$  в радианах определяется формулой  $\varphi = l/r$  (3.9), где  $l$  — длина дуги;  $r$  — радиус окружности. Из формулы (3.9) следует, что радиан имеет нулевую размерность относительно

всех основных единиц и поэтому он не зависит от систем единиц. В СИ он включен в качестве дополнительной единицы, так как с его помощью выражается ряд производных единиц данной системы (единицы угловой скорости, углового ускорения и др.).

Радиан — удобная единица для проведения теоретических исследований и выполнения расчетных работ, но для практических измерений он весьма неудобен, поскольку не укладывается целое число раз в полный угол. Более того, полный угол выражается в радианах иррациональным числом  $2\pi$ . На практике плоские углы измеряются в большинстве случаев с помощью внесистемных единиц — угловых градусов, угловых минут и угловых секунд, которыми проградуировано большинство угломерных приборов. Применяются и другие внесистемные угловые единицы.

Связь между значением плоского угла в радианах и в градусах выражается соотношением

$$1 \text{ рад} = \frac{180^\circ}{\pi} \cong 57,2957795^\circ \cong 57^\circ 17' 44,8''.$$

В связи с развитием станкостроения, приборостроения, космонавтики и других областей техники в последние годы резко возросла необходимость во все более точном измерении плоских углов. Это вызывает потребность в повышении точности эталонов, воспроизводящих плоские углы.

В СССР в качестве эталона единицы плоского угла используется находящийся в НПО ВНИИМ им. Д. И. Менделеева комплекс средств измерений для воспроизведения единицы угла с помощью многогранных призм. Это связано с тем, что сумма всех центральных смежных углов многогранной призмы равна  $2\pi$  радиан ( $360^\circ$ ).

Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение радиана со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим  $0,02''$  при неисключенной систематической погрешности, не превышающей  $0,02''$ .

### 3.2.2. Единица телесного угла — стерадиан

С т е р а д и а н равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Это определение включено в соответствующие резолюции Генеральных конференций по мерам и весам и вошло в стандарт СЭВ.

Под телесным углом подразумевают часть пространства, ограниченную прямыми линиями, проведенными из одной точки (вершины) ко всем точкам какой-либо замкнутой кривой. Другими словами, телесным углом называется часть пространства, ограниченная конической поверхностью, имеющей замкнутую направляющую. Исходя из данных определений телесный угол можно выразить как отношение площади  $S$  поверхности, вырезаемой рассматриваемой конической поверхностью на поверхности сферы, к квадрату радиуса

этой сферы:  $\tau = S/r^2$  (3.10). Нетрудно видеть, что пространственный угол — безразмерная величина, в связи с чем стерадиан, как и радиан, не зависит от основных единиц СИ.

Полная сфера рассматривается из вершины под полным углом  $\tau$ :  $\tau = 4\pi r^2/r^2 = 4\pi_{\text{ср}}$ . (3.11). В связи с этим стерадиан, как и радиан, неудобен для практических измерений телесных углов. Измерительных приборов, проградуированных в стерадианах, не существует. Вместе с тем данная единица телесного угла удобна для проведения теоретических исследований и выполнения различных расчетных работ.

### 3.3. Производные единицы пространства и времени

При установлении производных единиц, не приведенных в стандарте, следует исходить из рекомендации, приведенной в СТ СЭВ 1052—78 «Метрология. Единицы физических величин», где указано, что производные единицы СИ следует образовывать из основных и дополнительных единиц СИ по правилам образования когерентных производных единиц. При этом некоторые производные единицы, имеющие специальные наименования, также могут быть использованы для образования других производных единиц СИ.

Когерентные производные единицы Международной системы, как правило, образуют с помощью простейших уравнений связи между величинами (определяющих уравнений), в которых числовые коэффициенты принимаются равными 1. Для образования производных единиц величины в уравнениях связи принимаются равными единицам СИ.

**Пример.** Единицу скорости образуют с помощью уравнения, определяющего скорость прямолинейно и равномерно движущейся точки:  $v = k \frac{l}{t}$ , где  $v$  — скорость;  $l$  — длина пройденного пути;  $t$  — время движения точки;  $k$  — коэффициент пропорциональности

Принимая  $k = 1$  и подставляя вместо  $l$  и  $t$  их единицы СИ, получаем  $[v] = [l]/[t] = 1 \text{ м/с}$  (1 m/s). Отсюда следует, что единицей скорости СИ является метр в секунду. Эта единица равна скорости прямолинейно и равномерно движущейся точки, при которой данная точка за время 1 с перемещается на расстояние 1 м.

В стандарте СЭВ приводится пример установления когерентной единицы СИ в случае, когда применяется уравнение связи, содержащее числовой коэффициент, отличный от 1. Для образования когерентной производной единицы СИ в первую часть подставляют величины со значениями в единицах СИ, дающими после умножения на коэффициент общее числовое значение, равное 1. Этот пример рассмотрен ниже при установлении единицы кинетической энергии тела.

**Площадь** ( $S$ ,  $F$ ,  $A$ ). Площадь поверхности существенно зависит от ее формы и линейных размеров. В качестве определяющего

уравнения для площади удобно взять формулу площади квадрата  $S = l^2$ . Из этого уравнения следует, что размерность площади  $\dim S = L^2$ .

Пользуясь определяющим уравнением, легко установить единицу площади СИ, которая называется квадратным метром.

К в а д р а т н ы й м е т р ( $m^2$ ,  $m^2$ ) равен площади квадрата со сторонами, длины которых равны 1 м.

**Объем, вместимость ( $V$ ,  $v$ ).** Объем тела или вместимость сосуда определяется его формой и линейными размерами.

В Методических указаниях РД 50—160—79 обращено внимание на то, что термин «объем» обычно применяют для характеристики пространства, занимаемого телом или веществом. Под вместимостью понимают объем внутреннего пространства сосуда или аппарата. Под объемом сосуда, аппарата понимают объем пространства, ограниченного внешней поверхностью сосуда, аппарата. Например, правильно сказать: в сосуде вместимостью  $6,3 \text{ м}^3$  находится жидкость объемом  $5 \text{ м}^3$ . Применение термина «емкость» для характеристик внутреннего пространства сосудов и аппаратов не рекомендуется. Самым простым определяющим уравнением для объема, очевидно, является формула для объема куба:  $V = l^3$ , из которой следует, что размерность объема  $\dim V = L^3$ . Единица объема — кубический метр.

К у б и ч е с к и й м е т р ( $m^3$ ,  $m^3$ ) равен объему куба с ребрами, длины которых равны 1 м.

¶ Широко распространено неофициальное сокращенное название кубического метра — кубометр.

Для названия  $1 \text{ м}^3$  дров существовало название «стер», теперь устаревшее.

**Скорость ( $v$ ,  $w$ ,  $u$ ).** Скоростью называется физическая величина, характеризующая быстроту и направление движения. Скорость — векторная величина  $\mathbf{v}$ , равная первой производной по времени от радиуса-вектора  $\mathbf{r}$  движущейся точки:  $\mathbf{v} = d\mathbf{r}/dt$ . Вектор скорости совпадает с касательной в данной точке траектории и направлен в направлении движения.

Определяющим уравнением скорости является формула скорости для простейшего случая механического движения материальной точки — равномерного и прямолинейного движения:  $v = l/t$ , где  $l$  — путь, пройденный за время  $t$ . Отсюда получают размерность скорости  $\dim v = LT^{-1}$ .

Единица скорости м е т р в с е к у н д у ( $m/s$ ,  $m/c$ ) равна скорости прямолинейно и равномерно движущейся точки, при которой эта точка за время 1 с перемещается на расстояние 1 м.

**Ускорение ( $a$ ,  $j$ ).** Ускорение — физическая величина, характеризующая быстроту изменения числового значения и направления скорости. Ускорением называют векторную величину  $\mathbf{a}$ , равную первой производной вектора скорости или второй производной радиуса вектора  $\mathbf{r}$  движущейся точки по времени:  $\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt = = d^2\mathbf{r}/dt^2$ . Простейшим случаем переменного движения материаль-

ной точки является прямолинейное и равноускоренное движение, которому соответствует следующее определяющее уравнение:  $a = \Delta v / \Delta t$ , где  $\Delta v$  — изменение скорости за время  $\Delta t$ . Из этого уравнения следует, что размерность ускорения  $\dim a = \text{ЛТ}^{-2}$ .

Поэтому единицей ускорения СИ является метр на секунду в квадрате ( $\text{м/с}$ ,  $\text{м/с}^2$ ), который равен ускорению прямолинейно и равноускоренно движущейся точки, при котором за время 1 с скорость точки возрастает на 1 м/с.

**Период ( $T$ ,  $\tau$ ).** Периодом некоторого процесса называется физическая величина, равная времени, в течение которого завершается один полный цикл этого процесса (одно полное колебание, один полный оборот, одно периодически повторяющееся дискретное событие — удар, импульс и т. д.).

Единицей периода является единица времени — секунда ( $\text{с}$ ,  $\text{s}$ ).

**Частота периодического процесса ( $\nu$ ,  $f$ ).** Частотой периодического процесса называется физическая величина, равная числу полных циклов, совершающихся за единицу времени. Отсюда следует, что определяющим уравнением для этой величины является  $\nu = 1/T$ . Если в этом уравнении принять, что  $T = 1 \text{ с}$ , получим единицу частоты СИ:  $[\nu] = 1/1 \text{ с} = 1 \text{ с}^{-1} = 1 \text{ Гц}$ , которая называется герцем.

Герц ( $\text{Гц}$ ,  $\text{Гц}$ ) равен частоте периодического процесса, при которой за время 1 с происходит один цикл периодического процесса.

**Частота дискретных событий ( $n$ )** (импульсов, ударов и т. д.). Частотой дискретных событий называется физическая величина, равная числу дискретных событий, происходящих за единицу времени.

Определяющее уравнение для этой величины имеет вид  $n = 1/\tau$ , где  $\tau$  — время, в течение которого происходит одно событие. Единица частоты дискретных событий  $[n] = 1 \text{ с}^{-1}$ . Ей присвоено наименование секунда в минус первой степени.

Секунда в минус первой степени ( $\text{с}^{-1} \text{ с}^{-1}$ ) равна частоте дискретных событий, при которой за время 1 с совершается одно событие.

**Частота вращения ( $n$ ).** Частотой вращения называется физическая величина, равная числу полных оборотов за единицу времени, которое совершается телом при его вращении. Определяющим уравнением частоты вращения является соотношение  $n = 1/T$ , где  $T$  — период вращения, т. е. время, затрачиваемое на один полный оборот. Подставив сюда  $T = 1 \text{ с}$ , получим  $[n] = 1 \text{ с}^{-1}$ . Эта единица, как и единица частоты дискретных событий, называется секундой в минус первой степени.

Секунда в минус первой степени ( $\text{с}^{-1}$ ,  $\text{с}^{-1}$ ) равна частоте вращения, при которой за время 1 с происходит один цикл вращения (один оборот).

Нетрудно видеть, что размерности частоты периодического процесса, частоты дискретных событий и частоты вращения совпадают:  $\dim \nu = \dim n = \text{T}^{-1}$ .

**Угловая скорость** ( $\omega$ ). Угловой скоростью называется векторная физическая величина  $\omega$ , численно равная первой производной от угла поворота тела  $\varphi$  по времени и направленная вдоль оси вращения так, чтобы из конца вектора  $\omega$  вращение тела представлялось происходящим против часовой стрелки:  $\omega = d\varphi/dt$ .

Наиболее простой случай вращательного движения твердого тела — его равномерное вращение вокруг неподвижной оси.

Формула угловой скорости для такого движения принимается в качестве определяющего уравнения угловой скорости:  $\omega = \Delta\varphi/\Delta t$ , где  $\Delta\varphi$  — угол поворота за время  $\Delta t$ .

Считая  $\Delta\varphi = 1$  рад,  $\Delta t = 1$  с, для единицы угловой скорости получаем соотношение  $[\omega] = 1$  рад/с. Эта единица называется радианом в секунду.

**Радиан в секунду** (rad/s, рад/с) равен угловой скорости равномерно вращающегося тела, при которой за время 1 с совершается поворот тела относительно оси вращения на угол 1 рад. Поскольку радиан в СИ — единица безразмерная, размерность угловой скорости совпадает с размерностью частоты:  $\dim \omega = T^{-1}$ .

**Угловое ускорение** ( $\epsilon$ ,  $\alpha$ ). Угловое ускорение является векторной физической величиной, характеризующей быстроту изменения во времени вектора угловой скорости. Поэтому угловым ускорением называют вектор  $\epsilon$ , равный первой производной от вектора угловой скорости  $\omega$  по времени:  $\epsilon = d\omega/dt$ .

Этот вектор при неподвижной оси вращения по направлению совпадает с вектором угловой скорости при ускоренном вращении и направлен в сторону, противоположную вектору угловой скорости, если вращение замедленное.

Простейшим случаем переменного вращательного движения тела является равномерно-переменное вращательное движение вокруг неподвижной оси. В этом случае угловое ускорение постоянное и для него справедливо выражение  $\epsilon = \Delta\omega/\Delta t$ , где  $\Delta\omega$  — изменение угловой скорости за время  $\Delta t$ . Единица углового ускорения определяется соотношением

$$[\epsilon] = \frac{1 \text{ рад/с}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ рад/с}^2.$$

**Радиан на секунду в квадрате** (rad/s<sup>2</sup>, рад/с<sup>2</sup>) равен угловому ускорению равноускоренно вращающегося тела, при котором за время 1 с угловая скорость тела изменяется на 1 рад/с. Размерность углового ускорения  $\dim \epsilon = T^{-2}$ .

**Волновое число** ( $\nu$ ,  $\sigma$ ). Волновое число  $\nu$  является величиной, обратной длине волны  $\lambda$ . Оно показывает, сколько длин волн уместится на единице длины. Определяющее уравнение для волнового числа имеет вид  $\nu = 1/\lambda$ . Отсюда следует, что  $[\nu] = 1/\text{м} = 1 \text{ м}^{-1}$ . Размерность волнового числа  $\dim \nu = L^{-1}$ . Волновое число в СИ выражается в метрах в минус первой степени.

**Метр в минус первой степени** (m<sup>-1</sup>, м<sup>-1</sup>) равен волновому числу, при котором на отрезке длиной 1 м укладывается одна длина волны.

Часто под волновым числом подразумевают величину  $k$ , которая связана с длиной волны соотношением  $k = 2\pi/\lambda$ . Она показывает, сколько длин волн укладывается на отрезке длиной  $2\pi$  метров, и представляет собой числовое значение волнового вектора, т. е. вектора  $\vec{k}$ , который равен  $k$  и направлен по направлению луча бегущей волны. Волновое число, понимаемое в этом смысле, также выражается в метрах в минус первой степени.

**Коэффициент затухания** ( $\delta$ ,  $\mu$ ). Коэффициентом (показателем) затухания называется физическая величина, характеризующая быстроту убывания во времени амплитуды затухающих колебаний. Единицу коэффициента затухания можно получить с помощью уравнения  $A = A_0 e^{-\delta t}$ , где  $A$  — амплитуда затухающего колебания в момент времени  $t$ ;  $A_0$  — амплитуда колебания в начальный момент времени  $t_0 = 0$ ;  $\delta$  — коэффициент затухания. Размерность коэффициента затухания  $\dim \delta = T^{-1}$ . Отсюда следует, что в СИ единицей коэффициента затухания является секунда в минус первой степени.

Секунда в минус первой степени ( $s^{-1}$ ,  $c^{-1}$ ) равна коэффициенту затухания, при котором за время 1 с амплитуда гармонических колебаний уменьшается в  $e$  раз, где  $e$  — основание натуральных логарифмов.

**Коэффициент ослабления** ( $\alpha$ ). Коэффициентом ослабления называется физическая величина, характеризующая быстроту убывания амплитуды колебаний, вызываемых волной в поглощающей среде. Единица коэффициента ослабления и его физический смысл могут быть установлены из анализа уравнения  $A = A_0 l^{-\alpha x}$ , в котором  $A$  — амплитуда колебаний в точке среды с координатой  $x$ ;  $A_0$  — амплитуда колебаний в точке с координатой  $x_0 = 0$ ;  $\alpha$  — коэффициент ослабления. Так как произведение  $\alpha x$ , являющееся показателем степени, безразмерно, то размерность коэффициента ослабления  $\dim \alpha = L^{-1}$ .

Из формулы размерности коэффициента ослабления явствует, что его единица в СИ метр в минус первой степени.

Метр в минус первой степени ( $m^{-1}$ ,  $m^{-1}$ ) равен коэффициенту ослабления, при котором на пути длиной 1 м амплитуда гармонических колебаний уменьшается в  $e$  раз, где  $e$  — основание натуральных логарифмов.

**Кривизна** ( $K$ ,  $k$ ,  $\rho$ ). Кривизной  $K$  кривой в данной ее точке называется величина, обратно пропорциональная радиусу кривизны в данной точке. Радиусом кривизны  $R$  в данной точке называют радиус окружности, которая аппроксимирует кривую в этой точке. Для окружности радиус кривизны совпадает с радиусом окружности.

Таким образом, определяющее уравнение для кривизны  $K = 1/R$ . Единица кривизны  $[K] = 1/l = 1\text{ м}^{-1}$ . Размерность кривизны  $\dim K = L^{-1}$ .

Следовательно, единицей кривизны в СИ является метр в минус первой степени.

Метр в минус первой степени ( $m^{-1}$ ,  $m^{-1}$ ) равен кривизне кривой в такой точке, в которой радиус ее кривизны равен 1 м.

**Градиент линейной скорости (grad  $v$ ).** Градиент линейной скорости grad  $v$  при равномерном изменении числового значения скорости с переходом от одного слоя к другому определяется соотношением  $\text{grad } v = (v_2 - v_1)/\Delta l$ , где  $v_2$ ,  $v_1$  — числовые значения линейных скоростей в двух слоях, отстоящих друг от друга на расстоянии  $\Delta l$ . На основании этого уравнения единица градиента линейной скорости будет  $[\text{grad } v] = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}/1 \text{ м} = 1 \text{ с}^{-1}$ .

Размерность градиента линейной скорости  $\dim(\text{grad } v) = T^{-1}$ . Отсюда следует, что единицей градиента линейной скорости является секунда в минус первой степени.

Секунда в минус первой степени ( $s^{-1}$ ,  $s^{-1}$ ) равна такому градиенту линейной скорости, при котором при перемещении в направлении, перпендикулярном к слоям движущейся жидкости или газа на расстояние 1 м, числовое значение линейной скорости этих слоев изменяется на 1 м/с.

**Градиент линейного ускорения (grad  $a$ ).** Градиент линейного ускорения grad  $a$  при равномерном изменении числового значения ускорения с переходом от одного слоя к другому определяется соотношением  $\text{grad } a = \Delta a/\Delta l$ , где  $\Delta a$  — изменение числового значения ускорения на отрезке длиной  $\Delta l$ .

Единица градиента линейного ускорения  $[\text{grad } a] = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}/1 \text{ м} = 1 \text{ с}^{-2}$ . Размерность градиента линейного ускорения  $\dim(\text{grad } a) = T^{-2}$ . Единица СИ градиента линейного ускорения — секунда в минус второй степени.

Секунда в минус второй степени ( $s^{-2}$ ,  $s^{-2}$ ) равна градиенту линейного ускорения, при котором переход от одного слоя жидкости (газа) к другому, отстоящему от первого на расстоянии 1 м, приводит к изменению линейного ускорения на 1 м/с<sup>2</sup>.

### 3.4. Производные единицы механических величин

**Плотность ( $\rho$ ).** Плотностью вещества называется масса, отнесенная к объему, занимаемому этим веществом. Если вещество, из которого состоит тело, неоднородно, плотность отдельных участков тела  $\rho$  выразится соотношением  $\rho = dm/dV$ , где  $dm$  — масса элемента тела объемом  $dV$ . Если тело однородно, то его плотность выразится более простой формулой:  $\rho = m/V$ , где  $m$  — масса однородного тела, сосредоточенная в объеме  $V$ . Уравнение является определяющим для плотности. Единица плотности  $[\rho] = 1 \text{ кг}/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Размерность плотности  $\dim \rho = L^{-3}M$ .

Отсюда вытекает, что единица плотности в СИ — килограмм на кубический метр.

Килограмм на кубический метр ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ) равен плотности однородного вещества, масса которого при объеме 1 м<sup>3</sup> равна 1 кг.

**Относительная плотность вещества ( $d$ ).** Относительная плотность вещества — физическая величина, определяемая отношением плотности данного вещества  $\rho$  к плотности другого вещества  $\rho_0$ , которое выбрано в качестве стандартного образца:  $d = \rho/\rho_0$ . Если положить в этой формуле  $[\rho] = 1 \text{ кг/м}^3$ ,  $[\rho_0] = 1 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , то единица относительной плотности будет  $[d] = 1 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}/1 \text{ кг/м}^3 = 1$ , т. е. она выразится в относительных единицах. Часто в качестве стандартного образца выбирается дистиллированная вода при температуре  $3,98^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении  $101\,325 \text{ Па}$ , а также сухой чистый воздух при  $20^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении  $101\,325 \text{ Па}$ .

**Градиент плотности ( $\text{grad } \rho$ ).** Градиентом плотности называется векторная физическая величина, характеризующая быстроту изменения плотности среды в некотором направлении. Градиент плотности является вектором, направленным в сторону максимального возрастания плотности среды вдоль нормали к поверхности равной плотности, числовое значение которого равно пределу отношения изменения плотности  $\Delta\rho$  между двумя точками, лежащими на нормали к расстоянию между ними  $\Delta l$ , при  $\Delta l$ , стремящемся к нулю:

$$\text{grad } \rho = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta\rho}{\Delta l} \mathbf{i} = \frac{d\rho}{dl} \mathbf{i},$$

где  $\mathbf{i}$  — единичный вектор нормали к поверхности равной плотности.

Для случая равномерного изменения плотности справедливо простое скалярное выражение для градиента плотности, которое может быть принято в качестве определяющего уравнения для нахождения единицы градиента плотности:  $|\text{grad } \rho| = \Delta\rho/\Delta l$ . Отсюда единица градиента плотности

$$[\text{grad } \rho] = \frac{1 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}}{1 \text{ м}} = 1 \text{ кг/м}^4.$$

Размерность градиента плотности  $\dim(\text{grad } \rho) = \text{L}^{-4}\text{M}$ .

Килограмм на метр в четвертой степени ( $\text{кг/м}^4$ ,  $\text{кг/м}^4$ ) равен градиенту плотности среды, плотность которой на участке длиной  $1 \text{ м}$  в направлении максимального изменения плотности изменяется на  $1 \text{ кг/м}^3$ .

**Удельный объем ( $v$ ,  $V_0$ ).** Удельным объемом называется отношение объема, занимаемого однородным веществом, к его массе. Если тело неоднородно, удельный объем отдельных частей тела  $v = dV/dm$ , где  $dV$  — объем элемента тела;  $dm$  — его масса.

Для однородных тел удельный объем вычисляют по более простой формуле, которая и является определяющим уравнением удельного объема:  $v = V/m$ . Здесь  $V$  — объем тела;  $m$  — его масса. Единица удельного объема выразится соотношением  $[v] = 1 \text{ м}^3/1 \text{ кг} = 1 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Размерность удельного объема  $\dim v = \text{L}^3\text{M}^{-1}$ .

Кубический метр на килограмм ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ) равен удельному объему однородного вещества, объем которого при массе  $1 \text{ кг}$  равен  $1 \text{ м}^3$ .

**Момент инерции** (динамический момент инерции) ( $I, J$ ). Моментом инерции тела относительно оси называется скалярная физическая величина, являющаяся мерой инертности тела во вращательном движении вокруг этой оси и равная сумме произведений масс всех частиц тела на квадраты их расстояний до этой оси.

В качестве определяющего уравнения момента инерции удобно выбрать формулу момента инерции материальной точки относительно некоторой оси инерции:  $I = mr^2$ , где  $m$  — масса материальной точки;  $r$  — расстояние от точки до оси инерции. Отсюда единица момента инерции  $[I] = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , т. е. единица момента инерции — килограмм-метр в квадрате. Размерность момента инерции  $\dim I = \text{L}^2\text{M}$ .

К и л о г р а м м - м е т р в к в а д р а т е ( $\text{кг} \cdot \text{м}^2, \text{кг} \cdot \text{м}^2$ ) равен моменту инерции материальной точки массой 1 кг, находящейся на расстоянии 1 м от оси вращения.

**Момент инерции** (второй момент) площади плоской фигуры (осевой, полярный, центробежный) ( $J_S$ ). Моментом инерции (вторым моментом) площади плоской фигуры — осевым, полярным, центробежным называется сумма произведений площадей элементов этой фигуры  $\Delta S$  на квадраты расстояний  $r$  от них до оси.

В качестве определяющего уравнения для данной величины целесообразно взять формулу для элементарного момента инерции  $\Delta J_S$ :  $\Delta J_S = r^2 \Delta S$ . Полагая здесь  $[r] = 1 \text{ м}$ ,  $[\Delta S] = 1 \text{ м}^2$ , получаем единицу момента инерции (второго момента):  $[\Delta J_S] = 1 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ м}^4$ .

Размерность момента инерции (второго момента)  $\dim J_S = \text{L}^4$ .

М е т р в ч е т в е р т о й с т е п е н и ( $\text{м}^4, \text{м}^4$ ) равен осевому моменту инерции площади прямоугольника длиной 12 м и шириной 1 м относительно оси, параллельной длинной стороне и проходящей через центр тяжести прямоугольника.

Это определение единицы момента инерции (второго момента) связано с тем, что для прямоугольника со сторонами  $a, b$  момент инерции относительно оси, параллельной длинной стороне ( $a$ ) и проходящей через центр тяжести,  $J_S = ab^3/12$ .

Заметим, что момент инерции площади плоской фигуры (второй момент) — специальная геометрическая характеристика плоских фигур, которая часто применяется в специфических разделах механики. Геометрический характер этой величины нашел свое отражение и в ее размерности.

**Момент сопротивления плоской фигуры** ( $I_r, W$ ). Момент сопротивления плоской фигуры, как и момент инерции площади плоской фигуры (второй момент), является специфической геометрической характеристикой плоской фигуры. Он определяется уравнением  $I_r = J_S/r$ , где  $J_S$  — момент инерции площади плоской фигуры (второй момент);  $r$  — расстояние наиболее удаленной точки от оси инерции. Единица момента сопротивления плоской фигуры  $[I_S] = 1 \text{ м}^4/1 \text{ м} = 1 \text{ м}^3$ . Ее размерность  $\dim I_r = \text{L}^3$ .

Метр в третьей степени ( $m^3$ ,  $m^3$ ) равен моменту сопротивления плоской фигуры с осевым моментом инерции  $1 m^4$ , имеющей наиболее удаленную от оси инерции точку на расстоянии  $1 m$ .

**Количество движения (импульс) ( $p$ ).** Количеством движения (импульсом) называется векторная физическая величина  $p$ , равная произведению массы тела  $m$  на его скорость  $v$ :  $p = mv$ . Единица количества движения СИ  $[p] = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Размерность количества движения  $\dim p = LMT^{-1}$ .

Килограмм-метр в секунду ( $\text{кг} \cdot \text{м/с}$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м/с}$ ) равен количеству движения тела массой  $1 \text{ кг}$ , движущегося со скоростью  $1 \text{ м/с}$ .

**Момент количества движения (момент импульса) ( $L$ ).** Моментом количества движения материальной точки, вращающейся вокруг некоторой оси, называется векторная физическая величина  $L$ , равная произведению радиуса-вектора  $r$  проведенного от оси к данной точке, на вектор количества движения этой точки:  $L = [r \ m \ v]$ . В скалярной форме уравнение можно записать в виде  $L = mvr = mr^2\omega = I\omega$ , где  $\omega$  — угловая скорость точки;  $I$  — момент инерции точки относительно оси вращения. На основе последнего уравнения, которое является определяющим для момента количества движения (момента импульса), можно дать определение момента количества движения материальной точки относительно оси вращения как физической величины, равной произведению момента инерции материальной точки относительно этой оси на ее угловую скорость. Момент количества движения точки имеет направление, совпадающее с направлением угловой скорости, т. е. он направлен вдоль оси вращения.

Момент количества движения тела относительно оси вращения выражается такой же формулой:  $L = I\omega$ , но в этой формуле  $I$  — момент инерции (динамический) тела относительно оси вращения. Единица момента количества движения (момента импульса)  $[L] = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot 1 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{рад/с}$ . Размерность величины  $\dim L = L^2MT^{-1}$ .

Если же при установлении единицы исходить из формулы  $L = mvr$ , единица момента количества движения (момента импульса) выразится так:  $[L] = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ . Размерность момента количества движения, найденная по этой формуле  $\dim L = L^2MT^{-1}$  совпадает с определенной выше, что вполне естественно, так как плоский угол не имеет размерности.

Единица СИ момента количества движения (момента импульса), называемая килограмм-метр в квадрате на секунду ( $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ ), равна моменту количества движения тела с моментом инерции  $1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , вращающегося с угловой скоростью  $1 \text{ рад/с}$ .

**Сила ( $F$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $R$ ,  $T$ ,  $N$ ).** Силой называется векторная физическая величина  $F$ , являющаяся мерой механического воздействия на материальную точку или тело со стороны других тел или полей.

Сила определена полностью, если заданы ее числовое значение, направление и точка приложения. Для установления единицы силы удобнее всего воспользоваться формулой, выражающей второй закон Ньютона в скалярном виде:  $F = ma$ , где  $m$  — масса тела;  $a$  — ускорение тела. Отсюда единица силы  $[F] = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$ .

Единица получила собственное наименование ньютон по имени великого английского физика И. Ньютона (1642—1727). Размерность силы  $\dim F = \text{LMT}^{-2}$ .

**Ньюто́н** (N, Н) равен силе, сообщаящей телу массой 1 кг ускорение  $1 \text{ м/с}^2$  в направлении действия силы.

**Вес** ( $G$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $W$ ). Весом тела называется физическая величина, равная силе, с которой тело действует на подвес или подставку, поддерживающую это тело. Если подставка или подвес не движутся с ускорением в вертикальном направлении, вес тела будет выражаться формулой  $G = mg$ , где  $m$  — масса тела;  $g$  — ускорение свободного падения. Из формулы следует, что единица веса и его размерность совпадают соответственно с единицей и размерностью силы.

**Удельный вес** ( $\gamma$ ,  $\gamma_{\text{об}}$ ). Удельным весом называется скалярная физическая величина  $\gamma$ , численно равная отношению веса тела  $G$  к его объему  $V$ :  $\gamma = G/V$ . Это соотношение является определяющим уравнением для установления единицы удельного веса:  $[\gamma] = 1 \text{ Н/1 м}^3 = 1 \text{ Н/м}^3$ . Размерность удельного веса  $\dim \gamma = \text{L}^{-2}\text{MT}^{-2}$ .

**Ньюто́н на кубический метр** (единица удельного веса СИ) ( $\text{Н/м}^3$ ,  $\text{Н/м}^3$ ) равен удельному весу однородного вещества, вес которого при объеме  $1 \text{ м}^3$  равен 1 Н.

Так как  $G = mg$ , а  $m/V$  равно плотности вещества  $\rho$ , связь между плотностью и удельным весом выразится соотношением  $\gamma = \rho g$ . Ускорение свободного падения зависит от широты положения места на поверхности Земли и высоты относительно уровня моря, поэтому, строго говоря, удельный вес, в отличие от плотности, не является характеристикой вещества, как считалось ранее.

**Момент силы (момент пары сил) ( $M$ )**. Момент силы (момент пары сил) относительно точки есть векторная физическая величина  $M$ , равная векторному произведению радиус-вектора  $r$ , проведенного из точки  $O$  в точку приложения силы, на вектор силы  $F$ :  $M = [rF]$ .

В качестве определяющего уравнения для единицы момента силы можно взять скалярную формулу для момента силы, когда угол между  $r$  и  $F$  равен  $\pi/2$ , с помощью которой момент силы определяется как произведение силы на плечо:  $M = Fr$ . Отсюда единица момента силы  $[M] = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

Размерность момента силы:  $\dim M = \text{L}^2\text{MT}^{-2}$ .

**Ньюто́н-ме́тр** ( $\text{Н} \cdot \text{м}$ ,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ) равен моменту силы, создаваемому силой 1 Н относительно точки, расположенной на расстоянии 1 м от линии действия силы.

**Импульс силы ( $I$ ).** Импульсом силы называется векторная физическая величина  $I$ , равная произведению силы  $F$  на время ее действия  $t$ . Скалярная формула для импульса силы  $I = Ft$  является определяющим уравнением, с помощью которого получают его единицу:  $[I] = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ Н} \cdot \text{с}$ . Размерность импульса силы  $\dim I = \text{LMT}^{-1}$ .

Единица импульса силы нь ю т о н - с е к у н д а ( $\text{Н} \cdot \text{с}$ ,  $\text{Н} \cdot \text{с}$ ) равна импульсу силы, создаваемому силой 1 Н, действующей в течение времени 1 с.

Размерности единиц импульса силы и количества движения совпадают. Это не случайно, так как между импульсом силы и изменением количества движения тела, на которое действует сила, согласно второму закону Ньютона существует связь  $F\Delta t = mv_2 - mv_1 = \Delta(mv) = m\Delta v$ , где  $v_1$  — начальная скорость тела;  $v_2$  — конечная;  $\Delta v$  — их разность;  $\Delta t$  — время действия силы.

**Давление ( $p$ ).** Давлением называется физическая величина  $p$ , равная пределу отношения нормальной составляющей силы  $dF_n$  к площади  $dS$ , на которую действует сила:  $p = dF_n/dS$ . Если сила  $F$  перпендикулярна к поверхности и ее действие равномерно распределено по ней, то давление определяется простым соотношением  $p = F/S$ , которое является определяющим уравнением для единицы давления:  $[p] = 1 \text{ Н}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Н}/\text{м}^2$ . Размерность давления  $\dim p = \text{L}^{-1}\text{MT}^{-2}$ .

Единица давления СИ имеет специальное наименование паскаль, которое присвоено ей по имени французского ученого Б. Паскаля (1623—1662) XIV Генеральной конференцией по мерам и весам (1971 г.)

**П а с к а л ь** (Па, Па), равен давлению, вызываемому силой 1 Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м<sup>2</sup>.

**Напряжение (механическое) ( $\sigma$ ,  $\tau$ ).** Напряжением (механическим, нормальным) называется физическая величина  $\sigma$ , равная пределу отношения упругой силы  $\Delta F$  к площади перпендикулярного к силе сечения тела  $\Delta S$ :

$$\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} = \frac{dF}{dS}.$$

Если сила  $F$  равномерно распределена по площади сечения  $S$ , напряжение выразится простой формулой  $\sigma = F/S$ , которая является определяющим уравнением для нахождения единицы напряжения СИ:  $[\sigma] = 1 \text{ Н}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Н}/\text{м}^2$ . Отсюда следует, что механическое напряжение, как и давление, выражается в СИ в одних и тех же единицах — паскалях. Нетрудно убедиться, что и размерности этих величин совпадают. В паскалях измеряют также касательное напряжение ( $\tau$ ) и применяемые в сопротивлении материалов и технике различные критические напряжения, такие, как предел пропорциональности, предел текучести, предел прочности и другие.

**Относительное удлинение** ( $\varepsilon$ ,  $e$ ). Относительным удлинением называется физическая величина  $\varepsilon$ , равная отношению абсолютного удлинения тела  $\Delta l$  к его начальной длине  $l_0$ :  $\varepsilon = \Delta l/l_0$ .

Нетрудно видеть, что эта величина, как и другие виды относительных деформаций, к которым относятся относительный сдвиг, относительное поперечное сжатие выражается в безразмерных единицах.

**Модуль упругости** ( $k$ ). Модулем упругости называется физическая величина  $k$ , определяемая отношением механического напряжения  $\sigma$  к относительному удлинению  $\varepsilon$ :  $k = \sigma/\varepsilon$ . Так как относительное удлинение является безразмерной величиной, размерности модуля упругости и механического напряжения совпадают и выражаются в одинаковых единицах — паскалях.

**Модуль Юнга (модуль продольной упругости)** ( $E$ ). Модулем продольной упругости (модулем Юнга) называется физическая величина  $E$ , равная отношению механического напряжения к относительному удлинению (сокращению) образца  $\varepsilon$ , равному 1:  $E = \sigma/\varepsilon$ . Так как  $\varepsilon = 1$ , то  $E = \sigma$ . Это означает, что модуль Юнга численно равен напряжению, возникающему в образце при увеличении (уменьшении) его длины в два раза при прочих неизменных условиях. В связи с тем что  $E = \sigma$ , единицей модуля Юнга является паскаль.

**П а с к а л ь** (Ра, Па) — модуль продольной упругости тела, испытывающего удлинение на первоначальную длину при нормальном напряжении 1 Па.

**Модуль сдвига** ( $G$ ). Модулем сдвига называется физическая величина  $G$ , численно равная касательному напряжению  $\sigma_\tau = F/S$  ( $F$  — сила, приложенная касательно к поверхности с площадью  $S$ ), вызывающему относительный сдвиг  $\Theta$ , равный единице:  $G = \sigma_\tau/\Theta$ .

**Относительный сдвиг (угол сдвига)** ( $\Theta$ ) является безразмерной величиной, и в этом уравнении  $\Theta = 1$ , поэтому  $G = \sigma_\tau$ . Отсюда следует, что размерности модуля сдвига и касательного напряжения (механического) совпадают, а единицей модуля сдвига является паскаль.

**Коэффициент Пуассона** ( $\mu$ ). Коэффициентом Пуассона называется физическая величина  $\mu$ , равная отношению относительного поперечного сужения (расширения)  $\Delta d/d_0$  к относительному продольному удлинению (сжатию)  $\Delta l/l_0$  образца при деформации растяжения (сжатия):  $\mu = \frac{\Delta d}{d_0} : \frac{\Delta l}{l_0}$ . Здесь  $d_0$  — начальный поперечный размер образца;  $\Delta d$  — его абсолютное изменение в процессе деформации;  $l_0$  — начальная длина образца;  $\Delta l$  — ее абсолютное изменение, вызванное деформацией. Очевидно, что  $\mu$  — безразмерная величина и, следовательно, выражается безразмерной единицей.

**Жесткость** ( $k$ ). Жесткостью называется физическая величина  $k$ , определяемая отношением упругой силы  $F$ , возникающей в теле

при его деформации к абсолютной деформации  $\Delta l$ :  $k = F/\Delta l$ . Полагая в этом соотношении  $[F] = 1 \text{ Н}$ ,  $[\Delta l] = 1 \text{ м}$ , получаем выражение, для единицы жесткости:  $[k] = 1 \text{ Н/м} = 1 \text{ Н/м}$ . Размерность жесткости  $\dim k = \text{МТ}^{-2}$ .

Ньюто́н на метр (Н/м, Н/м) равен жесткости тела, в котором возникает упругая сила 1 Н при абсолютной деформации этого тела, равной 1 м.

**Градиент давления** ( $\text{grad } p$ ). Градиентом давления для потока жидкости или газа называется физическая величина  $\text{grad } p$ , определяемая отношением перепада давления к длине потока, соответствующей этому перепаду:  $\text{grad } p = \frac{dp}{dl} \mathbf{i}$ , где  $\mathbf{i}$  — единичный вектор нормали;  $dp$  — элементарное изменение давления, происходящее при перемещении на элемент длины  $dl$ .

Если давление изменяется равномерно на величину  $\Delta p$  при перемещении на расстояние  $\Delta l$ , градиент давления можно выразить более простой формулой:  $\text{grad } p = \Delta p/\Delta l$ , которая является определяющим уравнением для единицы градиента давления:  $[\text{grad } p] = 1 \text{ Па/м} = 1 \text{ Па/м}$ . Размерность градиента давления  $\dim (\text{grad } p) = \text{Л}^{-2}\text{МТ}^{-2}$ .

Паска́ль на метр (Па/м, Па/м) равен градиенту давления, при котором на длине 1 м давление изменяется на 1 Па. На практике паскаль на метр применяют при изучении движения жидкостей и газов по каналам и трубам, которое существенно зависит от перепада давления на единицу длины потока.

**Импульс момента силы** ( $L$ ). Импульсом момента силы называется векторная физическая величина  $L$ , равная произведению момента силы  $M$  на время его действия  $t$ . Скалярная формула для импульса момента силы  $L = Mt$  является определяющим уравнением, с помощью которого, полагая  $[M] = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $(t) = 1 \text{ с}$ , получают его единицу  $[L] = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot 1 \text{ с} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \cdot 1 \text{ м} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ . Размерность импульса момента силы  $L = \text{Л}^2\text{МТ}^{-1}$ .

Килограмм-метр в квадрате на секунду ( $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ ) равен произведению импульса момента силы в 1 Н · м, действующего в течение 1 с на время его действия.

Размерности импульса момента силы и момента количества движения (момента импульса) совпадают. Это объясняется тем, что между импульсом момента силы  $M \Delta t$  и изменением момента количества движения  $I \Delta \omega$  согласно основному закону динамики вращательного движения твердого тела существует связь  $M \Delta t = I \omega_2 - I \omega_1 = I \Delta \omega$ , где  $\omega_1$  — начальная,  $\omega_2$  — конечная угловые скорости тела;  $\Delta \omega$  — разность угловых скоростей;  $\Delta t$  — время действия момента силы.

**Поверхностное натяжение** (коэффициент поверхностного натяжения) ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\sigma$ ). Коэффициентом поверхностного натяжения называют физическую величину  $\alpha$ , равную отношению силы  $F$ , прило-

женной к участку контура свободной поверхности жидкости, к длине  $l$  этого участка контура:  $\alpha = F/l$ ,  $F$  — сила поверхностного натяжения, которая направлена по касательной к поверхности жидкости и нормально к границе свободной поверхности. Принимая в этой формуле  $[F] = 1 \text{ Н}$ , а  $[l] = 1 \text{ м}$ , получают единицу поверхностного натяжения:  $[\alpha] = 1 \text{ Н} / 1 \text{ м} = 1 \text{ Н/м}$ . Размерность коэффициента поверхностного натяжения  $\dim \alpha = \text{МТ}^{-2}$ .

Ньюто́н на метр (Н/м, Н/м) 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** ( $A$ ,  $W$ ,  $L$ ). Работой называется скалярная физическая величина  $A$ , характеризующая процесс передачи энергии от одного тела к другому или ее превращения из одной формы в другую. Элементарная работа  $dA$  равна скалярному произведению силы  $F$  на элементарное перемещение  $dl$ , происходящее под действием этой силы:  $dA = Fdl = F \cos \alpha \cdot dl$ .

В простейшем случае прямолинейного перемещения  $l$  тела под действием постоянной силы  $F$ , направление которой совпадает с перемещением, работа выразится формулой, которая принимается в качестве определяющего уравнения:  $A = Fl$ . Отсюда единица работы в СИ  $[A] = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Размерность работы  $\dim A = \text{Л}^2\text{МТ}^{-2}$ . Единица работы в СИ имеет собственное наименование — джоуль, присвоенное ей по имени английского ученого Д. Джоуля (1818—1889).

Джоу́ль (J, Дж) равен работе, совершаемой при перемещении точки приложения силы в 1 Н на расстояние 1 м в направлении действия силы.

**Энергия** ( $W$ ,  $E$ ). Энергией называется физическая величина, являющаяся мерой различных форм движения материальных объектов. В природе осуществляется превращение одних форм движения материальных объектов в другие или передача движения от одних объектов к другим, которые характеризуются соответствующими превращениями одних видов энергии в другие или передачей энергии от одних объектов к другим.

Изменение механической энергии  $\Delta W$  какого-либо тела в процессе ее превращения из одного вида в другой или передачи другому телу измеряется совершаемой при этом работой  $A$ :  $\Delta W = W_2 - W_1 = A$ . Здесь  $W_1$  — начальное значение механической энергии тела;  $W_2$  — ее значение в конечном состоянии. Из соотношения следует, что механическая энергия имеет такую же размерность, как и работа, а ее единицей является джоуль.

Джоу́ль (J, Дж) соответствует тому количеству механической энергии, которое эквивалентно механической работе 1 Дж.

Следует подчеркнуть, что джоуль в СИ является универсальной единицей, применяемой для выражения всех видов энергии — механической, тепловой, электрической, лучистой, атомной и др.

**Кинетическая энергия** ( $T, E_k$ ). Кинетическая энергия тела  $T$  выражается формулой  $T = mv^2/2$ , где  $m$  — масса тела;  $v$  — его скорость.

Когерентную единицу кинетической энергии СИ можно получить, подставив в правую часть уравнения величины со значениями в единицах СИ, дающими после умножения на коэффициент общее числовое значение, равное 1. Это можно осуществить, например, следующими способами:

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

$$\text{или } [T] = \frac{1}{2} [m] (V\sqrt{2} [v])^2 = \frac{1}{2} \text{ кг} (V\sqrt{2} \text{ м/с})^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2 = \\ = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Дж}.$$

Таким образом, единицей кинетической энергии СИ является джоуль. В рассмотренном примере он равен кинетической энергии тела массой 2 кг, движущегося со скоростью 1 м/с, или массой 1 кг, движущегося со скоростью  $V\sqrt{2}$  м/с.

Эту же единицу можно установить исходя из того, что изменение энергии материальной точки определяется производимой работой. Отсюда следует, что д ж о у л ь — единица энергии, равная работе силы 1 Н при перемещении точки ее приложения на расстояние 1 м в направлении действия силы.

**Потенциальная энергия** ( $\Pi, E_p$ ). Потенциальной энергией называется энергия взаимодействия тел. Например, тело с массой  $m$  по закону всемирного тяготения взаимодействует с Землей. Если это тело поднять на высоту  $\Delta h$ , то его энергия изменится на величину  $\Delta \Pi$ , которая выразится формулой  $\Delta \Pi = mg\Delta h$ . Здесь  $\Delta \Pi = \Pi - \Pi_0$ ,  $\Delta h = h - h_0$ ,  $g$  — ускорение свободного падения. Если условиться считать, что при  $h_0 = 0$ ,  $\Pi_0 = 0$ , то потенциальная энергия выразится простым уравнением  $\Pi = mgh$ . Полагая в этом уравнении  $[m] = 1 \text{ кг}$ ,  $[g] = 9,81 \text{ м/с}^2$ ,  $[h] = 1/9,81 \text{ м}$ , получаем единицу потенциальной энергии в СИ:  $[\Pi] = 1 \text{ кг} \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 \times \times \frac{1}{9,81} \text{ м} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} = 1 \text{ Дж}$ . Потенциальная энергия, как и кинетическая, измеряется в джоулях.

Единицу потенциальной энергии можно получить и иным способом, исходя из того, что изменение потенциальной энергии определяется работой поднятия тела на высоту  $\Delta h$ .

Д ж о у л ь (J, Дж) равен такому количеству потенциальной энергии, которое эквивалентно механической работе 1 Дж.

Размерность потенциальной энергии, естественно, совпадает с размерностью работы.

**Плотность энергии** ( $\omega$ ). Плотностью энергии называется скалярная физическая величина, которая для случая равномерного распределения энергии по объему равна отношению энергии  $W$ , заключенной в данном объеме, к этому объему  $V$ :  $\omega = W/V$ . Отсюда

единица плотности энергии  $[\omega] = 1 \text{ Дж/л м}^3 = 1 \text{ Дж/м}^3$ . Размерность плотности энергии  $\dim \omega = \text{Л}^{-1}\text{МТ}^{-2}$ .

**Джоуль на кубический метр** ( $\text{Дж/м}^3$ ,  $\text{Дж/м}^3$ ) равен плотности механической энергии, при которой на  $1 \text{ м}^3$  приходится энергия, равная  $1 \text{ Дж}$ .

**Коэффициент полезного действия ( $\eta$ )**. Коэффициент полезного действия является физической величиной, равной отношению полезно использованной энергии  $W_n$  к затраченной  $W_3$ :  $\eta = W_n/W_3$ . Полагая  $[W_n] = 1 \text{ Дж}$ ,  $[W_3] = 1 \text{ Дж}$ , получаем единицу коэффициента полезного действия:  $[\eta] = \frac{[W_n]}{[W_3]} = 1$ . Коэффициент полез-

ного действия — относительная величина, поэтому он выражается в безразмерных единицах.

**Мощность ( $N, P$ )**. Мощностью называется скалярная физическая величина, характеризующая быстроту совершения работы и равная отношению элементарной работы  $dA$  к элементарному промежутку времени  $dt$ , за который она совершена:  $N = \frac{dA}{dt} = F \frac{dr}{dt} = Fv$ . Здесь  $F$  — действующая сила;  $dr$  — элементарное перемещение под действием этой силы;  $v$  — скорость. Для постоянной мощности ее формула имеет более простой вид:  $N = A/t$ . Отсюда единица мощности СИ  $[N] = 1 \text{ Дж/л с} = 1 \text{ Дж/с}$ . Размерность мощности  $\dim N = \text{Л}^2\text{МТ}^{-3}$ .

Единица мощности получила специальное наименование ватт по имени английского изобретателя Д. Ватта (1736—1819).

**Ватт ( $W, \text{Вт}$ )** равен мощности, при которой за время  $1 \text{ с}$  совершается работа  $1 \text{ Дж}$ .

В СИ, как и ранее в МКСА, ватт применяется не только в электричестве, но и в механике, термодинамике и в других разделах науки и техники.

**Коэффициент трения скольжения ( $f$ )**. Коэффициентом трения скольжения называется физическая величина  $f$ , равная отношению силы трения  $F$  к силе нормального давления  $P_n$ :  $f = F/P_n$ . Отсюда единица коэффициента трения скольжения  $[f] = 1 \text{ Н/л Н} = 1$ , т. е. коэффициент трения скольжения — безразмерная величина, единицей которой служит безразмерное число  $1$ .

**Коэффициент трения качения ( $k$ )**. Коэффициент трения качения физическая величина  $k$ , которая согласно закону Кулона определяется соотношением  $k = FR/P_n$ , где  $F$  — сила трения качения;  $P_n$  — сила нормального давления;  $R$  — радиус катящегося тела. Отсюда единица коэффициента трения качения  $[k] = 1 \text{ Н} \cdot \text{л м/л Н} = 1 \text{ м}$ . Размерность коэффициента трения качения  $\dim k = \text{Л}$ .

Таким образом, единицей коэффициента трения качения в СИ является метр.

**Коэффициент сопротивления ( $r$ )**. Коэффициентом сопротивления называется физическая величина  $r$ , зависящая от свойств среды, размеров и формы тела, определяемая отношением силы сопротивления  $F$ , которая действует на тело при движении в вязкой среде

(газ, жидкость), к скорости  $v$  этого тела:  $r = F/v$ . Отсюда единица коэффициента сопротивления  $[r] = (1 \text{ Н}):(1 \text{ м/с}) = 1 \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-1}$ .

Размерность коэффициента сопротивления  $\dim r = \text{МТ}^{-1}$ .

Ньюто́н-секу́нда на метр (kg/s, кг/с) — единица коэффициента сопротивления, равная такому коэффициенту сопротивления, при котором на тело, движущееся со скоростью 1 м/с в вязкой среде, действует сила сопротивления 1 Н.

**Динамическая вязкость (коэффициент вязкости, коэффициент внутреннего трения) ( $\eta$ ).** Динамической вязкостью называется физическая скалярная величина  $\eta$ , являющаяся характеристикой вязких свойств вещества и определяемая силой трения  $F$  между слоями ламинарно движущейся жидкости или газа, если слои движутся друг относительно друга с различными скоростями, отнесенной к площади слоя. Динамическая вязкость определяется соотношением  $\eta = F/(\text{grad } v \cdot S)$ , где  $F$  — сила внутреннего трения;  $F/S$  — касательное напряжение;  $S$  — площадь слоя жидкости или газа (при ламинарном течении слоев);  $\text{grad } v$  — градиент скорости в направлении, перпендикулярном к слоям (направлению скорости). Из этого уравнения единица динамической вязкости в СИ  $[\eta] = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ с}^{-1} \cdot 1 \text{ м}^2} = 1 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2 = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Размерность коэффициента динамической вязкости  $\dim \eta = \text{L}^{-1}\text{МТ}^{-1}$ .

Паскаль-секу́нда (Pa · s, Па · с) равна динамической вязкости среды, касательное напряжение в которой при ламинарном течении и при разности скоростей слоев, находящихся на расстоянии 1 м по нормали к направлению скорости, равной 1 м/с, равно 1 Па. Динамическая вязкость характеризует свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление взаимному движению их частиц.

**Кинематическая вязкость ( $\nu$ ).** Кинематической вязкостью называется физическая величина  $\nu$ , определяемая отношением динамической вязкости жидкости или газа  $\eta$  к их плотности  $\rho$ :  $\nu = \eta/\rho$ . Положив в этом определяющем уравнении  $[\eta] = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ,  $[\rho] = 1 \text{ кг}/\text{м}^3$ , получим единицу кинематической вязкости:  $[\nu] = \frac{1 \text{ Па} \cdot \text{с}}{1 \text{ кг}/\text{м}^3} = \frac{1 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{1 \text{ кг}} = 1 \text{ м}^2/\text{с}$ . Размерность кинематической вязкости  $\dim \nu = \text{L}^2\text{T}^{-1}$ .

Квадратный метр на секунду ( $\text{м}^2/\text{с}$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ ) равен кинематической вязкости, при которой динамическая вязкость среды плотностью 1 кг/м<sup>3</sup> равна 1 Па · с.

**Теку́щность ( $\varphi$ )** — физическая величина, обратно пропорциональная динамической вязкости  $\eta$ . Она определяется соотношением  $\varphi = 1/\eta$ . Отсюда единица текучести  $[\varphi] = 1/1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 1 \text{ Па}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ . Размерность текучести  $\dim \varphi = \text{LM}^{-1}\text{T}$ .

Паскаль в минус первой степени-секу́нда: в минус первой степени ( $\text{Па}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\text{Па}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ ) — текучесть жидкости или газа, которые имеют вязкость (динамическую) 1 Па · с.

**Ударная вязкость ( $a_n$ ).** Ударной вязкостью называется скалярная физическая величина, характеризующая сопротивление материала разрушению, которая определяется работой, совершаемой при ударном изломе образца, отнесенной к площади поперечного сечения образца в месте излома. Ударная вязкость определяется уравнением  $a_n = A/s$ , где  $A$  — работа излома;  $S$  — площадь поперечного сечения образца в месте надреза. Отсюда единица ударной вязкости  $[a_n] = 1 \text{ Дж/л м}^2 = 1 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ . Размерность ударной вязкости  $\dim a_n = \text{МТ}^{-2}$ .

**Джоуль на квадратный метр ( $\text{J/м}^2$ ,  $\text{Дж/м}^2$ )** равен ударной вязкости, при которой необходимо совершить работу излома 1 Дж, если площадь поперечного сечения образца в месте надреза равна 1 м<sup>2</sup>.

**Массовый расход ( $m_t$ ).** Массовым расходом называется физическая величина  $m_t$ , равная отношению массы вещества, проходящей через некоторое поперечное сечение к промежутку времени  $t$ , за который она прошла через это сечение,  $m_t = m/t$ , записанное для случая, когда масса вещества  $m$  равномерно перемещается за время  $t$ . Отсюда единица массового расхода  $[m_t] = 1 \text{ кг/л с} = 1 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ . Размерность массового расхода  $\dim m_t = \text{МТ}^{-1}$ .

**Килограмм в секунду ( $\text{кг/с}$ ,  $\text{кг/с}$ )** равен массовому расходу, при котором через определенное сечение за время 1 с равномерно перемещается вещество массой 1 кг.

**Объемный расход ( $V_t$ ).** Объемным расходом вещества называется физическая величина  $V_t$ , равная отношению объема вещества  $V$ , проходящего через некоторое поперечное сечение, к промежутку времени, в течение которого он проходит через это сечение. Если перемещение происходит равномерно, объемный расход вещества выражается отношением  $V_t = V/t$ , где  $V$  — объем вещества, переносимого через поперечное сечение за время  $t$ . Из соотношения следует, что единица объемного расхода  $[V_t] = 1 \text{ м}^3/\text{л с} = 1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Размерность объемного расхода  $\dim V_t = \text{Л}^3\text{Т}^{-1}$ .

**Кубический метр в секунду ( $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ )** равен объемному расходу, при котором через определенное сечение за время 1 с равномерно перемещается вещество объемом 1 м<sup>3</sup>.

**Плотность потока жидкости (массовая скорость потока жидкости или газа) ( $q_m$ ).** Плотностью потока жидкости называется физическая величина  $q_m$ , равная отношению массы вещества, переносимого через поперечное сечение к площади сечения и времени, за которое прошел перенос массы:  $q_m = m/St$ , где  $m$  — масса вещества, перенесенного за время  $t$  через поперечное сечение  $S$ . Из этого соотношения единица плотности потока жидкости

$$[q_m] = \frac{1 \text{ кг}}{1 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ с}} = \frac{1 \text{ кг}}{1 \text{ м}^2 \cdot \text{с}} = 1 \text{ кг}/(1 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ с}) = 1 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Размерность плотности потока жидкости  $\dim q_m = \text{Л}^{-2}\text{МТ}^{-1}$ .

**Килограмм на квадратный метр-секунду [ $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ]** равен плотности потока жидкости, при

которой через сечение  $1 \text{ м}^2$  за время  $1 \text{ с}$  равномерно перемещается вещество массой  $1 \text{ кг}$ .

**Напряженность гравитационного поля ( $g$ ).** Напряженностью гравитационного поля называется векторная физическая величина, численно равная силе, действующей на единичную точечную массу, помещенную в данную точку поля и направленную по направлению этой силы.

Определяющим уравнением для напряженности гравитационного поля  $g$  является соотношение  $g = G/m$ , где  $G$  — сила, действующая на материальную точку массой  $m$ , помещенную в данную точку гравитационного поля. Отсюда единица напряженности гравитационного поля  $[g] = 1 \text{ Н}/1 \text{ кг} = 1 \text{ Н}/\text{кг}$ . Размерность напряженности гравитационного поля  $\dim g = \text{ЛТ}^{-2}$  совпадает с размерностью ускорения.

Ньюто н на кило грамм ( $\text{Н}/\text{кг}$ ,  $\text{Н}/\text{кг}$ ) равен напряженности гравитационного поля, которое на материальную точку массой  $1 \text{ кг}$  действует с силой  $1 \text{ Н}$ .

В гравитационном поле Земли напряженность поля равна ускорению свободного падения.

**Потенциал гравитационного поля ( $\varphi$ ).** Потенциалом гравитационного поля называется скалярная энергетическая характеристика поля, численно равная потенциальной энергии, которой обладает материальная точка с единичной массой, помещенная в данную точку поля. Определяющим уравнением для установления единицы потенциала  $\varphi$  гравитационного поля может служить соотношение  $\varphi = \Pi/m$ , где  $\Pi$  — потенциальная энергия материальной точки массой  $m$  в данной точке гравитационного поля. Отсюда единица потенциала гравитационного поля СИ  $[\varphi] = \frac{1 \text{ Дж}}{\text{кг}} = 1 \text{ Дж}/\text{кг}$ . Размерность потенциала  $\dim \varphi = \text{Л}^2\text{Т}^{-2}$ .

Джоуль на килограмм ( $\text{Дж}/\text{кг}$ ,  $\text{Дж}/\text{кг}$ ) равен потенциалу гравитационного поля, в котором материальная точка массой  $1 \text{ кг}$  обладает потенциальной энергией  $1 \text{ Дж}$ .

### **3.5. Производные единицы электрических и магнитных величин**

Совокупность производных единиц СИ в области электрических и магнитных измерений вместе с метром, килограммом, секундой, ампером и градусом Кельвина в качестве основных единиц составляла ранее принятую (ГОСТ 8033—56) систему единиц МКСА. При включении их в состав СИ существенных изменений единиц не произошло. Изменения коснулись главным образом наименований некоторых единиц.

Как и в системе МКСА, производные единицы СИ электрических и магнитных величин установлены для рационализованной формы записи уравнений электромагнетизма. Это согласуется также с требованием ГОСТ 8.417—81 ГСИ «Единицы физических величин

(СТ СЭВ 1052—78)», в котором в примечании к пункту 2.2 указано, что электрические и магнитные единицы СИ следует образовывать в соответствии с рационализованной формой уравнений электромагнитного поля.

Буквенные обозначения и наименования важнейших электрических и магнитных величин приведены в соответствии с требованиями ГОСТ 1494—77 «Электротехника. Буквенные обозначения основных единиц», который постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР введен в действие с 1 июля 1978 г.

Буквенные обозначения, установленные в этом стандарте, обязательны для применения в документации всех видов, учебниках, учебных пособиях, технической и справочной литературе.

В данном справочнике при записи обозначений электрических и магнитных величин после наименования величины в круглых скобках приведены главное и запасное обозначения, главное поставлено на первом месте.

**Плотность тока ( $J$ ).** Плотностью электрического тока называется векторная физическая величина, характеризующая распределение электрического тока по сечению проводника. Вектор плотности тока  $J$  направлен в сторону движения положительных зарядов (его направление совпадает с направлением вектора напряженности электрического поля в проводнике). Он численно равен отношению силы электрического тока  $dI$  к элементарной площади поперечного сечения  $dS$  проводника:  $J = dI/dS$ .

Если плотность тока по поперечному сечению проводника одинакова, то для определяющего уравнения целесообразно выбрать простое уравнение  $J = I/S$ . Полагая в этом уравнении  $[I] = 1 \text{ А}$ ,  $[S] = 1 \text{ м}^2$ , получаем единицу плотности тока в СИ:  $[J] = 1 \text{ А/1 м}^2 = 1 \text{ А/м}^2$ . Размерность плотности тока  $\dim J = \text{Л}^{-2}\text{А}$ .

А м п е р н а к в а д р а т н ы й м е т р (А/м<sup>2</sup>, А/м<sup>2</sup>) равен плотности тока, при которой сила тока, равномерно распределенного по поперечному сечению проводника площадью 1 м<sup>2</sup>, равна 1 А.

**Линейная плотность тока ( $A$ ).** Линейной плотностью тока называется векторная физическая величина, характеризующая распределение и направление электрического тока по сечению тонкого листового проводника. Вектор линейной плотности тока  $A$  направлен в сторону движения положительных зарядов.

Для случая равномерного распределения тока по сечению листового проводника линейная плотность тока выражается соотношением  $A = I/b$ , где  $I$  — сила тока;  $b$  — ширина листового проводника.

Полагая  $[I] = 1 \text{ А}$ ,  $[b] = 1 \text{ м}$ , получаем единицу линейной плотности тока:  $[A] = 1 \text{ А/1 м} = 1 \text{ А/м}$ . Размерность линейной плотности тока  $\dim A = \text{Л}^{-1}\text{А}$ .

А м п е р н а м е т р (А/м, А/м) равен линейной плотности тока, при которой сила тока, равномерно распределенного по сечению тонкого листового проводника шириной 1 м, равна 1 А.

**Электрический заряд (количество электричества) ( $Q, q$ ).** Электрическим зарядом называется скалярная физическая величина, определяемая алгебраической суммой элементарных зарядов, находящихся в каком-либо объеме или переносимых через поперечное сечение. Электрический заряд  $Q$  равен произведению силы тока  $I$  на время его прохождения  $t$ :  $Q = It$ . Отсюда единица электрического заряда  $[Q] = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ А} \cdot \text{с} = 1 \text{ Кл}$ . Размерность электрического заряда  $\dim Q = \text{ТI}$ .

В СИ единице электрического заряда присвоено специальное наименование «кулон» по имени французского ученого Ш. Кулона (1736—1806).

**Кулон (С, Кл)** равен количеству электричества, проходящему через поперечное сечение при токе силой  $1 \text{ А}$  за время  $1 \text{ с}$ .

Следует отметить, что заряд аккумулятора можно выразить с помощью внесистемной единицы — ампер-часа:  $1 \text{ А} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Кл}$ .

**Пространственная плотность электрического заряда (объемная плотность заряда) ( $\rho$ ).** Пространственной плотностью электрического заряда называется скалярная физическая величина  $\rho$ , характеризующая распределение электрического заряда по объему и равная пределу отношения заряда  $\Delta Q$ , содержащегося в объеме  $\Delta V$ , к этому объему при  $\Delta V \rightarrow 0$ :  $\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{dQ}{dV}$ .

В случае равномерного распределения заряда  $Q$  по объему пространственная плотность электрического заряда  $\rho$  определяется соотношением  $\rho = Q/V$ . Полагая здесь  $[Q] = 1 \text{ Кл}$ ,  $[V] = 1 \text{ м}^3$ , получаем единицу пространственной плотности электрического заряда:  $[\rho] = 1 \text{ Кл}/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ Кл}/\text{м}^3$ . Размерность этой величины  $\dim \rho = \text{L}^{-3}\text{ТI}$ .

**Кулон на кубический метр (С/м<sup>3</sup>, Кл/м<sup>3</sup>)** равен пространственной плотности электрического заряда, при которой заряд, равномерно распределенный в пространстве объемом  $1 \text{ м}^3$ , равен  $1 \text{ Кл}$ .

**Поверхностная плотность электрического заряда ( $\sigma$ ).** Поверхностной плотностью электрического заряда называется скалярная физическая величина  $\sigma$ , характеризующая распределение электрического заряда по поверхности и равная пределу отношения заряда  $\Delta Q$ , содержащегося на поверхности  $\Delta S$ , к этой поверхности при  $\Delta S \rightarrow 0$ :  $\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta S} = \frac{dQ}{dS}$ .

В случае равномерного распределения заряда  $Q$  по поверхности  $S$  поверхностная плотность электрического заряда определяется соотношением  $\sigma = Q/S$ . Полагая  $[Q] = 1 \text{ Кл}$ ,  $[S] = 1 \text{ м}^2$ , получаем единицу поверхностной плотности электрического заряда  $[\sigma] = 1 \text{ Кл}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Кл}/\text{м}^2$ . Размерность поверхностной плотности электрического заряда  $\dim \sigma = \text{L}^{-2}\text{ТI}$ .

**Кулон на квадратный метр (С/м<sup>2</sup>, Кл/м<sup>2</sup>)** равен поверхностной плотности электрического заряда, при которой заряд, равномерно распределенный по поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$ , равен  $1 \text{ Кл}$ .

**Линейная плотность электрического заряда** ( $\tau$ ). Линейной плотностью электрического заряда называется скалярная физическая величина  $\tau$ , характеризующая распределение электрического заряда вдоль линии и равная пределу отношения заряда  $\Delta Q$ , распределенному на участке линии длиной  $\Delta l$ , к этой длине при  $\Delta l \rightarrow 0$ :

$$\tau = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta l} = \frac{dQ}{dl}.$$

При равномерном распределении электрического заряда  $Q$  вдоль линии длиной  $l$  линейная плотность электрического заряда  $\tau$  определится соотношением  $\tau = Q/l$ . Полагая  $[Q] = 1$  Кл,  $[l] = 1$  м, получаем единицу поверхностной плотности электрического заряда  $[\tau] = 1$  Кл/1 м = 1 Кл/м. Размерность линейной плотности электрического заряда  $\dim \tau = L^{-1}TI$ .

**Кулон на метр** (C/м, Кл/м) равен линейной плотности электрического заряда, при которой заряд, равномерно распределенный по линии длиной 1 м, равен 1 Кл.

**Поляризованность (вектор поляризации, интенсивность поляризации)** ( $P$ ). Поляризованностью называется физическая величина  $P$ , характеризующая поляризацию диэлектрика и равная сумме векторов дипольных моментов  $p_i$  молекул, отнесенной к объему  $\Delta V$ , который они занимают, при  $\Delta V \rightarrow 0$ :

$$P = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \left( \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n p_i \right).$$

Если диэлектрик поляризован равномерно, числовое значение вектора  $P$  определится соотношением  $P = P_V/V$ , где  $P_V$  — числовое значение электрического момента объема  $V$ . Отсюда единица поляризованности  $[P] = \frac{1 \text{ Кл} \cdot 1 \text{ м}}{1 \text{ м}^3} = 1 \text{ Кл/м}^2$ . Размерность поляризованности, как и для поверхностной плотности электрического заряда,  $\dim P = L^{-2}TI$ .

**Кулон на квадратный метр** (C/м<sup>2</sup>, Кл/м<sup>2</sup>) равен поляризованности диэлектрика, при которой диэлектрик объемом 1 м<sup>3</sup> имеет электрический момент 1 Кл · м.

**Электрический момент диполя** ( $p$ ). Электрическим моментом диполя называется векторная физическая величина, направленная от отрицательного заряда к положительному, числовое значение которой определяется произведением заряда  $Q$  на расстояние между положительным и отрицательным зарядами диполя  $l$  (плечо диполя):  $p = Ql$ . Отсюда единица электрического момента диполя  $[p] = 1 \text{ Кл} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Кл} \cdot \text{м}$ . Размерность электрического момента диполя  $\dim p = LTI$ .

**Кулон — метр** (C · м, Кл · м) равен электрическому моменту диполя, заряды которого, равные каждый 1 Кл, расположены на расстоянии 1 м один от другого.

**Электрическое смещение (электрическая индукция)** ( $D$ ). Электрическим смещением (электрической индукцией) называется векторная

физическая величина  $D$ , характеризующая электрическое поле и определяемая соотношением  $D = \epsilon_0 E + P$ , где  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная;  $E$  — вектор напряженности электрического поля;  $P$  — вектор поляризации. Определяющим уравнением для электрического смещения может служить уравнение  $D = \Psi/S$ , где  $\Psi$  — поток электрического смещения в однородном электрическом поле через плоскую поверхность  $S$ , перпендикулярную к линиям вектора  $D$ . С помощью этого определяющего уравнения можно получить единицу электрического смещения:  $[D] = 1 \text{ Кл}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Кл}/\text{м}^2$ . Размерность электрического смещения  $\dim D = L^{-2}T$ .

Кулон на квадратный метр ( $\text{Кл}/\text{м}^2$ ,  $\text{Кл}/\text{м}^2$ ) равен электрическому смещению, при котором поток электрического смещения сквозь поперечное сечение площадью  $1 \text{ м}^2$  равен  $1 \text{ Кл}$ .

**Поток электрического смещения (поток электрической индукции  $\Psi$ ).** Поток электрического смещения через поверхность  $S$  является скалярной физической величиной  $\Psi$ , определяемой выражением

$$\Psi = \int_S D_n dS,$$

где  $D_n$  — нормальная составляющая вектора электрического смещения к элементарной площадке  $dS$ .

Для однородного электрического поля поток электрического смещения через плоскую поверхность  $S$ , перпендикулярную к линиям вектора  $D$ , определяется формулой  $\Psi = DS$ , которая является определяющим уравнением для установления единицы потока электрического смещения:  $[\Psi] = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Кл}$ . Размерность величины  $\dim \Psi = T$  совпадает с размерностью электрического заряда. Это связано с тем, что поток электрического смещения через замкнутую поверхность согласно теореме Остроградского — Гаусса

$$\Psi = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n Q_i = Q$$

равен алгебраической сумме свободных электрических зарядов  $Q_i$ , находящихся внутри этой поверхности.

Кулон (Кл) равен потоку электрического смещения сквозь замкнутую поверхность, образуемому содержащимся во внутреннем пространстве свободным зарядом, равным  $1 \text{ Кл}$ .

**Электрическое напряжение ( $U$ ).** Электрическим напряжением на участке электрической цепи называется скалярная физическая величина, определяемая соотношением  $U = P/I$ , где  $P$  — мощность, выделяемая на участке цепи при прохождении по ней тока  $I$ . Существуют другие определения электрического напряжения. Приведенное определение использовано для установления единицы электрического напряжения СИ.

Полагая  $[P] = 1 \text{ Вт}$ ,  $[I] = 1 \text{ А}$ , получаем единицу электрического напряжения:  $[U] = 1 \text{ Вт}/1 \text{ А} = 1 \text{ Вт}/\text{А} = 1 \text{ В}$ . Размерность электрического напряжения  $\dim U = \text{L}^2\text{МТ}^{-3}\text{I}^{-1}$ .

Единица электрического напряжения получила наименование «вольт» по имени итальянского ученого А. Вольты (1745 — 1827).

**Вольт (V, В)** равен электрическому напряжению на участке электрической цепи, в котором затрачивается мощность 1 Вт при прохождении постоянного тока силой 1 А.

**Электрический потенциал (потенциал электрического поля) (V, φ).** Электрический потенциал является скалярной физической величиной — энергетической характеристикой электрического поля. Электрический потенциал данной точки электрического поля равен отношению работы, совершаемой при перемещении точечного положительного электрического заряда из данной точки поля в бесконечность, к величине этого заряда.

Если для перемещения точечного заряда  $Q$  из данной точки поля в бесконечность затрачивается работа  $A_\infty$ , то электрический потенциал  $\varphi$  в этой точке выразится соотношением  $\varphi = A_\infty/Q$ . Полагая  $[A_\infty] = 1 \text{ Дж}$ ,  $[Q] = 1 \text{ Кл}$ , получаем единицу электрического потенциала:  $[\varphi] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ Кл} = 1 \text{ Дж}/\text{Кл} = 1 \text{ В}$ . Размерность электрического потенциала  $\dim \varphi = \text{L}^2\text{МТ}^{-3}\text{I}^{-1}$ . Она совпадает с размерностью электрического напряжения. Поэтому единицей электрического потенциала является вольт.

**Вольт (V, В)** равен потенциалу точки электрического поля, если для перемещения точечного заряда 1 Кл из данной точки поля в бесконечность необходимо затратить работу в 1 Дж.

**Разность электрических потенциалов (U).** Разность электрических потенциалов есть физическая величина  $U$ , характеризующая изменение электрического потенциала при переходе из одной точки электрического поля в другую и равная разности потенциалов в этих точках поля:  $U = \varphi_A - \varphi_B$ , где  $\varphi_A$  — потенциал в точке А;  $\varphi_B$  — в точке В. Очевидно, что единица разности потенциалов — вольт.

**Вольт (V, В)** равен разности потенциалов в двух точках электрического поля, потенциалы которых отличаются на 1 В.

**Электродвижущая сила (E).** Электродвижущая сила — скалярная физическая величина, равная отношению работы  $A$ , совершаемой сторонними силами при перемещении по замкнутому контуру точечного положительного электрического заряда  $Q$ , к величине этого заряда.

Если по электрической цепи перемещается положительный заряд  $Q$  и при обходе всей цепи совершается работа  $A$ , то электродвижущая сила (э. д. с.)  $E = A/Q$ . Отсюда получают единицу электродвижущей силы  $[E] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ Кл} = 1 \text{ Дж}/\text{Кл} = 1 \text{ В}$ , которая совпадает с единицей потенциала.

**Вольт (V, В)** равен электродвижущей силе в цепи, при которой перенос электрического заряда 1 Кл по замкнутому контуру сопро-

вождается совершением работы 1 Дж. Размерность электродвижущей силы совпадает с размерностью потенциала и напряжения.

Таким образом, вольт — единица измерения электрического напряжения, электрического потенциала, разности электрических потенциалов и э. д. с. — широко применяемых на практике электрических величин.

**Напряженность электрического поля ( $E$ ).** Напряженностью электрического поля называется векторная физическая величина  $E$ , являющаяся силовой характеристикой электрического поля, которая может быть определена с помощью соотношения  $E = -\text{grad } \varphi$ , где  $\varphi$  — потенциал электрического поля. Знак минус в этом соотношении указывает на то, что вектор  $E$  направлен в сторону убывания потенциала. В простейшем случае однородного электрического поля числовое значение вектора напряженности выражается соотношением  $E = U/\Delta l$ , где  $U$  — разность потенциалов между двумя точками по нормали к эквипотенциальным поверхностям (на линии напряженности), расположенными друг от друга на расстоянии  $\Delta l$ .

Полагая  $[U] = 1 \text{ В}$ ,  $[\Delta l] = 1 \text{ м}$ , получаем единицу напряженности электрического поля  $[E] = 1 \text{ В}/1 \text{ м} = 1 \text{ В/м}$ . Размерность напряженности  $\text{dim } E = \text{LMT}^{-3}\text{I}^{-1}$ .

Вольт на метр (В/м, В/м) равен напряженности однородного электрического поля, при которой между двумя точками, находящимися на линии напряженности поля на расстоянии 1 м, создается разность потенциалов 1 В.

**Поток напряженности электрического поля ( $N$ ).** Поток вектора напряженности  $E$  электрического поля  $N$  через поверхность  $S$  называется физической величиной, определяемая соотношением

$$N = \int_S E_n dS,$$

где  $E_n$  — проекция напряженности поля на направление вектора положительной нормали  $n$  к элементу поверхности;  $dS$  — площадь этого элемента поверхности.

Если электрическое поле однородно (линии напряженности — параллельные прямые, густота которых одинакова на всех участках поля), а поверхность является плоской площадкой, перпендикулярной к линиям напряженности, поток напряженности выражается простой формулой:  $N = ES$ , которая выбирается в качестве определяющего уравнения. Положив в нем  $[E] = 1 \text{ В/м}$ ,  $[S] = 1 \text{ м}^2$ , получим единицу потока напряженности электрического поля:  $[N] = 1 \text{ В/м} \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ В} \cdot \text{м}$ . Размерность потока напряженности  $\text{dim } N = \text{L}^3\text{MT}^{-3}\text{I}^{-1}$ .

Вольт-метр (В · м, В · м) равен потоку напряженности электрического поля через плоскую площадку в 1 м<sup>2</sup>, расположенную перпендикулярно к линиям напряженности в однородном электрическом поле с напряженностью, равной 1 В/м.

**Электрическая емкость (C).** Электрической емкостью называется скалярная физическая характеристика проводника, зависящая от его формы и размеров, относительной диэлектрической проницаемости среды, от наличия и взаимного расположения других проводников. Она определяется соотношением  $C = Q/\Delta\phi$ , где  $Q$  — заряд, сообщенный проводнику, вызвавший изменение потенциала на  $\Delta\phi$ . Размерность электрической емкости проводника  $\dim C = L^{-2}M^{-1}T^4I^2$ .

Из определяющего уравнения единица электрической емкости проводника выразится соотношением  $[C] = 1 \text{ Кл}/1 \text{ В} = 1 \text{ Кл}/\text{В} = 1 \text{ Ф}$ . Эта единица получила специальное наименование «фарад» по имени знаменитого английского физика М. Фарадея (1791—1867).

**Ф а р а д (F, Ф)** равен электрической емкости конденсатора, при которой заряд 1 Кл создает на конденсаторе напряжение 1 В.

**Абсолютная диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon_a, \epsilon$ ).** Абсолютная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_a$  является скалярной физической величиной, характеризующей диэлектрические свойства среды и равной отношению электрического смещения  $D$  к напряженности электрического поля  $E$  в данной точке:  $\epsilon_a = D/E$ . Из соотношения следует, что размерность абсолютной диэлектрической проницаемости  $\dim \epsilon_a = L^{-3}M^{-1}T^4I^2$ .

Из определяющего уравнения находим единицу абсолютной диэлектрической проницаемости среды

$$[\epsilon_a] = \frac{1 \text{ Кл}/\text{м}^2}{1 \text{ В}/\text{м}} = \frac{1 \text{ Кл}/\text{В}}{1 \text{ м}} = 1 \text{ Ф}/\text{м}.$$

**Ф а р а д н а м е т р (F/m, Ф/м)** равен абсолютной диэлектрической проницаемости среды, в которой электрическое поле напряженностью 1 В/м создает электрическое смещение 1 Кл/м<sup>2</sup>.

**Электрическая постоянная ( $\epsilon_0$ ).** Электрической постоянной называется абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума. В СИ она определяется соотношением

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7} c_0^2} = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}/\text{м}.$$

Здесь  $c_0$  — скорость распространения электромагнитных волн в вакууме. Единицей электрической постоянной является фард на метр. При применении Международной системы единиц электрическая постоянная рассматривается как одна из фундаментальных физических констант.

**Относительная диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon_r$ ).** Относительной диэлектрической проницаемостью среды называется скалярная физическая величина  $\epsilon_r$ , зависящая только от электрических свойств среды и равная отношению абсолютной диэлектрической проницаемости среды  $\epsilon_a$  к абсолютной диэлектрической проницаемости вакуума (электрической постоянной)  $\epsilon_0$ :  $\epsilon_r = \epsilon_a/\epsilon_0$ .

Числитель и знаменатель здесь выражаются в одних и тех же единицах, поэтому относительная диэлектрическая проницаемость среды оказывается безразмерной величиной, выражаемой в безразмерных единицах.

**Абсолютная диэлектрическая восприимчивость** ( $\chi_a, \chi$ ). Абсолютная диэлектрическая восприимчивость  $\chi_a$  является скалярной физической величиной, характеризующей способность вещества поляризоваться в электрическом поле. Она определяется соотношением  $\chi_a = P/E$ , где  $P$  — поляризованность диэлектрика;  $E$  — напряженность электрического поля. Из этого соотношения следует, что абсолютная диэлектрическая восприимчивость численно равна поляризованности диэлектрика в том случае, когда напряженность электрического поля равна единице. Размерность абсолютной диэлектрической восприимчивости  $\dim \chi_a = \text{Л}^{-3}\text{М}^{-1}\text{Т}^4\text{Г}^2$ . Подставляя в определяющее уравнение  $[P] = 1 \text{ Кл/м}^2$ ,  $[E] = 1 \text{ В/м}$ , получаем единицу абсолютной диэлектрической восприимчивости

$$[\chi_a] = \frac{1 \text{ Кл/м}^2}{1 \text{ В/м}} = \frac{1 \text{ Кл/В}}{1 \text{ м}} = 1 \text{ Ф/м}.$$

**Фарад на метр** (Ф/м,  $\Phi/\text{м}$ ) равен абсолютной диэлектрической восприимчивости диэлектрика, в котором при напряженности электрического поля 1 В/м создается поляризованность 1 Кл/м<sup>2</sup>.

Таким образом, абсолютная диэлектрическая восприимчивость выражается в тех же единицах, что и абсолютная диэлектрическая проницаемость и электрическая постоянная.

**Относительная диэлектрическая восприимчивость** ( $\chi_r$ ). Относительная диэлектрическая восприимчивость  $\chi_r$  есть физическая величина, равная отношению абсолютной диэлектрической восприимчивости к электрической постоянной:  $\chi_r = \chi_a/\epsilon_0$ . Относительная диэлектрическая восприимчивость среды — безразмерная физическая величина и выражается в безразмерных единицах.

**Объемная плотность энергии электрического поля** ( $\omega_s, \omega$ ). Объемной плотностью энергии электрического поля  $\omega_s$  называется скалярная физическая величина, равная отношению энергии однородного электрического поля в некотором объеме поля к этому объему. Для неоднородного поля она определяется соотношением  $\omega_s = dW_s/dV$ , где  $dW_s$  — энергия электрического поля, заключенная в элементарном объеме  $dV$ .

Для однородного электрического поля объемная плотность энергии выражается простым соотношением:  $\omega_s = W_s/V$ . Размерность этой величины  $\dim \omega_s = \text{Л}^{-1}\text{МТ}^{-2}$ . Из определяющего уравнения получаем единицу объемной плотности  $[\omega_s] = 1 \text{ Дж/л м}^3 = 1 \text{ Дж/м}^3$ .

**Джоуль на кубический метр** (Дж/м<sup>3</sup>, Дж/м<sup>3</sup>) равен объемной плотности энергии однородного электрического поля, в 1 м<sup>3</sup> которого содержится энергия, равная 1 Дж.

**Электрическое сопротивление** ( $R, r, Z, X, x$ ). Электрическое сопротивление  $R$  — скалярная физическая величина, характеризую-

шая свойства проводника и равная отношению напряжения  $U$  на концах проводника к силе электрического тока  $I$ , протекающего по нему:  $R = U/I$ . Размерность электрического сопротивления  $\dim R = L^2MT^{-3}I^{-2}$ . Подставляя в определяющее уравнение  $[U] = 1 \text{ В}$ ,  $[I] = 1 \text{ А}$ , получаем единицу электрического сопротивления:  $[R] = 1 \text{ В}/1 \text{ А} = 1 \text{ Ом}$ . Наименование этой единицы «ом» дано по имени немецкого физика Г. Ома (1787—1854).

О м ( $\Omega$ , Ом) равен электрическому сопротивлению проводника, между концами которого возникает напряжение 1 В при силе постоянного тока 1 А.

**Удельное электрическое сопротивление ( $\rho$ ).** Удельное электрическое сопротивление — скалярная физическая величина, характеризующая данное вещество и численно равная сопротивлению  $R$  проводника с постоянным поперечным сечением  $S$  и длиной  $l$ , для которого отношение  $S/l$  численно равно единице.

Определяющим уравнением для удельного сопротивления является соотношение  $\rho = RS/l$ . Размерность удельного сопротивления  $\dim \rho = L^3MT^{-3}I^{-2}$ . Полагая в определяющем уравнении  $[R] = 1 \text{ Ом}$ ,  $[S] = 1 \text{ м}^2$ ,  $[l] = 1 \text{ м}$ , получаем единицу удельного электрического сопротивления:  $[\rho] = 1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ м}^2/1 \text{ м} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

О м · м е т р ( $\Omega \cdot \text{м}$ , Ом · м) равен удельному электрическому сопротивлению вещества, при котором участок выполненной из этого вещества электрической цепи длиной 1 м и площадью поперечного сечения  $1 \text{ м}^2$  имеет сопротивление 1 Ом.

**Электрическая проводимость ( $G$ , г).** Электрическая проводимость — скалярная физическая величина, обратная электрическому сопротивлению проводника:  $G = 1/R$ . Размерность электрической проводимости  $\dim G = L^{-2}M^{-1}T^3I^2$ . Единица СИ для электрической проводимости  $[G] = 1/1 \text{ Ом} = 1 \text{ Ом}^{-1} = 1 \text{ См}$ . Эта единица получила специальное наименование «сименс» на XIV Генеральной конференции по мерам и весам в 1971 г. по имени немецкого ученого В. Сименса (1816—1892).

С и м е н с ( $S$ , См) равен электрической проводимости участка электрической цепи сопротивлением 1 Ом.

**Удельная электрическая проводимость ( $\gamma$ ,  $\sigma$ ).** Удельная электрическая проводимость — скалярная физическая величина  $\gamma$ , характеризующая электрические свойства вещества, обратно пропорциональная удельному электрическому сопротивлению. Она численно равна проводимости проводника  $G$  с постоянным поперечным сечением  $S$  и длиной  $l$ , для которого отношение  $l/S$  численно равно единице.

Определяющим уравнением для удельной электрической проводимости является соотношение  $\gamma = Gl/S = 1/\rho$ . Размерность удельной электрической проводимости  $\dim \gamma = L^{-3}M^{-1}T^3I^2$ . Единица удельной электрической проводимости  $[\gamma] = 1 \text{ см} \cdot 1 \text{ м}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ См}/\text{м}$ .

С и м е н с н а м е т р ( $S/\text{м}$ , См/м) равен удельной электрической проводимости вещества, при которой участок выполненной

из этого вещества электрической цепи длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м<sup>2</sup> имеет электрическую проводимость 1 См.

**Температурный коэффициент электрического сопротивления ( $\alpha$ ).** Температурным коэффициентом электрического сопротивления  $\alpha$  называют скалярную физическую величину, характеризующую зависимость электрического сопротивления вещества от температуры, численно равную, например, отношению относительного изменения удельного электрического сопротивления  $\Delta\rho = \rho_t - \rho_0$  к изменению температуры  $\Delta T$ :  $\alpha = \Delta\rho/\rho_0\Delta T$ . В этом определяющем уравнении  $\rho_0$  — удельное электрическое сопротивление вещества при  $T_0 = 273$  К;  $\rho_t$  — удельное электрическое сопротивление вещества при  $T = T_0 + \Delta T$ . Размерность температурного коэффициента электрического сопротивления  $\dim \alpha = \Theta^{-1}$ . Единица температурного коэффициента электрического сопротивления  $[\alpha] = 1 \text{ К}^{-1}$ .

Кельвин в минус первой степени ( $\text{К}^{-1}$ ,  $\text{К}^{-1}$ ) — температурный коэффициент относительного изменения удельного электрического сопротивления, при котором изменение температуры на 1 К от принятой за начальную вызывает относительное изменение удельного электрического сопротивления, равное единице.

**Коэффициент Зеебека для веществ  $a$  и  $b$  ( $S_{ab}$ ,  $\varepsilon_{ab}$ ).** Коэффициентом Зеебека  $S_{ab}$  называется скалярная физическая величина, характеризующая термопару, равная отношению приращения термоэлектродвижущей силы термопары  $\Delta E$  к изменению разности температур спаев  $\Delta T$ , которое вызывает это приращение:  $S_{ab} = \Delta E_{ab}/\Delta T$ . Размерность коэффициента Зеебека  $\dim S_{ab} = \text{L}^2\text{MT}^{-3}\Theta^{-1}\text{I}^{-1}$ . Единица коэффициента Зеебека СИ  $[S_{ab}] = 1\text{В}/1\text{К} = 1\text{В}/\text{К}$ .

Вольт на кельвин ( $\text{В}/\text{К}$ ,  $\text{В}/\text{К}$ ) равен коэффициенту Зеебека такой термопары, термоэлектродвижущая сила которой изменяется на 1 В при изменении разности температур ее спаев на 1 К.

**Коэффициент Пельтье ( $\Pi_{ab}$ ).** Коэффициентом Пельтье называется физическая величина, равная отношению теплоты  $Q_p$ , выделяющейся в одном из спаев термопары, к электрическому заряду  $Q$ , проходящему через спай и вызывающему выделение (поглощение) теплоты:  $\Pi_{ab} = Q_p/Q$ . Размерность коэффициента Пельтье  $\dim \Pi_{ab} = \text{L}^2\text{MT}^{-3}\text{I}^{-1}$ . Единица коэффициента Пельтье  $[\Pi_{ab}] = = 1 \text{ Дж}/1\text{Кл} = 1\text{В}$

Вольт ( $\text{В}$ ,  $\text{В}$ ) равен коэффициенту Пельтье термопары, в одном из спаев которой выделяется теплота 1 Дж при прохождении через него электрического заряда 1 Кл.

**Коэффициент Томсона ( $\mu$ ,  $\tau$ ).** Коэффициентом Томсона называется скалярная физическая величина, равная отношению теплоты  $Q_m$ , выделяющейся на участке проводника при прохождении через его поперечное сечение электрического заряда  $Q$ , если на его концах существует разность температур  $\Delta T$ , к электрическому заряду  $Q$  и разности температур  $\Delta T$ :  $\mu = Q_m/Q\Delta T$ . Размерность коэффициента Томсона  $\dim \mu = \text{L}^2\text{MT}^{-3}\Theta^{-1}\text{I}^{-1}$ . Единица коэффициента Томсона  $[\mu] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ Кл} \cdot 1 \text{ К} = 1 \text{ В}/\text{К}$ .

Вольт на кельвин ( $V/K$ ,  $V/K$ ) равен коэффициенту Томсона проводника, в котором выделяются теплота 1 Дж при прохождении через него электрического заряда 1 Кл, если разность температур на концах проводника равна 1 К.

**Магнитный поток ( $\Phi$ ).** Магнитным потоком называется скалярная физическая величина  $\Phi$ . При изменении магнитного потока через поперечное сечение сцепленной с ним электрической цепи в ней проходит электрический заряд  $\Delta Q$ . Определяющим уравнением для магнитного потока является соотношение  $\Phi = \Delta QR$ , где  $R$  — электрическое сопротивление цепи. Из этого уравнения следует, что размерность магнитного потока  $\dim \Phi = L^2 MT^{-2} I^{-1}$ . Единица магнитного потока СИ  $[\Phi] = 1 \text{ Кл} \cdot 1 \text{ Ом} = 1 \text{ Кл} \cdot \text{Ом} = 1 \text{ Вб}$  получила специальное наименование «вебер» по имени немецкого ученого В. Вебера (1804—1891).

Вебер ( $Wb$ , Вб) равен магнитному потоку, при убывании которого до нуля в сцепленной с ним электрической цепи сопротивлением 1 Ом через поперечное сечение проводника проходит электрический заряд 1 Кл.

**Магнитная индукция ( $B$ ).** Магнитной индукцией называется векторная физическая величина  $B$ , являющаяся силовой характеристикой магнитного поля. В качестве определяющего уравнения для магнитной индукции при построении СИ выбрано уравнение  $B = \Phi/S$ , где  $\Phi$  — магнитный поток, пронизывающий поверхность площадью  $S$ . Численное значение магнитной индукции определяется этим соотношением, а ее размерность  $\dim B = MT^{-2} I^{-1}$ . Единица магнитной индукции  $[B] = 1 \text{ Вб}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Вб}/\text{м}^2 = 1 \text{ Тл}$  имеет специальное наименование «тесла», присвоенное ей по имени югославского ученого Н. Тесла (1856—1943).

Тесла ( $T$ , Тл) равна магнитной индукции, при которой магнитный поток сквозь поперечное сечение площадью 1 м<sup>2</sup> равен 1 Вб.

**Магнитодвижущая сила ( $F$ ,  $F_m$ ).** Магнитодвижущей силой называется скалярная физическая величина, характеризующая замкнутый контур, охватывающий проводники с током, и определяемая соотношением  $F = nI$ , где  $n$  — число обходов замкнутого контура вокруг проводников с током,  $I$  — алгебраическая сумма токов, протекающих в проводниках. Размерность магнитодвижущей силы  $\dim F = I$ . Единица магнитодвижущей силы  $[F] = 1 \text{ А}$ .

Ампер ( $A$ , А) равен магнитодвижущей силе вдоль замкнутого контура, сцепленного с контуром постоянного тока силой 1 А.

Ранее для этой единицы часто использовалось наименование «ампер-виток».

**Разность магнитных скалярных потенциалов ( $U_m$ ).** Разностью магнитных потенциалов называется физическая величина, равная магнитодвижущей силе, приходящейся на участок контура, охватывающего проводники с током.

Разность магнитных потенциалов, как и магнитодвижущая сила, выражается в амперах.

**Напряженность магнитного поля ( $H$ ).** Напряженность магнитного поля  $H$  является силовой характеристикой магнитного поля. В качестве определяющего уравнения для напряженности магнитного поля при построении Международной системы единиц выбрано соотношение  $H = IN/l = nI$ , где  $I$  — сила электрического тока, протекающего в соленоиде, в котором на длине  $l$  укладывается  $N$  витков;  $n$  — число витков, приходящихся на единицу длины соленоида.

Из соотношения следует, что размерность напряженности магнитного поля  $\dim H = L^{-1}I$ . Единица напряженности магнитного поля  $[H] = \text{нм}^{-1} \frac{1}{n} \text{А} = 1 \text{А/м}$ .

**А м п е р н а м е т р (А/м, А/м)** равен напряженности магнитного поля в центре длинного соленоида с равномерно распределенной обмоткой, по которой проходит ток силой  $1/n\text{А}$ , где  $n$  — число витков на участке соленоида длиной 1 м.

**Индуктивность собственная (статическая индуктивность, коэффициент самоиндукции) ( $L$ ).** Индуктивностью контура называется скалярная физическая величина  $L$ , равная отношению магнитного потока, сцепленного с контуром, к силе тока, протекающего по контуру и создающего этот магнитный поток.

Индуктивность является характеристикой контура, зависящей только от геометрической формы и размеров контура и магнитных свойств среды, в которой он находится.

Определяющее уравнение для индуктивности имеет вид  $L = \Phi/I$ , где  $\Phi$  — магнитный поток, сцепленный с контуром, по которому протекает ток  $I$ .

Из уравнения следует, что размерность индуктивности  $\dim L = L^2\text{МТ}^{-2}\text{Г}^{-2}$ . Единица индуктивности  $[L] = 1 \text{Вб}/1 \text{А} = 1 \text{Вб}/\text{А} = 1 \text{Гн}$  получила специальное наименование «генри» по имени американского ученого Д. Генри (1797—1878).

**Г е н р и (Н, Гн)** равен индуктивности электрической цепи, с которой при силе постоянного тока в ней 1 А сцепляется магнитный поток 1 Вб.

**Взаимная индуктивность (статическая взаимная индуктивность, коэффициент взаимной индукции) ( $M, L_{mn}$ ).** Взаимной индуктивностью двух контуров  $M$  называется скалярная физическая величина, зависящая от геометрической формы, размеров и взаимного расположения контуров, а также от магнитных свойств среды, в которой они расположены. Взаимная индуктивность равна отношению магнитного потока  $\Phi$ , сцепленного с одним контуром, к силе тока  $I$ , проходящего по второму контуру:  $M = \Phi/I$ . Из уравнения следует, что размерность взаимной индуктивности совпадает с размерностью индуктивности:  $\dim M = L^2\text{МТ}^{-2}\text{Г}^{-2}$ . Единица взаимной индуктивности  $[M] = 1 \text{Вб}/1 \text{А} = 1 \text{Вб}/\text{А} = 1 \text{Гн}$ .

**Г е н р и (Н, Гн)** равен взаимной индуктивности двух контуров, с одним из которых сцеплен магнитный поток 1 Вб, если по другому протекает ток силой 1 А.

**Абсолютная магнитная проницаемость** ( $\mu_a, \mu$ ). Абсолютной магнитной проницаемостью среды  $\mu_a$  называется скалярная физическая величина, характеризующая магнитные свойства среды и равная отношению магнитной индукции  $B$  к напряженности магнитного поля  $H$  в данной точке:  $\mu_a = B/H$ . Из соотношения следует, что размерность абсолютной магнитной проницаемости  $\dim \mu_a = \text{ЛМТ}^{-2}\text{I}^{-2}$ .

Подставляя в определяющее уравнение значение  $[B] = 1 \text{ Тл}$ ,  $[H] = 1 \text{ А/м}$ , получаем единицу абсолютной магнитной проницаемости среды  $[\mu_a] = 1 \text{ Тл/1 (А} \cdot \text{м}^{-1}) = 1 \text{ Гн/м}$ .

**Генри на метр** (Н/м, Гн/м) равен абсолютной магнитной проницаемости среды, в которой при напряженности магнитного поля  $1 \text{ А/м}$  создается магнитная индукция  $1 \text{ Гн}$ .

**Магнитная постоянная** ( $\mu_0$ ). Магнитной постоянной  $\mu_0$  называется абсолютная магнитная проницаемость вакуума. В СИ она определяется соотношением  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 1,256\ 637 \times 10^{-6} \text{ Гн/м}$ .

Единицей магнитной постоянной, как и абсолютной магнитной проницаемости, является генри на метр. Естественно, что и размерности этих величин совпадают. При использовании Международной системы единиц магнитная постоянная оказывается одной из фундаментальных физических констант.

**Относительная магнитная проницаемость** ( $\mu_r$ ). Относительной магнитной проницаемостью среды называется скалярная физическая величина  $\mu_r$ , зависящая только от магнитных свойств среды и равная отношению абсолютной магнитной проницаемости среды  $\mu_a$  к магнитной постоянной  $\mu_0$ :  $\mu_r = \mu_a/\mu_0$ . Числитель и знаменатель здесь имеют одинаковые размерности, поэтому относительная магнитная проницаемость среды оказывается безразмерной величиной, выражаемой безразмерной единицей.

Определяющее соотношение можно преобразовать следующим образом:  $\mu_r = \mu_a/\mu_0 = \mu_a H/\mu_0 H = B/B_0$ , где  $H$  — напряженность магнитного поля в данной точке;  $B$  — магнитная индукция в этой точке поля при наличии среды с абсолютной магнитной проницаемостью  $\mu_a$ ;  $B_0$  — магнитная индукция в той же точке поля в вакууме.

Из полученного соотношения следует, что относительная магнитная проницаемость среды является величиной, показывающей во сколько раз магнитная индукция  $B$  поля в данной среде отличается от магнитной индукции поля в вакууме.

**Магнитный момент электрического тока** ( $m$ ). Магнитным моментом  $m$  плоского замкнутого контура с электрическим током  $I$  называется векторная электрическая величина, числовое значение которой  $m = IS$ , где  $S$  — площадь контура. Магнитный момент электрического тока направлен по нормали к плоскости контура в соответствии с правилом буравчика.

Из определяющего уравнения следует, что размерность магнитного момента электрического тока  $\dim m = \text{Л}^2\text{I}$ . Единица магнит-

ного момента электрического тока  $[m] = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ .

А м п е р - к в а д р а т н ы й м е т р ( $\text{А} \cdot \text{м}^2$ ,  $\text{А} \cdot \text{м}^2$ ) равен магнитному моменту электрического тока силой 1 А, проходящего по плоскому контуру площадью 1 м<sup>2</sup>.

**Гиромагнитное отношение** (отношение магнитного момента электрона  $p_m$  к его моменту количества движения  $L_e$ ) ( $\gamma$ ). Эта физическая величина определяется соотношением  $\gamma = p_m/L_e$ . Размерность гиромагнитного отношения  $\dim \gamma = \text{М}^{-1}\text{ТГ}$ . Подставляя в определяющее уравнение  $[p_m] = 1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ ,  $[L_e] = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ , получаем единицу гиромагнитного отношения:

$$[\gamma] = \frac{1 \text{ А} \cdot \text{м}^2}{1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}} = 1 \text{ с}^{-1} \cdot \text{Тл}^{-1}.$$

С е к у н д а в м и н у с п е р в о й с т е п е н и - т е с л а в м и н у с п е р в о й с т е п е н и ( $\text{с}^{-1} \cdot \text{Т}^{-1}$ ,  $\text{с}^{-1} \cdot \text{Тл}^{-1}$ ) равна гиромагнитному отношению, если магнитный момент электрона равен 1 А · м<sup>2</sup>, а его механический момент количества движения равен 1 кг · м<sup>2</sup>/с.

**Намагниченность** ( $M$ ). Намагниченность определяется по формуле

$$M = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \left( \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n m_i \right),$$

где  $n$  — число частиц, содержащихся в объеме  $\Delta V$  магнетика;  $m$  — магнитный момент  $i$ -й частицы.

Для однородного магнетика намагниченность выражается определяющим уравнением:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i/V,$$

где  $\sum_{i=1}^n m_i$  — магнитный момент вещества, содержащегося в объеме  $V$ . Из уравнения следует, что размерность намагниченности

$\dim M = \text{Л}^{-1}\text{Г}$ . Подставляя в определяющее уравнение  $\left[ \sum_{i=1}^n m_i \right] = 1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ ,  $[V] = 1 \text{ м}^3$ , получаем единицу намагниченности:  $[M] = = \frac{1 \text{ А} \cdot \text{м}^2}{1 \text{ м}^3} = 1 \text{ А/м}$ .

А м п е р н а м е т р ( $\text{А/м}$ ,  $\text{А/м}$ ) равен намагниченности вещества, при которой вещество объемом 1 м<sup>3</sup> имеет магнитный момент 1 А · м<sup>2</sup>.

**Магнитная восприимчивость** ( $\chi$ ,  $\chi_m$ ). Магнитной восприимчивостью вещества  $\chi_m$  называется скалярная физическая величина, характеризующая способность вещества намагничиваться во внешнем магнитном поле, равная отношению намагниченности вещества к напряженности магнитного поля:  $\chi_m = M/H$ . Намагниченность

вещества и напряженность магнитного поля имеют одинаковые размерности; следовательно, магнитная восприимчивость является безразмерной величиной, выражаемой безразмерными единицами.

**Магнитное сопротивление** ( $R_m, r_m$ ). Магнитным сопротивлением  $R_m$  называется скалярная физическая величина, характеризующая магнитные цепи или их участки. Согласно формуле Голкинсона (закон Ома для замкнутой магнитной цепи) магнитное сопротивление цепи равно отношению магнитодвижущей силы  $F_m$  к магнитному потоку  $\Phi$ , создаваемому в магнитной цепи:  $R_m = F_m/\Phi$ . Отсюда следует, что размерность магнитного сопротивления  $\dim R_m = L^{-2}M^{-1}T^2I^2$ . Единица магнитного сопротивления  $[R_m] = = 1A/1B\delta = 1A/B\delta = 1 Гн^{-1}$ .

Генри в минус первой степени ( $H^{-1}, Гн^{-1}$ ) равен магнитному сопротивлению магнитной цепи, в которой намагничивающая сила 1 А создает магнитный поток 1 Вб.

**Магнитная проводимость** ( $\Lambda$ ). Магнитной проводимостью  $\Lambda$  магнитной цепи называется физическая величина, обратная ее магнитному сопротивлению:  $\Lambda = 1/R_m$ . Из этого соотношения вытекает, что размерность магнитной проводимости  $\dim \Lambda = L^2MT^{-2}I^{-2}$ . Единица магнитной проводимости

$$[\Lambda] = \frac{1}{1A/1B\delta} = 1B\delta/A = 1 Гн.$$

Генри ( $H, Гн$ ) равен магнитной проводимости магнитной цепи с магнитным сопротивлением 1  $Гн^{-1}$ .

**Электромагнитная энергия** ( $W$ ). Электромагнитной энергией  $W$  называется физическая величина, равная энергии электромагнитного поля. Она определяется работой  $A$ , которую нужно совершить для создания электромагнитного поля  $W = A$ . Из соотношения следует, что электромагнитная энергия имеет такую же размерность, что и работа, а также и другие виды энергии. Единицей электромагнитной энергии СИ является джоуль.

Джоуль ( $J, Дж$ ) равен электромагнитной энергии, эквивалентной работе 1 Дж.

**Объемная плотность энергии магнитного поля** ( $\omega_m$ ). Объемной плотностью энергии магнитного поля называется скалярная физическая величина, равная отношению энергии магнитного поля, заключенной в некотором объеме, к этому объему:  $\omega_m = = dW_m/dV = \frac{1}{2} BH$ , где  $dW_m$  — энергия магнитного поля, локализованная в элементарном объеме  $dV$ ;  $B$  — индукция магнитного поля;  $H$  — его напряженность. В случае однородного магнитного поля плотность его энергии выражается простой формулой:  $\omega_m = = W_m/V$ , откуда размерность объемной плотности энергии магнитного поля  $\dim \omega_m = L^{-1}MT^{-2}$ .

Полагая в определяющем уравнении  $[W_m] = 1 Дж$ ,  $[V] = 1 м^3$ , получаем единицу объемной плотности магнитной энергии:  $[W_m] = = 1 Дж/1 м^3 = 1 Дж/м^3$ .

Джоуль на кубический метр ( $J/m^3$ , Дж/м<sup>3</sup>) равен объемной плотности энергии однородного магнитного поля, в котором в 1 м<sup>3</sup> содержится энергия 1 Дж.

**Объемная плотность электромагнитной энергии ( $\omega$ ).** Объемной плотностью электромагнитной энергии  $\omega$  называется физическая величина, числовое значение которой равно энергии электромагнитного поля, отнесенной к объему. Объемная плотность электромагнитной энергии равна сумме объемных плотностей энергии электрического и магнитного полей, неразрывно связанных между собой в электромагнитном поле:  $\omega = \omega_e + \omega_m = \frac{DE}{2} + \frac{BH}{2}$ .

Размерности объемных плотностей энергий электрического и магнитного полей совпадают, следовательно, размерность объемной плотности электромагнитной энергии выразится уравнением  $\dim \omega = L^{-1}MT^{-2}$ . Единицей объемной плотности электромагнитной энергии является джоуль на кубический метр.

Джоуль на кубический метр ( $J/m^3$ , Дж/м<sup>3</sup>) — плотность энергии электромагнитного поля, в 1 м<sup>3</sup> которого содержится электромагнитная энергия 1 Дж.

**Вектор Пойнтинга (плотность потока электромагнитной энергии) (S, П).** Вектор Пойнтинга S — физическая величина, характеризующая перенос мгновенной электромагнитной энергии в пространстве, равная отношению электромагнитной энергии, переносимой через поверхность, перпендикулярную к направлению переноса энергии, к площади этой поверхности и времени, в течение которого перенесена энергия.

Вектор Пойнтинга определяется по формуле  $\mathbf{S} = [\mathbf{E}\mathbf{H}]$ , где  $\mathbf{E}$  — вектор напряженности электрического поля;  $\mathbf{H}$  — вектор напряженности магнитного поля.

Из этого соотношения следует, что размерность вектора Пойнтинга  $\dim S = MT^{-3}$ .

Единица вектора Пойнтинга  $[S] = 1 \text{ В/м} \cdot 1 \text{ А/м} = 1 \text{ В} \cdot \text{А/м}^2 = 1 \text{ Вт/м}^2$ .

Ватт на квадратный метр ( $W/m^2$ , Вт/м<sup>2</sup>) равен вектору Пойнтинга, при котором поток электромагнитной энергии 1 Вт равномерно распределен по поверхности площадью 1 м<sup>2</sup>.

**Активная мощность (P).** Активной мощностью цепи переменного тока называется физическая величина, определяемая по формулам  $P = IU \cos \varphi$  — для однофазного тока;  $P = \sqrt{3} I U \cos \varphi$  — для трехфазного тока, где  $U$ ,  $I$  — действующие (эффективные) значения переменного напряжения и тока;  $\varphi$  — сдвиг фаз между ними. Активная мощность цепи постоянного тока выражается произведением силы тока,  $I$  на напряжение  $U$ :  $P = IU$ .

Из этого соотношения следует, что размерность активной мощности  $\dim P = L^2MT^{-3}$ . Единица активной мощности  $[P] = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В} = 1 \text{ А} \cdot \text{В} = 1 \text{ Вт}$ .

Ватт (W, Вт) равен активной мощности, эквивалентной механической мощности 1 Вт.

**Реактивная мощность ( $Q, P_Q$ ).** Реактивной мощностью цепи переменного тока  $Q$  называют физическую величину, определяемую по формулам  $Q = IU \sin \varphi$  — для однофазного тока;  $Q = \sqrt{3} IU \sin \varphi$  — для трехфазного тока, где  $I, U$  — действующие (эффективные) значения переменного напряжения и тока;  $\varphi$  — сдвиг фаз между ними.

Полагая в первом уравнении  $[I] = 1 \text{ А}$ ,  $[U] = 1 \text{ В}$ ,  $[\sin \varphi] = 1$ , получаем единицу реактивной мощности:  $[Q] = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} = 1 \text{ вар}$ .

**В а р (вар)** равен реактивной мощности при напряжении 1 В, силе тока 1 А и  $\sin \varphi = 1$ .

Размерность реактивной мощности совпадает с размерностью активной мощности.

**Полная мощность ( $S, P_S$ ).** Полная мощность электрической цепи переменного тока  $S$  равна сумме активной и реактивной мощности этой цепи:  $S = \sqrt{Q^2 + P^2}$ , т. е. она совпадает с размерностями активной и реактивной мощностей. Единица полной мощности  $[P_s] = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$ .

**В о л т - а м п е р (В · А)** равен полной мощности при действующих значениях напряжения 1 В и силы тока 1 А. Вольт-ампер эквивалентен ватту только при отсутствии сдвига фаз между током и напряжением ( $\varphi = 0$ ).

### 3.6. Производные единицы тепловых величин

**Теплота, количество теплоты ( $Q$ ).** Теплотой называется скалярная физическая величина, характеризующая микрофизическую форму передачи энергии от одного тела к другому или ее превращения из одной формы в другую. Теплота, как и работа (характеризующая макрофизическую форму передачи или превращения энергии), является функцией процесса, и поэтому, например, для перевода термодинамической системы из одного состояния в другое в различных процессах необходимо затрачивать различные количества теплоты. В случае изотермического процесса теплота  $Q$  определяется равенством (представляющим первое начало термодинамики для этого процесса)  $Q = A$ , где  $A$  — работа, совершаемая системой при ее изотермическом расширении. Из соотношения следует, что размерность теплоты  $\dim Q = \text{Л}^2 \text{МТ}^{-2}$ . Единицей теплоты в СИ является джоуль.

**Д ж о у л ь (J, Дж)** равен теплоте, эквивалентной работе 1 Дж.

**Термодинамический потенциал (внутренняя энергия, энтальпия, изохорно-изотермический потенциал, изобарно-изотермический потенциал).** Термодинамическим потенциалом называется характеристическая функция, изменение которой в равновесном (обратимом) процессе, протекающем при неизменных значениях определенной пары термодинамических параметров, равно полной работе, произведенной системой, за вычетом работы против внешнего давления.

а) Внутренняя энергия ( $U$ ). Внутренней энергией системы называется энергия, зависящая только от термодинамического состояния системы. Она является характеристической функцией системы и ее термодинамическим потенциалом (изохорно-изоэнтروпийный потенциал), если в качестве независимых переменных избраны энтропия  $S$  и объем  $V$ . В адиабатическом процессе изменение внутренней энергии системы (ее уменьшение)  $\Delta U$  связано с работой  $A$  внешних сил следующим образом:  $A = -\Delta U$ .

б) Энтальпия ( $H$ ,  $I$ ). Энтальпией (теплосодержанием, тепловой функцией) называется функция состояния термодинамической системы, равная сумме ее внутренней энергии  $U$  и произведения давления  $p$  на объем  $V$  системы  $H = U + pV$ . Она является характеристической функцией системы и ее термодинамическим потенциалом (изобарно-изоэнтропийным потенциалом), если в качестве независимых переменных избраны энтропия  $S$  и давление  $p$ .

в) Изохорно-изотермическим потенциалом (свободной энергией, изохорным потенциалом) ( $F$ ,  $E$ ) называется функция состояния термодинамической системы, равная разности ее внутренней энергии  $U$  и произведения температуры системы  $T$  на ее энтропию  $S$ :  $F = U - TS$ . Эта величина является характеристической функцией системы, если в качестве независимых переменных избраны температура системы  $T$  и ее объем  $V$ .

г) Изобарно-изотермическим потенциалом (изобарным потенциалом, термодинамическим потенциалом Гиббса) ( $G$ ) называется функция состояния термодинамической системы, выражаемая соотношением  $G = H - TS = U + pV - TS$ . Он является характеристической функцией системы, если в качестве независимых переменных избраны температура  $T$  и давление  $p$  системы.

Из определяющих уравнений для термодинамических потенциалов следует, что все они имеют одинаковую размерность, совпадающую с размерностью количества теплоты. Единицей термодинамических потенциалов является джоуль.

Д ж о у л ь (J, Дж) равен термодинамическому потенциалу, эквивалентному работе 1 Дж.

**Теплота фазового превращения** ( $L$ ,  $g$ ). Теплотой фазового превращения (отличной от нуля для фазовых переходов 1-го рода) называется физическая величина, равная количеству теплоты, которая поглощается (или выделяется) системой при фазовых переходах (скрытая теплота испарения, плавления, конденсации, кристаллизации, сублимации, адсорбции, перехода твердого тела из одной кристаллической модификации в другую). Из определения следует, что размерность скрытой теплоты фазового перехода совпадает с размерностью количества теплоты. Единицей скрытой теплоты фазового перехода в СИ является джоуль.

Д ж о у л ь (J, Дж) равен скрытой теплоте фазового перехода, эквивалентной работе 1 Дж.

**Теплота химической реакции** ( $Q$ ). Теплотой химической реакции называется физическая величина, равная количеству теплоты,

которое поглощается (или выделяется) системой при ее химическом превращении (химической реакции). Отсюда следует, что теплота химической реакции имеет такую же размерность, что и количество теплоты. Единицей теплоты химической реакции является джоуль.

**Джоуль (J, Дж)** равен теплоте химической реакции, эквивалентной работе 1 Дж.

**Удельное количество теплоты ( $q$ ).** Удельным количеством теплоты  $q$  называется скалярная физическая величина, равная отношению количества теплоты  $Q$ , полученного (или отданного) телом, к массе этого тела  $m$ :  $q = Q/m$ . Из соотношения следует, что размерность удельного количества теплоты  $\dim q = \text{L}^2\text{T}^{-2}$ . Подставляя  $[Q] = 1 \text{ Дж}$ ,  $[m] = 1 \text{ кг}$  в определяющее уравнение, получаем единицу удельного количества теплоты  $[q] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ кг} = 1 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

**Джоуль на килограмм (J/kg, Дж/кг)** равен удельному количеству теплоты системы, в которой веществу массой 1 кг сообщается (или отбирается от него) количество теплоты 1 Дж.

**Удельный термодинамический потенциал ( $\phi$ ).** Удельным термодинамическим потенциалом называется скалярная физическая величина  $\phi$ , равная отношению термодинамического потенциала системы к ее массе. Отсюда следует, что размерность удельного термодинамического потенциала совпадает с размерностью удельного количества теплоты. Единицей удельного термодинамического потенциала является джоуль на килограмм.

**Джоуль на килограмм (J/kg, Дж/кг)** равен удельному термодинамическому потенциалу вещества, при котором термодинамический потенциал вещества массой 1 кг равен 1 Дж.

**Удельная теплота фазового превращения ( $q$ ).** Удельной теплотой фазового превращения называется скалярная физическая величина, равная отношению количества теплоты, которая поглощается (или выделяется) системой при фазовом превращении, к массе этой системы. Из определения следует, что размерность удельной теплоты фазового превращения совпадает с размерностью удельного количества теплоты, а единицей удельной теплоты фазового превращения является джоуль на килограмм.

**Джоуль на килограмм (J/kg, Дж/кг)** равен удельной теплоте фазового превращения, при котором для фазового превращения 1 кг вещества поглощается (или выделяется) 1 Дж количества теплоты.

**Удельная теплота химической реакции ( $q$ ).** Удельной теплотой химической реакции называется скалярная физическая величина, равная отношению количества теплоты  $Q$ , выделившейся (или поглотившейся) в процессе химической реакции, к массе  $m$  прореагировавшего вещества:  $q = Q/m$ . Из соотношения следует, что размерность удельной теплоты химической реакции  $\dim q = \text{L}^2\text{T}^{-2}$ . Полагая  $[Q] = 1 \text{ Дж}$ ,  $[m] = 1 \text{ кг}$ , с помощью определяющего уравнения устанавливаем единицу СИ удельной теплоты химической реакции:  $[q] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ кг} = 1 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

Джоуль на килограмм (J/kg, Дж/кг) равен удельной теплоте химической реакции, при которой 1 кг прореагировавшего вещества выделяет или поглощает количество теплоты 1 Дж.

**Удельная теплота сгорания топлива** ( $q, Q, H$ ). Удельной теплотой сгорания топлива (окисления топлива)  $q$  называется физическая величина, равная отношению количества теплоты  $Q$ , выделившегося при сгорании топлива, к массе  $m$  сгоревшего топлива:  $q = Q/m$ . Из соотношения следует, что размерность удельной теплоты сгорания топлива  $\dim q = \text{L}^2\text{T}^{-2}$ . Единица СИ для удельной теплоты сгорания топлива  $[q] = 1 \text{ Дж/кг} = 1 \text{ Дж/кг}$ .

Джоуль на килограмм (J/kg, Дж/кг) равен удельной теплоте сгорания топлива, при которой полное сгорание 1 кг топлива сопровождается выделением количества теплоты 1 Дж.

**Теплоемкость системы** ( $C$ ). Теплоемкостью системы тел (тела) называется физическая величина, равная отношению количества теплоты  $Q$ , которое нужно затратить для нагревания системы тел (тела), к разности температур  $\Delta T$ , характеризующей это нагревание:  $C = Q/\Delta T$ . Из соотношения следует, что размерность теплоемкости  $\dim C = \text{L}^2\text{MT}^{-2}\Theta^{-1}$ . Единица теплоемкости системы  $[C] = 1 \text{ Дж/К} = 1 \text{ Дж/К}$ .

Джоуль на кельвин (J/K, Дж/К) равен теплоемкости системы, температура которой повышается на 1 К при подведении к системе количества теплоты 1 Дж.

**Объемная теплоемкость** ( $c$ ). Объемной теплоемкостью называется физическая величина, равная произведению удельной теплоемкости  $c_m$  на плотность вещества  $\rho_n$ . Определяющим уравнением объемной теплоемкости является соотношение  $c = \rho_n c_m \triangleq \Delta Q / (V_n \Delta T)$ , где  $\Delta Q$  — количество теплоты, которое необходимо для нагревания объема вещества  $V_n$  на  $\Delta T$ . Из уравнения следует, что объемная теплоемкость имеет размерность  $\dim c = \text{L}^{-1}\text{MT}^{-2}\Theta^{-1}$ .

Подставляя в определяющее уравнение значения  $[\Delta Q] = 1 \text{ Дж}$ ,  $[V_n] = 1 \text{ м}^3$ ,  $[\Delta T] = 1 \text{ К}$ , получаем единицу удельной объемной теплоемкости СИ:  $[c] = 1 \text{ Дж}/(1 \text{ м}^3 \cdot 1 \text{ К}) = 1 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ .

Джоуль на кубический метр-кельвин  $[J/(\text{м}^3 \cdot \text{К})]$ ,  $[Дж/(\text{м}^3 \cdot \text{К})]$  равен объемной теплоемкости вещества, при которой для нагревания 1 м<sup>3</sup> вещества на 1 К при нормальных условиях требуется затратить 1 Дж количества теплоты.

**Энтропия системы** ( $S$ ). Энтропией системы называется функция состояния системы, дифференциал которой в элементарном обратимом процессе равен отношению бесконечно малого количества теплоты, сообщенного системе  $dQ$ , к ее абсолютной температуре  $T$ :  $dS = dQ/T$ . В изотермическом процессе изменение энтропии системы  $\Delta S$  выразится соотношением  $\Delta S = \Delta Q/T$ . Из него следует, что размерность энтропии  $\dim S = \text{L}^2\text{MT}^{-2}\Theta^{-1}$ . Подставив в определяющее уравнение  $[\Delta Q] = n \text{ Дж}$ ,  $[T] = n \text{ К}$ , где  $n$  — положительное число, получаем единицу энтропии:  $[S] = n \text{ Дж}/n \text{ К} = 1 \text{ Дж/К}$ .

Джоуль на кельвин (J/K, Дж/К) равен изменению

энтропии системы, которой при температуре  $nK$  в изотермическом процессе сообщается количество теплоты  $nДж$ .

**Удельная теплоемкость** ( $c, c_m, c_p, c_v$ ). Удельной теплоемкостью вещества  $c_m$  называется скалярная физическая величина, являющаяся характеристикой вещества, равная отношению теплоемкости однородного тела  $C$  к его массе  $m$ :  $c_m = C/m = Q/m\Delta T$ . Из этого соотношения следует, что размерность удельной теплоемкости  $\dim c_m = L^2T^{-2}\Theta^{-1}$ .

Единица удельной теплоемкости  $[c_m] = 1Дж/(1 кг \cdot 1 K) = 1 Дж/(кг \cdot K)$ .

Джоуль на килограмм-кельвин  $[J/(кг \cdot K), Дж/(кг \cdot K)]$  равен удельной теплоемкости вещества, имеющего при массе 1 кг теплоемкость 1 Дж/К.

**Удельная энтропия** ( $s$ ). Удельной энтропией  $s$  называется физическая величина, определяемая соотношением  $s = \Delta S/m$ , где  $\Delta S$  — изменение энтропии тела;  $m$  — его масса. Из соотношения следует, что размерность удельной энтропии  $\dim s = L^2T^{-2}\Theta^{-1}$ . Единица удельной энтропии  $[s] = 1 Дж \cdot K^{-1}/1 кг = 1 Дж/(кг \cdot K)$ .

Джоуль на килограмм-кельвин  $[J/(кг \cdot K), Дж/(кг \cdot K)]$  равен изменению удельной энтропии вещества, в котором при массе 1 кг изменение энтропии составляет 1 Дж/К.

**Удельная газовая постоянная** ( $R_0$ ). Удельной газовой постоянной называется физическая величина, равная отношению произведения давления идеального газа  $p$  на его объем  $V$  к произведению массы  $m$  этого газа на температуру  $T$ :  $R_0 = pV/mT$ . Из соотношения следует, что размерность удельной газовой постоянной  $\dim R_0 = L^2T^{-2}\Theta^{-1}$ . Работа расширения газа  $A$  в изобарическом процессе ( $p = \text{const}$ ) при нагревании на  $\Delta T$  выражается соотношением  $A = mR_0\Delta T$ . Из этого соотношения получаем  $R_0 = A/m\Delta T$ . Отсюда единица удельной газовой постоянной  $[R_0] = 1Дж/(1 кг \cdot 1K) = 1 Дж/(кг \cdot K)$ .

Джоуль на килограмм-кельвин  $[J/(кг \cdot K), Дж/(кг \cdot K)]$  равен удельной газовой постоянной идеального газа массой 1 кг, совершающего при повышении температуры на 1К и при постоянном давлении работу 1 Дж. Удельная газовая постоянная является характеристикой газа, так как она зависит только от его молекулярной массы.

**Тепловой поток** ( $\Phi$ ). Тепловым потоком (тепловой мощностью) называется физическая величина, характеризующая перенос тепла через некоторую поверхность, которая определяется соотношением  $\Phi = dQ/dt$ , где  $dQ$  — количество теплоты, переносимой через поверхность за время  $dt$ . В случае постоянного потока его можно выразить более простым соотношением:  $\Phi = Q/t$ .

Размерность теплового потока  $\dim \Phi = L^2MT^{-3}$ . Единица теплового потока  $[\Phi] = 1 Дж/1 с = 1 Дж/с = 1 Вт$ .

Ватт ( $W, Вт$ ) равен тепловому потоку, эквивалентному механической мощности 1 Вт.

**Поверхностная плотность теплового потока ( $q$ ).** Поверхностной плотностью теплового потока  $q$  называется физическая величина, характеризующая распределение теплового потока по сечению и равная первой производной теплового потока по площади поверхности, через которую он проходит:  $q = d\Phi/dS$ . При равномерном распределении теплового потока  $\Phi$  по поверхности  $S$   $q = \Phi/S$ . Из соотношения следует, что размерность поверхностной плотности теплового потока  $\dim q = \text{МТ}^{-3}$ . Единица СИ поверхностной плотности теплового потока  $[q] = 1 \text{ Вт}/1\text{м}^2 = 1 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

**Ватт на квадратный метр ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ )** равен поверхностной плотности теплового потока  $1 \text{ Вт}$ , равномерно распределенного по поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$ .

**Коэффициент теплообмена (теплоотдачи) ( $\alpha$ ).** Коэффициент теплообмена — физическая величина, характеризующая передачу тепла между двумя средами с разностью температур  $\Delta T$  через разделяющую их границу. Коэффициент теплообмена определяется соотношением  $\alpha = \Phi/(S\Delta T)$ , где  $\Phi$  — тепловой поток через границу раздела сред площадью  $S$ . Из этого уравнения следует, что размерность коэффициента теплообмена  $\dim \alpha = \text{МТ}^{-3}\Theta^{-1}$ . Единица коэффициента теплообмена  $[\alpha] = 1 \text{ Вт}/(1 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ К}) = 1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

**Ватт на квадратный метр-кельвин [ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ]** равен коэффициенту теплообмена, соответствующему поверхностной плотности теплового потока  $1 \text{ Вт}/\text{м}^2$  при разности температур  $1 \text{ К}$ .

**Коэффициент теплопередачи ( $k$ ).** Коэффициентом теплопередачи называется физическая величина, характеризующая передачу теплоты от одной среды к другой через разделяющую границу. Коэффициент теплопередачи  $k$  определяется уравнением  $k = \Phi/(S\Delta T)$ , где  $\Phi$  — стационарный тепловой поток;  $\Delta T$  — разность температур сред;  $S$  — площадь плоской разделяющей границы. Данное уравнение аналогично определяющему уравнению для коэффициента теплообмена и поэтому коэффициент теплопередачи имеет размерность, совпадающую с размерностью коэффициента теплообмена, и выражается в СИ в тех же единицах — ваттах на квадратный метр-кельвин.

**Температурный градиент ( $\text{grad } T$ ).** Температурным градиентом (градиентом температуры) называется векторная физическая величина, которая характеризует скорость изменения температуры в некотором направлении  $x$ . Она определяется соотношением  $\text{grad } T = \frac{dT}{dx} i$ , где  $dT$  — изменение температуры на элементарном перемещении  $dx$ ;  $i$  — единичный вектор в направлении оси  $x$ . Температурный градиент — одна из характеристик температурного поля.

Для случая равномерного изменения температуры в направлении градиента числовое значение этой величины можно определить соотношением  $\text{grad } T = \Delta T/\Delta x$ , из которого следует, что размерность температурного градиента  $\dim \text{grad } T = \text{Л}^{-1}\Theta$ . Единица температурного градиента  $[\text{grad } T] = 1 \text{ К}/1 \text{ м} = 1 \text{ К}/\text{м}$ .

**Кельвин на метр** (K/м, K/м) равен температурному градиенту поля, в котором на участке длиной 1 м в направлении градиента температура изменяется на 1 К.

**Теплопроводность (коэффициент теплопроводности) ( $\lambda$ )**. Теплопроводностью (коэффициентом теплопроводности) называется скалярная физическая величина  $\lambda$ , являющаяся характеристикой вещества, равная отношению количества тепла, переносимого через поперечное сечение, к площади поперечного сечения, градиенту температур и времени. Из уравнения теплопроводности (уравнение Фурье) для наиболее простого одномерного стационарного случая можно записать определяющее уравнение для коэффициента теплопроводности в виде

$$\lambda = \frac{Q}{\frac{dT}{dx} St},$$

где  $Q$  — количество теплоты, переносимое за время  $t$  через площадку  $S$ , перпендикулярную оси  $x$  при температурном градиенте  $dT/dx$ . Из этого уравнения следует, что размерность коэффициента теплопроводности  $\dim \lambda = \text{LMT}^{-3}\Theta^{-1}$ .

Подставляя в определяющее уравнение  $[Q] = 1 \text{ Дж}$ ,  $[S] = 1 \text{ м}^2$ ,  $[dT/dx] = 1 \text{ К/м}$ ,  $[t] = 1 \text{ с}$ , получаем единицу СИ коэффициента теплопроводности:

$$[\lambda] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ К} \cdot \text{м}^{-1} \cdot 1 \text{ м}^2 \cdot \text{с}} = 1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

**Ватт на метр-кельвин** [W/(м · К), Вт/(м · К)] равен теплопроводности вещества, в котором при стационарном режиме с поверхностной плотностью теплового потока 1 Вт/м<sup>2</sup> устанавливается температурный градиент 1 К/м.

**Температуропроводность (коэффициент температуропроводности) ( $a$ )**. Температуропроводностью (коэффициентом температуропроводности) называется физическая величина  $a$ , характеризующая скорость выравнивания температуры в среде при нестационарной теплопроводности. Температуропроводность определяется соотношением  $a = \lambda/c_p\rho$ , где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности;  $c_p$  — удельная теплоемкость при постоянном давлении;  $\rho$  — плотность вещества,  $c_p\rho$  — объемная теплоемкость.

Из соотношения следует, что размерность температуропроводности  $\dim a = \text{L}^2\text{T}^{-1}$ .

Подставляя в определяющее уравнение  $[\lambda] = 1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ,  $[c_p] = 1 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ,  $[\rho] = 1 \text{ кг}/\text{м}^3$ , получаем единицу температуропроводности:

$$[a] = \frac{1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})}{[1 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})] \cdot 1 \text{ кг}/\text{м}^3} = 1 \text{ м}^2/\text{с}.$$

**Квадратный метр на секунду** (м<sup>2</sup>/с, м<sup>2</sup>/с) равен температуропроводности вещества с теплопроводностью 1 Вт/(м · К),

удельной теплоемкостью (при постоянном давлении)  $1 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  и плотностью  $1 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

**Температурный коэффициент ( $\alpha$ ).** Если изменение некоторой физической величины  $Z$  при изменении температуры на  $\Delta T$  от принятой за начальную равно  $\Delta Z$ , то температурный коэффициент  $\alpha$  будет определяться соотношением  $\alpha = \Delta Z / (Z_0 \Delta T)$ , где  $Z_0$  — значение физической величины при температуре, принятой за начальную;  $\Delta Z / Z_0$  — относительное изменение физической величины при нагревании тела на  $\Delta T$  от начальной температуры. Из соотношения следует, что размерность температурного коэффициента  $\dim \alpha = \Theta^{-1}$ . Полагая в определяющем уравнении  $[\Delta Z / Z_0] = 1$ ,  $[\Delta T] = 1 \text{ К}$ , получаем единицу температурного коэффициента СИ:  $[\alpha] = 1/1 \text{ К} = 1 \text{ К}^{-1}$ .

Кельвин в минус первой степени ( $\text{К}^{-1}$ ,  $\text{К}^{-1}$ ) равен температурному коэффициенту относительного изменения физической величины, при котором изменение температуры на  $1 \text{ К}$  от принятой за начальную вызывает относительное изменение этой величины, равное единице. Температурный коэффициент является характеристикой вещества.

Строго говоря, зависимость физических величин от температуры является нелинейной и поэтому при точных измерениях приходится пользоваться несколькими температурными коэффициентами для одной и той же физической величины, так как в общем случае  $Z = Z_0(1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 \Delta T^2 + \alpha_3 \Delta T^3 + \dots)$ . Коэффициенты  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  и т. д. в этом соотношении могут быть положительными и отрицательными, имея различные числовые значения. Обычно их абсолютные значения удовлетворяют неравенству  $1 > |\alpha_1| > |\alpha_2| > |\alpha_3| > \dots$ . Если  $\alpha_1$  значительно больше остальных температурных коэффициентов, то температурную зависимость величины  $Z$  можно считать линейной, полагая  $Z = Z_0(1 + \alpha_1 \Delta T)$ . В противном случае нужно пользоваться другими температурными коэффициентами. Так как сумма в скобках является отвлеченной величиной, температурные коэффициенты  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  ... в СИ будут выражаться соответственно в кельвинах в минус второй степени ( $\text{К}^{-2}$ ), в кельвинах в минус третьей степени ( $\text{К}^{-3}$ ) и т. д.

**Коэффициент линейного расширения ( $\alpha$ ,  $\beta$ ).** Коэффициентом линейного расширения тела называется физическая величина, определяемая соотношением  $\alpha = \Delta l / (l_0 \Delta T)$ , где  $\Delta l / l_0$  — относительное удлинение тела при изменении температуры на  $\Delta T$ . Размерность и единица коэффициента линейного расширения совпадают с размерностью и единицей температурного коэффициента, так как  $\alpha$  является по существу температурным коэффициентом длины тела.

**Коэффициент объемного расширения ( $\beta$ ,  $\alpha$ ).** Коэффициент объемного расширения  $\beta$  определяется уравнением  $\beta = \Delta V / (V_0 \Delta T)$ , где  $\Delta V / V_0$  — относительное изменение объема тела при изменении температуры на  $\Delta T$ . Размерность и единица коэффициента объемного расширения совпадают с размерностью и единицей температурного коэффициента.

**Термический коэффициент давления ( $\beta$ ).** Термический коэффициент давления определяется уравнением  $\beta = \Delta p / (p_0 \Delta T)$ , где  $\Delta p / p_0$  — относительное изменение давления при изменении температуры на  $\Delta T$ . Размерность и единица термического коэффициента давления совпадают с размерностью и единицей температурного коэффициента.

### 3.7. Производные единицы величин физической химии и молекулярной физики

**Концентрация молекул (плотность молекул) ( $n_0$ ).** Концентрацией молекул  $n_0$  называется величина, равная отношению числа молекул  $n$ , содержащихся в объеме  $V$ , к этому объему:  $n_0 = n/V$ . Отсюда следует, что размерность концентрации молекул  $\dim n_0 = L^{-3}$ . Единица концентрации молекул  $[n_0] = 1/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ м}^{-3}$ .

Метр в минус третьей степени и ( $\text{м}^{-3}$ ) равен концентрации молекул, при которой в  $1 \text{ м}^3$  содержится 1 молекула.

**Молярная масса ( $M, \mu, M_B$ ).** Молярной массой  $M$  вещества называется скалярная физическая величина, определяемая отношением массы к соответствующему ей количеству вещества. Молярная масса выражается соотношением  $M = m/v$ , где  $m$  — масса  $v$  молей количества вещества. Из соотношения следует, что  $\dim M = \text{MN}^{-1}$ . Полагая в определяющем уравнении  $[m] = 1 \text{ кг}$ ,  $[v] = 1 \text{ моль}$ , получаем единицу молярной массы:  $[M] = 1 \text{ кг/1 моль} = 1 \text{ кг/моль}$ .

К и л о г р а м м н а м о л ь ( $\text{кг/моль}$ ,  $\text{кг/моль}$ ) равен молярной массе вещества, имеющего при количестве вещества 1 моль массу 1 кг.

**Относительная атомная и молекулярная массы ( $A_r, M_r$ ).** Относительной атомной массой  $A_r$  химического элемента называется физическая величина, являющаяся характеристикой химического элемента и представляющая собой отношение массы  $m_a$  атома данного элемента к  $1/12$  массы атома изотопа углерода-12 —  $m_{12C}$ :

$$A_r = m_a / \left( \frac{1}{12} m_{12C} \right).$$

Относительной молекулярной массой  $M_r$  химического вещества называется физическая величина, являющаяся характеристикой химического соединения (или смеси химических соединений) и представляющая собой отношение массы молекулы данного химического соединения к  $1/12$  массы атома изотопа углерода-12 —  $m_{12C}$ :  $M_r =$

$$= \frac{m_M}{\frac{1}{12} m_{12C}}.$$

Из приведенных определений и определяющих уравнений следует, что относительная атомная и молекулярная массы являются безразмерными величинами, и поэтому они выражаются безразмерными единицами.

Относительную атомную и молекулярную массы следует употреблять вместо ранее применявшихся атомного и молекулярного ве-

**сов**, использование которых в прошлом можно объяснить отсутствием четкого разграничения между понятиями «масса» и «вес».

Следует заметить, что  $1/12$  массы атома изотопа углерода-12 представляет собой внесистемную атомную единицу массы (углеродную единицу), которая равна  $1,6604 \cdot 10^{-27}$  кг. Атомная единица массы (углеродная единица) равна 1,0003179 прежних (применявшихся до 1961 г.) атомных «кислородных» единиц массы.

**Постоянная Авогадро ( $N_A$ ).** Постоянная Авогадро  $N_A$  представляет собой универсальную константу, которая определяется отношением числа молекул (атомов)  $N$ , содержащихся в системе, к количеству вещества  $\nu$  данной системы:  $N_A = N/\nu$ . Из соотношения следует, что размерность постоянной Авогадро  $\dim N_A = N^{-1}$ .

**Молярный объем ( $V_m$ ).** Молярным объемом называется величина, определяемая соотношением  $V_m = V/\nu$ , где  $V$  — объем, занимаемый  $\nu$  молями количества вещества.

Из этого определяющего уравнения следует, что размерность молярного объема  $\dim V_m = L^3 N^{-1}$ . Единица молярного объема  $[V_m] = 1 \text{ м}^3/1 \text{ моль} = 1 \text{ м}^3/\text{моль}$ .

**К у б и ч е с к и й м е т р н а м о л ь ( $\text{м}^3/\text{mol}$ ,  $\text{м}^3/\text{моль}$ )** равен молярному объему вещества, занимающего при количестве вещества 1 моль объем  $1 \text{ м}^3$ . Следует иметь в виду, что молярный объем идеального газа при нормальных условиях ( $t = 0^\circ\text{C}$ , давление  $p = 101\,325 \text{ Па}$ ) является универсальной константой, равной  $22,42 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ .

**Молярная внутренняя энергия ( $U_m$ ).** Молярной внутренней энергией  $U_m$  называется внутренняя энергия, отнесенная к количеству вещества. Ее определяющим уравнением является соотношение  $U_m = U/\nu$ , где  $U$  — внутренняя энергия вещества, содержащего  $\nu$  молей.

Из этого уравнения следует, что размерность молярной внутренней энергии  $\dim U_m = L^2 \text{MT}^{-2} N^{-1}$ . Единица молярной внутренней энергии  $[U_m] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ моль} = 1 \text{ Дж}/\text{моль}$ .

**Д ж о у л ь н а м о л ь ( $\text{J/mol}$ ,  $\text{Дж}/\text{моль}$ )** равен молярной внутренней энергии вещества в количестве 1 моль, внутренняя энергия которого равна 1 Дж.

**Молярная энтальпия ( $H_m, I_m$ ).** Молярной энтальпией  $H_m$  называется энтальпия, отнесенная к количеству вещества. Ее определяющим уравнением является соотношение  $H_m = H/\nu$ , где  $H$  — энтальпия вещества, содержащего  $\nu$  молей. Отсюда следует, что размерность молярной энтальпии  $\dim H_m = L^2 \text{MT}^{-2} N^{-1}$ . Единица молярной энтальпии  $[H_m] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ моль} = 1 \text{ Дж}/\text{моль}$ .

**Д ж о у л ь н а м о л ь ( $\text{J/mol}$ ,  $\text{Дж}/\text{моль}$ )** равен молярной энтальпии вещества в количестве 1 моль, энтальпия которого равна 1 Дж.

**Химический потенциал ( $\mu_B$ ).** Химическим потенциалом  $i$ -го компонента гомогенной системы (или фазы гетерогенной системы) называется величина, равная частной производной от любого из термодинамических потенциалов системы (фазы) по количеству вещества  $\nu_i$  этого компонента при постоянных значениях количества

вещества всех остальных компонентов системы (фазы) и параметров состояния, соответствующих данному термодинамическому потенциалу.

Чаще всего в качестве независимых параметров используются давление и температура, и поэтому в качестве химического потенциала принимается парциальное молярное значение изобарно-изотермического потенциала.

Для простейшего случая однокомпонентной системы определяющее уравнение химического потенциала  $\mu_B$  имеет вид  $\mu_B = G/\nu$ , где  $G$  — изобарно-изотермический потенциал вещества, содержащего  $\nu$  молей.

Из этого соотношения следует, что размерность химического потенциала  $\dim \mu_B = L^2MT^{-2}N^{-1}$ . Единица химического потенциала СИ  $[\mu_B] = 1 \text{ Дж/моль} = 1 \text{ Дж/моль}$ .

Джоуль на моль (J/mol, Дж/моль) равен химическому потенциалу веществ в количестве 1 моль, изобарно-изотермический потенциал которого равен 1 Дж.

**Химическое сродство ( $A$ ).** Химическим сродством называется величина, характеризующая способность компонентов системы вступать в химическую реакцию друг с другом. В качестве меры химического сродства для реакции, происходящей при постоянных температуре и объеме, принимается молярное значение изменения изохорно-изотермического потенциала (свободной энергии) в завершившемся процессе реакции:  $A = \Delta F/\nu$ , где  $\Delta F = F - F_{\text{исх}}$  — изменение изохорно-изотермического потенциала количества вещества  $\nu$ .

Из соотношения следует, что химическое сродство имеет размерность  $\dim A = L^2MT^{-2}N^{-1}$ . Единица химического сродства  $[A] = 1 \text{ Дж/1 моль} = 1 \text{ Дж/моль}$ .

Джоуль на моль (J/mol, Дж/моль) равен химическому сродству компонентов системы, если в химической реакции, происходящей при постоянных температуре и объеме, изменение изохорно-изотермического потенциала вещества в количестве 1 моль равно 1 Дж.

Если химическая реакция протекает при постоянной температуре и постоянном давлении, то в качестве меры химического сродства принимается молярное изменение изобарно-изотермического потенциала, происходящего в результате завершившейся химической реакции.

**Молярная теплоемкость ( $C_m, C_v, C_p$ ).** Молярной теплоемкостью называется физическая величина, равная отношению теплоемкости системы  $C$  к количеству вещества  $\nu$ , содержащегося в ней:  $C_m = C/\nu$ . Иногда молярную теплоемкость рассматривают как величину, равную произведению удельной теплоемкости вещества  $c$  на его молярную массу  $M$ . Эти определения равносильны.

Из приведенного уравнения вытекает, что молярная теплоемкость имеет размерность  $\dim C_m = L^2MT^{-2}\theta^{-1}N^{-1}$ . Единица молярной теплоемкости СИ  $[C_m] = 1 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}/1 \text{ моль} = 1 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ .

Джоуль на моль · кельвин [J/(mol · K), Дж/(моль · К)] равен молярной теплоемкости вещества, имеющего при количестве вещества 1 моль теплоемкость 1 Дж/К.

**Молярная энтропия ( $S_m$ ).** Молярной энтропией  $S_m$  называется физическая величина, равная отношению энтропии системы к количеству вещества, содержащегося в этой системе.

Ее определяющим уравнением является соотношение  $S_m = S/\nu$ , где  $S$  — энтропия количества вещества  $\nu$ .

Из уравнения следует, что размерность молярной энтропии  $\dim S_m = \text{L}^2\text{MT}^{-2}\Theta^{-1}\text{N}^{-1}$ . Единица молярной энтропии [ $S_m$ ] = 1 Дж · К<sup>-1</sup>/1 моль = 1 Дж/(моль · К).

Джоуль на моль · кельвин [J/(mol · K), Дж/(моль · К)] равен молярной энтропии вещества, имеющего при количестве вещества 1 моль энтропию 1 Дж/К.

**Молярная газовая постоянная (универсальная газовая постоянная) ( $R$ ).** Определяющим уравнением молярной газовой постоянной будет соотношение  $R = A/\nu\Delta T$ , где  $A$  — работа изобарического расширения идеального газа при его нагревании на  $\Delta T$ ;  $\nu$  — количество вещества идеального газа.

Из уравнения следует, что размерность молярной газовой постоянной  $\dim R = \text{L}^2\text{MT}^{-2}\Theta^{-1}\text{N}^{-1}$  совпадает с размерностью молярной теплоемкости.

Полагая в определяющем уравнении [ $A$ ] = 1 Дж, [ $\nu$ ] = 1 моль, [ $\Delta T$ ] = 1 К, получаем единицу молярной газовой постоянной [ $R$ ] = 1 Дж/(1 моль · 1 К) = 1 Дж/(моль · К).

**Молярная концентрация ( $C_B$ ).** Молярной концентрацией называется физическая величина, равная отношению растворенного количества вещества  $\nu_B$  к занимаемому им объему  $V$ :  $C_B = \nu_B/V$ . Из этого уравнения следует, что размерность молярной концентрации  $\dim C_B = \text{L}^{-3}\text{N}$ . Единица молярной концентрации [ $C_B$ ] = 1 моль/1м<sup>3</sup> = 1 моль/м<sup>3</sup>.

Моль на кубический метр (mol/m<sup>3</sup>, моль/м<sup>3</sup>) равен молярной концентрации вещества в растворе, при которой в 1 м<sup>3</sup> раствора содержится 1 моль растворенного вещества.

**Скорость реакции ( $\xi'$ ,  $J$ ).** Скоростью реакции  $\xi'$  называется величина, характеризующая быстроту протекания химической реакции и равная отношению изменения степени завершенности реакции  $\Delta\xi$  ко времени  $\Delta t$ :  $\xi' = \Delta\xi/\Delta t$ . Размерность скорости реакции  $\dim \xi' = \text{T}^{-1}\text{N}$ . Подставляя в определяющее уравнение [ $\Delta\xi$ ] = 1 моль, [ $\Delta t$ ] = 1 с, получаем единицу скорости реакции: [ $\xi'$ ] = 1 моль/1 с = 1 моль/с.

Моль в секунду (mol/s, моль/с) равен скорости реакции, при которой за время 1 с степень завершенности реакции изменяется на 1 моль.

**Скорость изменения концентрации ( $\nu_B$ ,  $r_B$ ).** Скорость изменения концентрации  $\nu_B$  определяется по формуле  $\nu_B = \Delta c_B/\Delta t$ , где  $\Delta c_B$  — изменение молярной концентрации компонента  $B$  за время  $\Delta t$ .

Размерность скорости изменения концентрации  $\dim v_B = L^{-3}T^{-1}N$ . Подставляя в определяющее уравнение  $[\Delta c_B] = 1 \text{ моль/м}^3$ ,  $[\Delta t] = 1 \text{ с}$ , получаем единицу скорости изменения концентрации.

Моль в секунду на кубический метр  $[\text{mol}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})]$ ,  $[\text{моль}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})]$  равен скорости изменения концентрации, при которой за 1 с молярная концентрация компонента  $B$  изменяется на 1 моль.

**Скорость массопередачи ( $v_m$ ).** Скоростью массопередачи называется физическая величина  $v_m$ , характеризующая скорость перехода вещества из одной фазы в другую. Определяющим уравнением скорости массопередачи является соотношение  $v_m = m/St$ , где  $m$  — масса вещества, перешедшего из одной фазы в другую за время  $t$ ;  $S$  — площадь соприкосновения фаз.

Из уравнения следует, что скорость массопередачи имеет размерность  $\dim v_m = L^{-2}MT^{-1}$ . Единица скорости массопередачи СИ  $[v_m] = 1 \text{ кг}/(1 \text{ с} \cdot 1 \text{ м}^2) = 1 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Килограмм на квадратный метр-секунду  $[\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})]$ ,  $[\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})]$  равен скорости массопередачи, при которой за 1 с через площадь соприкосновения  $1 \text{ м}^2$  происходит переход 1 кг вещества из одной фазы в другую.

**Коэффициент диффузии ( $D$ ).** Коэффициентом диффузии  $D$  называется скалярная физическая величина, являющаяся характеристикой вещества, равная отношению массы вещества, переносимой вследствие хаотического теплового движения молекул через поперечное сечение, к градиенту плотности и времени переноса вещества. Из уравнения диффузии для однородного газа (явление самодиффузии) и одномерного стационарного случая  $[\rho = \rho(x)]$  можно записать определяющее уравнение для коэффициента диффузии в виде

$$D = \frac{M}{\frac{\Delta \rho}{\Delta x} S t},$$

где  $M$  — масса вещества, переносимого за время  $t$  через площадку  $S$ , перпендикулярную к оси  $x$  при градиенте плотности  $\Delta \rho/\Delta x$ . Из этого уравнения следует, что коэффициент диффузии имеет размерность  $\dim D = L^2T^{-1}$ . Подставляя в определяющее уравнение  $[M] = 1 \text{ кг}$ ,  $[t] = 1 \text{ с}$ ,  $[S] = 1 \text{ м}^2$ ,  $[\Delta \rho/\Delta x] = 1 \text{ кг/м}^4$ , получаем единицу коэффициента диффузии в СИ:

$$[D] = \frac{1 \text{ кг}}{1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^4} \cdot 1 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ с}} = 1 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Метр квадратный на секунду ( $\text{м}^2/\text{с}$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ ) равен коэффициенту диффузии, при котором в стационарном режиме при переносе 1 кг вещества через площадку  $1 \text{ м}^2$  за 1 с устанавливается градиент плотности  $1 \text{ кг/м}^4$ .

**Поверхностная активность адсорбата ( $G$ ).** Поверхностной активностью адсорбата называется физическая величина, которая определяется соотношением  $G = \Delta\alpha/\Delta c$ , где  $\Delta\alpha$  — изменение коэффициента поверхностного натяжения при изменении парциальной плотности растворенного компонента на  $\Delta c$ . Из уравнения следует, что размерность единицы поверхностной активности адсорбата  $\dim [G] = L^3 T^{-2}$ . Единица поверхностной активности адсорбата  $[G] = \frac{1 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}}{1 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}} = 1 (\text{Н} \cdot \text{м}^2)/\text{кг}$ .

**Ньюто́н-квадрати́й метр на килогра́мм**  $[(\text{Н} \cdot \text{м}^2)/\text{кг}, (\text{Н} \cdot \text{м}^2)/\text{кг}]$  равен поверхностной активности адсорбата, при которой увеличение концентрации компонента на  $1 \text{ кг}/\text{м}^3$  приводит к изменению поверхностного натяжения на  $1 \text{ Н}/\text{м}$ .

**Адсорбция ( $\Gamma$ ).** Определяющее уравнение адсорбции  $\Gamma = \Delta v/\Delta S$ , где  $\Delta v$  — избыток количества вещества данного компонента, адсорбировавшегося в поверхностном слое площадью  $\Delta S$ . Размерность адсорбции  $\dim \Gamma = L^{-2} N$ . Единица величины адсорбции  $[\Gamma] = 1 \text{ моль}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ моль}/\text{м}^2$ .

**Мо́ль на квадрати́й метр** ( $\text{моль}/\text{м}^2$ ,  $\text{моль}/\text{м}^2$ ) равен величине адсорбции, при которой на  $1 \text{ м}^2$  поверхности адсорбируется количество вещества, равное  $1 \text{ моль}$ .

**Удельная адсорбция ( $g$ ).** Удельной адсорбцией называется физическая величина, равная отношению количества вещества адсорбата  $v$  к массе адсорбента  $m$ :  $g = v/m$ . Размерность удельной адсорбции  $\dim g = M^{-1} N$ . Единица удельной адсорбции  $[g] = 1 \text{ моль}/1 \text{ кг} = 1 \text{ моль}/\text{кг}$ .

**Мо́ль на килогра́мм** ( $\text{моль}/\text{кг}$ ,  $\text{моль}/\text{кг}$ ) равен удельной адсорбции, при которой вещество массой  $1 \text{ кг}$  адсорбирует  $1 \text{ моль}$  другого вещества.

**Ионный эквивалент концентрации ( $C_n$ ).** Ионным эквивалентом концентрации компонента  $B$  называется физическая величина, равная отношению молярной концентрации  $C_B$  компонента  $B$  к степени окисления  $n$ , которую он проявляет в соответствующем соединении:  $C_n = C_B/n$ . Степень окисления является отвлеченным числом, поэтому размерность ионного эквивалента концентрации и ее единица СИ будут совпадать с размерностью и единицей молярной концентрации компонента соответственно.

**Молярная электрическая проводимость (молярная проводимость) ( $\Lambda_m$ ).** Молярной электрической проводимостью называется физическая величина, равная отношению удельной электрической проводимости  $\gamma$  к молярной концентрации  $C_B$  компонента в растворе:  $\Lambda_m = \gamma/C_B$ . Размерность этой величины  $\dim \Lambda_m = M^{-1} T^3 I^2 N^{-1}$ . Полагая в определяющем уравнении  $[\gamma] = 1 \text{ См}/\text{м}$ ,  $[C_B] = 1 \text{ моль}/\text{м}^3$ , получаем единицу молярной электрической проводимости;  $[\Lambda_m] = \frac{1 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}}{1 \text{ моль} \cdot \text{м}^{-3}} = 1 (\text{См} \cdot \text{м}^2)/\text{моль}$ .

**Сименс-метр в квадрате на моль** ( $\text{С} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ ,  $\text{См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ ) равен молярной электрической проводимости раство-

ренного вещества, обладающего удельной проводимостью  $1 \text{ См/м}$  при молярной концентрации, равной  $1 \text{ моль/м}^3$ .

**Эквивалентная электрическая проводимость ( $\Lambda$ ).** Эквивалентной электрической проводимостью называется физическая величина, определяемая отношением удельной проводимости  $\gamma$  к ионному эквиваленту концентрации  $C_n$ :  $\Lambda = \gamma/C_n$ .

**Подвижность носителей тока (ионов, электронов) ( $b$ ).** Подвижностью носителей тока  $b$  называется физическая величина, равная отношению средней скорости их направленного движения, к величине напряженности электрического поля.

Определяющим уравнением для подвижности носителей является соотношение  $b = v/E$ , где  $v$  — скорость носителя, приобретаемая им под действием электрического поля  $E$ . Размерность подвижности носителей тока:  $\dim b = \text{М}^{-1}\text{Т}^2\text{I}$ . Единица подвижности носителей СИ:  $[b] = (1 \text{ м/с})/(1 \text{ В/м}) = 1 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .

К в а д р а т н ы й м е т р н а в о л ь т - с е к у н д у  $[ \text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с}) ]$  равен подвижности, при которой носитель приобретает скорость  $1 \text{ м/с}$  при напряженности поля, равной  $1 \text{ В/м}$ .

**Коэффициент ионизации ( $\beta$ ).** Коэффициентом ионизации называется физическая величина, равная отношению числа молекул  $\Delta n_0$ , распадающихся на ионы, к числу нейтральных молекул  $n_0$  и времени  $\Delta t$ , в течение которого произошел распад:  $\beta = \Delta n_0/(n_0 \Delta t)$ . Размерность коэффициента ионизации  $\dim \beta = \text{Т}^{-1}$ . Единица коэффициента ионизации  $[\beta] = (1 \text{ м}^{-3})/(1 \text{ м}^{-3} \cdot 1 \text{ с}) = 1 \text{ с}^{-1}$ .

С е к у н д а в м и н у с п е р в о й с т е п е н и ( $\text{с}^{-1}$ ,  $\text{с}^{-1}$ ) равна коэффициенту ионизации, при которой в  $1 \text{ м}^3$  за  $1 \text{ с}$  ионизируется одна молекула при концентрации нейтральных молекул, равной  $1 \text{ м}^{-3}$ .

**Степень диссоциации ( $\alpha$ ).** Степенью диссоциации (коэффициентом диссоциации)  $\alpha$  называется скалярная физическая величина, равная отношению числа молекул  $\Delta n$ , диссоциировавших на ионы, к общему числу молекул  $n_0$  растворенного вещества:  $\alpha = \Delta n_0/n_0$ . Из уравнения следует, что степень диссоциации — безразмерная величина, и поэтому она выражается в безразмерных единицах.

**Коэффициент рекомбинации ( $\gamma$ ).** Коэффициентом рекомбинации называется физическая величина, равная отношению числа нейтральных молекул  $\Delta n_0'$ , которые образовались из ионов в единице объема, к произведению концентрации положительных и отрицательных ионов  $\alpha^2 n_0^2$  и к интервалу времени  $\Delta t$ , в течение которого образовались нейтральные молекулы:  $\gamma = \frac{\Delta n_0'}{\alpha^2 n_0^2 \Delta t}$ .

Здесь  $\alpha$  — степень диссоциации. Размерность коэффициента рекомбинации  $\dim \gamma = \text{Л}^3\text{Т}^{-1}$ .

Единица коэффициента рекомбинации СИ  $[\gamma] = \frac{1 \text{ м}^{-3}}{1 \cdot (1 \text{ м}^{-3})^2 \cdot 1 \text{ с}} = 1 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Кубический метр-секунда в минус первой степени ( $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ) равен коэффициенту рекомбинации, при котором за 1 с в объеме  $1 \text{ м}^3$  при степени диссоциации, равной 1, и концентрации положительных и отрицательных ионов  $1 \text{ м}^{-3}$  образуется из ионов одна нейтральная молекула.

**Электрохимический эквивалент ( $k$ ).** Электрохимическим эквивалентом называется скалярная физическая величина, равная отношению массы вещества, выделившегося на электроде при электролизе в результате прохождения через электролит электрического заряда, к величине этого заряда.

Согласно первому закону электролиза (первому закону Фарадея) электрохимический эквивалент  $k$  определится отношением массы  $m$  вещества, отложившегося на электроде, к заряду  $Q$ , прошедшему через электролит:  $k = m/Q$ . Из этого соотношения следует, что размерность электрохимического эквивалента  $\dim k = \text{МТ}^{-1}\text{И}^{-1}$ . Единица СИ электрохимического эквивалента  $[k] = 1 \text{ кг}/1 \text{ Кл} = 1 \text{ кг}/\text{Кл}$ .

**Килограмм на кулон ( $\text{кг}/\text{С}$ ,  $\text{кг}/\text{Кл}$ )** равен электрохимическому эквиваленту вещества, если при прохождении через электролит электрического заряда 1 Кл на электроде откладывается 1 кг этого вещества.

**Молярная магнитная восприимчивость ( $\chi_{mm}$ ).** Молярной магнитной восприимчивостью называется физическая величина, равная произведению удельной магнитной восприимчивости вещества  $\chi_{om}$  на его молярную массу  $M$  (или произведению магнитной восприимчивости вещества  $\chi_m$  на молярный объем  $V_m$ );  $\chi_{mm} = \chi_{om}M = \chi_m V_m$ . Размерность этой величины  $\dim \chi_{mm} = \text{Л}^3\text{Н}^{-1}$ .

Полагая в определяющем уравнении  $[\chi_{om}] = 1 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $[M] = 1 \text{ кг}/\text{моль}$ , получаем единицу молярной магнитной восприимчивости СИ:  $[\chi_{mm}] = 1 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \cdot 1 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = 1 \text{ м}^3/\text{моль}$ .

Кубический метр на моль ( $\text{м}^3/\text{моль}$ ,  $\text{м}^3/\text{моль}$ ) равен молярной магнитной восприимчивости вещества, которой обладает вещество с молярной массой 1 кг/моль при удельной магнитной восприимчивости  $1 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

### 3.8. Производные единицы оптических и световых величин

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29 декабря 1978 г. с 1 января 1980 г. введен в действие ГОСТ 7601—78 «Физическая оптика. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин». В нем устанавливаются применяемые в науке, технике и производстве термины, буквенные обозначения и определения основных (важнейших) величин физической оптики. Термины и буквенные обозначения величин, установленные в этом стандарте, обязательны для применения в докумен-

тации всех видов, научно-технической, учебной и справочной литературе.

Практически этот стандарт соответствует стандарту ИСО 31/VI. Для каждого понятия установлен один стандартизованный термин. Применение терминов-синонимов стандартизованного термина запрещается. Установленные определения физических величин можно при необходимости изменять по форме изложения, не допуская нарушения границ понятий. Для отдельных величин приведены два буквенных обозначения. Одно из них является главным, а другое запасным.

В настоящем справочнике соблюдены требования ГОСТ 7601—78, причем после термина физической величины в круглых скобках указаны их буквенные обозначения. На первом месте указано главное обозначение.

**Энергия излучения** ( $Q_e$ ,  $W$ ). Энергией излучения называется физическая величина, характеризующая энергию, переносимую излучением, заключенную в поле излучения или в какой-либо его части.

Размерность энергии излучения, как и любой другой энергии,  $\dim Q_e = \text{L}^2\text{MT}^{-2}$ . Единицей энергии излучения, как и любого другого вида энергии, является джоуль.

Джоуль (J, Дж) равен энергии излучения, эквивалентной работе 1 Дж.

**Объемная плотность энергии излучения** ( $U_e$ ). Объемной плотностью энергии излучения называется физическая величина, характеризующая распределение энергии излучения в поле излучения (в волновом поле), которая определяется соотношением  $U_e = dQ_e/dV$ , где  $dQ_e$  — элементарная энергия излучения, содержащаяся в элементарном объеме  $dV$ . Распределение энергии излучения в общем случае неравномерно и меняется с течением времени. Для определения единицы объемной плотности энергии излучения можно исходить из уравнения для средней объемной плотности энергии излучения:  $\langle U_e \rangle = Q_e/V$ , где  $Q_e$  — энергия излучения, содержащаяся в объеме  $V$ , линейные размеры которого значительно больше длины волны  $\lambda$ . Из этого соотношения следует, что размерность объемной плотности энергии излучения  $\dim U_e = \text{L}^{-1}\text{MT}^{-2}$ .

Полагая в определяющем уравнении  $[Q_e] = 1 \text{ Дж}$ ,  $[V] = 1 \text{ м}^3$ , получаем единицу (объемной плотности энергии излучения):  $[U_e] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ Дж}/\text{м}^3$ .

Джоуль на кубический метр ( $\text{J}/\text{м}^3$ ,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ) равен объемной плотности энергии излучения, при которой в  $1 \text{ м}^3$  содержится энергия 1 Дж.

**Поток излучения** ( $\Phi_e$ ,  $P$ ). Поток излучения называется физическая величина  $\Phi_e$ , характеризующая перенос энергии излучения в пространстве, равная отношению энергии  $\Delta Q_e$ , перенесенной через какую-либо поверхность, ко времени  $\Delta t$ , за которое эта энергия перенесена:  $\Phi_e = \Delta Q_e/\Delta t$ . Так как поток энергии волн

в течение периода колебаний  $T$  изменяется от максимального до нуля, предполагается, что  $\Delta t \gg T$ . Отсюда следует, что размерность потока излучения  $\dim \Phi_e = L^2 M T^{-3}$ . Полагая в определяющем уравнении  $[\Delta Q_e] = 1 \text{ Дж}$ ,  $[\Delta t] = 1 \text{ с}$ , получаем единицу потока излучения:  $[\Phi_e] = 1 \text{ Дж/1 с} = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт}$ .

**В а т т** ( $W$ , Вт) равен потоку излучения, эквивалентному механической мощности 1 Вт.

**Поверхностная плотность потока излучения** ( $I$ ,  $E$ ). Поверхностной плотностью потока излучения  $I$  называется физическая величина, равная отношению потока излучения  $\Phi_e$  к площади  $S$  поверхности, излучающей или поглощающей этот поток:  $I = \Phi_e/S$ . Размерность поверхностной плотности потока излучения  $\dim I = M T^{-3}$ . Полагая  $[\Phi_e] = 1 \text{ Вт}$ ,  $[S] = 1 \text{ м}^2$ , получаем единицу плотности потока излучения:  $[I] = 1 \text{ Вт/1 м}^2 = 1 \text{ Вт/м}^2$ .

**В а т т н а к в а д р а т н ы й м е т р** ( $W/m^2$ ,  $Вт/м^2$ ) равен поверхностной плотности потока излучения, при которой поток излучения 1 Вт проходит через сечение площадью 1  $m^2$ .

**Энергетическая освещенность (облученность)** ( $E_e$ ). Энергетической освещенностью (облученностью) называется поверхностная плотность потока излучения, падающего на данную поверхность. Определяющим уравнением энергетической освещенности является соотношение  $E_e = \Phi_e/S$ , где  $\Phi_e$  — поток излучения, равномерно падающий на поверхность площадью  $S$ . Отсюда размерность энергетической освещенности  $\dim E_e = M T^{-3}$  совпадает с размерностью поверхностной плотности потока излучения. Единица энергетической освещенности  $[E_e] = 1 \text{ Вт/1 м}^2 = 1 \text{ Вт/м}^2$ .

**В а т т н а к в а д р а т н ы й м е т р** ( $W/m^2$ ,  $Вт/м^2$ ) равен энергетической освещенности поверхности площадью 1  $m^2$  при потоке излучения, падающем на нее, равном 1 Вт.

**Энергетическая светимость (излучательность)** ( $M_e$ ).

Энергетической светимостью (излучательностью) называется физическая величина, равная поверхностной плотности потока излучения  $\Phi_e$ , испускаемого поверхностью, площадь которой  $S$ :  $M_e = \Phi_e/S$ . Из соотношения следует, что размерность энергетической светимости  $\dim M_e = M T^{-3}$ . Единица энергетической светимости  $[M_e] = 1 \text{ Вт/1 м}^2 = 1 \text{ Вт/м}^2$ .

**В а т т н а к в а д р а т н ы й м е т р** ( $W/m^2$ ,  $Вт/м^2$ ) равен энергетической светимости поверхности площадью 1  $m^2$  при потоке излучения испускаемого ею, равном 1 Вт.

Размерности и единицы энергетической светимости совпадают с размерностями и единицами поверхностной плотности потока излучения и энергетической освещенности.

**Энергетическая экспозиция** ( $H_e$ ). Энергетической экспозицией называется величина  $H_e$ , определяемая соотношением

$$H_e = \int_0^t E_e dt,$$

где  $E_e$  — энергетическая освещенность;  $dt$  — элемент времени.

В более простом случае, когда энергетическая освещенность является величиной, не зависящей от времени, энергетическая экспозиция определяется уравнением  $H_e = E_e t$ , из которого следует, что размерность энергетической экспозиции  $\dim H_e = \text{МТ}^{-2}$ . Единица энергетической экспозиции  $[H_e] = (1 \text{ Вт/м}^2) \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ Дж/м}^2$ .

Джоуль на квадратный метр ( $\text{J/м}^2$ ,  $\text{Дж/м}^2$ ) равен энергетической экспозиции, при которой на поверхность площадью  $1 \text{ м}^2$  падает излучение с энергией  $1 \text{ Дж}$ .

**Сила излучения ( $I_e$ ).** Определяющим уравнением силы излучения является соотношение  $I_e = \Phi_e / \omega$ , где  $\Phi_e$  — поток излучения в телесном угле  $\omega$ . Отсюда размерность силы излучения  $\dim I_e = \text{Л}^2 \text{МТ}^{-3}$ . Единица силы излучения  $[I_e] = 1 \text{ Вт/ср} = 1 \text{ Вт/ср}$ .

Ватт на стерадиан ( $\text{W/sr}$ ,  $\text{Вт/ср}$ ) равен силе излучения точечного источника, излучающего в телесном угле  $1 \text{ ср}$  поток излучения  $1 \text{ Вт}$ .

**Энергетическая яркость ( $L_e$ ).** Энергетической яркостью называется физическая величина, равная первой производной от силы излучения по площади поверхности, перпендикулярной к направлению наблюдения:  $L_e = dI_e / dS$ .

В простейшем случае, когда равномерно излучающая поверхность плоская, а направление наблюдения перпендикулярно к ней, энергетическая яркость определится соотношением  $L_e = I_e / S$ . Из соотношения следует, что размерность энергетической яркости  $\dim L_e = \text{МТ}^{-3}$ . Единица энергетической яркости  $[L_e] = (1 \text{ Вт/ср}) / 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Вт/ср} \cdot \text{м}^2$ .

Ватт на стерадиан-квадратный метр [ $\text{W}/(\text{sr} \cdot \text{м}^2)$ ,  $\text{Вт}/(\text{ср} \cdot \text{м}^2)$ ] равен энергетической яркости равномерно излучающей плоской поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$  в перпендикулярном к ней направлении силе излучения  $1 \text{ Вт/ср}$ .

**Спектральная плотность энергетической светимости (спектральная плотность излучательности) ( $M_\lambda$ ).** Спектральная плотность энергетической светимости по длине волны определяется соотношением  $M_\lambda = dM_e / d\lambda$ , где  $dM_e$  — элементарная энергетическая светимость, приходящаяся на элементарный интервал длин волн  $d\lambda$ . Из приведенного соотношения следует  $\dim M_\lambda = \text{Л}^{-1} \text{МТ}^{-3}$ .

Единица спектральной плотности энергетической светимости по длине волны  $[M_\lambda] = (n \text{ Вт/м}^2) / n \text{ м} = 1 \text{ Вт/м}^3$ .

Ватт на кубический метр ( $\text{W/м}^3$ ,  $\text{Вт/м}^3$ ) равен спектральной плотности энергетической светимости, при которой на интервал длин волн  $n \text{ м}$  приходится энергетическая светимость  $n \text{ Вт/м}^2$  ( $n$  — малое положительное число).

**Спектральная плотность энергетической освещенности (спектральная плотность облученности) ( $E_\lambda$ ).** Спектральная плотность

\* Спектральная плотность (энергетической величины — потока излучения, энергетической силы света и т. д.) может быть определена по спектральной координате: длине волны, частоте, волновому числу и т. д. Если нужно исключить неясность, термин уточняется, например, спектральная плотность по частоте и т. д.

энергетической освещенности по длине волны  $E_\lambda$  равна отношению энергетической освещенности к соответствующему интервалу длин волн:  $E_\lambda = dE_e/d\lambda$ , где  $dE_e$  — элементарная энергетическая освещенность, приходящаяся на элементарный интервал длин волн  $d\lambda$ . Из приведенного соотношения следует, что  $\dim E_\lambda = L^{-1}MT^{-3}$ . Единица спектральной плотности энергетической освещенности по длине волны  $[E_\lambda] = \frac{n \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}}{n \cdot \text{м}} = 1 \text{ Вт/м}^3$ .

**Ватт на кубический метр** (W/м<sup>3</sup>, Вт/м<sup>3</sup>) равен спектральной плотности энергетической освещенности, при которой на интервал длин волн  $n$  м приходится энергетическая освещенность  $n$  Вт/м<sup>2</sup> ( $n$  — малое положительное число).

**Спектральная плотность силы излучения ( $I_\lambda$ ).**

Спектральная плотность силы излучения по длине волны  $I_\lambda$  равна отношению силы излучения к соответствующему интервалу длин волн:  $I_\lambda = dI_e/d\lambda$ , где  $dI_e$  — сила излучения, приходящаяся на интервал длин волн  $d\lambda$ . Из приведенного соотношения следует  $\dim I_\lambda = LMT^{-3}$ . Единица спектральной плотности энергетической силы света по длине волны  $[I_\lambda] = \frac{n \text{ Вт/ср}}{n \cdot \text{м}} = 1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ср)}$ .

**Ватт на метр-стерадиан** [W/(м · ср), Вт/(м · ср)] равен спектральной плотности силы излучения по длине волны, при которой на интервал длин волн  $n$  м приходится энергетическая сила света  $n$  Вт/ср ( $n$  — малое положительное число).

**Спектральная плотность энергетической яркости ( $L_\lambda$ ).** Спектральная плотность энергетической яркости по длине волны  $L_\lambda$  равна отношению энергетической яркости к соответствующему интервалу длин волн:  $L_\lambda = dL_e/d\lambda$ , где  $dL_e$  — энергетическая яркость, приходящаяся на интервал длин волн  $d\lambda$ . Из приведенного соотношения следует  $\dim L_\lambda = L^{-1}MT^{-3}$ . Единица спектральной плотности энергетической яркости по длине волны  $[L_\lambda] = \frac{n \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}}{n \cdot \text{м}} = 1 \text{ Вт/(ср} \cdot \text{м}^3)$ .

**Ватт на стерадиан-кубический метр** [W/(ср · м<sup>3</sup>), Вт/(ср · м<sup>3</sup>)] равен спектральной плотности энергетической яркости по длине волны, при которой на интервал длин волн  $n$  м приходится энергетическая яркость  $n$  Вт/(ср · м<sup>2</sup>).

**Спектральная плотность энергии излучения ( $Q_{e\lambda}$ ,  $W_\lambda$ ).** Спектральной плотностью энергии излучения (по длине волны) называется физическая величина, характеризующая распределение энергии по спектру электромагнитного излучения источника, равная отношению энергии излучения к соответствующему интервалу длин волн:  $Q_{e\lambda} = dQ_e/d\lambda$ , где  $dQ_e$  — энергия излучения, приходящаяся на интервал длин волн  $d\lambda$ .

Из соотношения следует, что размерность спектральной плотности энергии излучения

$$\dim Q_{e,\lambda} = LMT^{-2}.$$

Единица спектральной плотности энергии излучения

$$[Q_e, \lambda] = \frac{n \text{ Дж}}{n \text{ м}} = 1 \text{ Дж/м.}$$

Джоуль на метр (J/м, Дж/м) равен спектральной плотности энергии излучения (по длине волны), при которой на интервал длин волн  $n$  м приходится энергия излучения  $n$  Дж ( $n$  — малое положительное число).

**Показатель преломления ( $n$ ).** Показателем преломления среды называют физическую величину, являющуюся оптической характеристикой среды, равную отношению скорости света в вакууме  $c$  к фазовой скорости света  $v$  в данной среде:  $n = c/v$ . Показатель преломления является безразмерной величиной и выражается в безразмерных единицах.

**Оптическая сила линзы ( $\Phi$ ).** Оптической силой линзы называется физическая величина, обратно пропорциональная ее фокусному расстоянию  $f$ :  $\Phi = 1/f$ . Отсюда следует, что размерность оптической силы линзы  $\dim \Phi = L^{-1}$ . Единица оптической силы линзы получается, если положить  $[f] = 1 \text{ м}$ :  $[\Phi] = 1/1 \text{ м} = 1 \text{ м}^{-1}$ .

Метр в минус первой степени ( $\text{м}^{-1}$ ,  $\text{м}^{-1}$ ) равен оптической силе линзы, имеющей фокусное расстояние 1 м.

**Оптическая длина пути ( $s$ ).** Оптической длиной пути называется величина, равная произведению геометрической длины  $d$  пути световой волны в данной среде на показатель преломления среды  $n$ :  $s = nd$ . Из этого соотношения вытекает, что размерность оптической длины пути  $\dim s = L$ . Единица оптической длины пути  $[s] = 1 \text{ м}$ .

Метр ( $\text{м}$ ,  $\text{м}$ ) равен оптической длине пути в однородной среде с показателем преломления  $n = 1$ , если геометрическая длина пути равна 1 м.

**Линейный коэффициент поглощения света (линейный показатель поглощения) ( $\mu$ ).** Линейным коэффициентом поглощения света называется коэффициент  $\mu$ , входящий в закон Бугера—Ламберта:  $I = I_0 e^{-\mu d}$ , где  $I_0$  — интенсивность излучения до поглощения;  $I$  — интенсивность излучения после прохождения им слоя вещества толщиной  $d$ .

Из этого закона определяющее уравнение для линейного коэффициента поглощения запишется в виде  $\mu = \frac{1}{d} \ln \frac{I_0}{I}$ . Отсюда следует, что размерность линейного коэффициента поглощения  $\dim \mu = L^{-1}$ . Единица линейного коэффициента поглощения получается, если в определяющем уравнении положить  $\left[ \ln \frac{I_0}{I} \right] = 1$ ,  $[d] = 1 \text{ м}$ :  $[\mu] = 1 \text{ м}^{-1}$ .

Метр в минус первой степени ( $\text{м}^{-1}$ ,  $\text{м}^{-1}$ ) равен линейному коэффициенту поглощения вещества, в котором при прохождении слоя вещества толщиной 1 м интенсивность излучения уменьшается в  $e = 2,718 \dots$  раз.

**Дисперсия показателя преломления ( $d_\lambda$ ).** Дисперсией показателя преломления является величина, характеризующая зависимость показателя преломления от длины волны:  $d_\lambda = dn/d\lambda$ , где  $dn$  — элементарное изменение показателя преломления среды, происходящее при изменении длины волны на  $d\lambda$ . Из соотношения следует, что размерность дисперсии показателя преломления  $\dim d_\lambda = L^{-1}$ . А это означает, что в СИ дисперсия показателя преломления измеряется в метрах в минус первой степени. Действительно, полагая в определяющем уравнении  $[dn] = m \cdot 1$ ,  $[d\lambda] = m$  м ( $m$  — малое положительное число), получаем  $[d_\lambda] = \frac{m \cdot 1}{m \cdot m} = 1 \text{ м}^{-1}$ .

Метр в минус первой степени ( $\text{м}^{-1}$ ,  $\text{м}^{-1}$ ) равен дисперсии показателя преломления, при которой на интервал длин волн  $m$  приходится изменение показателя преломления, равное  $m$ .

**Световой поток ( $\Phi_v$ ).** При неравномерном распределении излучения в пространстве световой поток  $\Phi_v$  в телесном угле  $\omega$  определяется следующим образом:

$$\Phi_v = \int_{\omega} I_v d\omega,$$

где  $I_v$  — сила света.

При равномерном испускании света в телесном угле  $\omega$  световой поток  $\Phi_v = I_v \omega$ . Из уравнения следует, что размерность светового потока  $\dim \Phi_v = J$ . Подставляя в определяющее уравнение  $[I_v] = 1 \text{ кд}$ ,  $[\omega] = 1 \text{ ср}$ , получаем единицу светового потока:  $[\Phi] = 1 \text{ кд} \cdot 1 \text{ ср} = 1 \text{ кд} \cdot \text{ср} = 1 \text{ лм}$ . Эта единица получила специальное наименование «люмен» от слова *lumen*, что в переводе с латинского означает «свет».

Люмен (lm, лм) равен световому потоку, испускаемому точечным источником в телесном угле 1 ср при силе света 1 кд. Если  $I_v = \text{const}$ , то (согласно определению светового потока) полный световой поток точечного источника света  $\Phi_{\text{полн}} = 4\pi I_v$ .

**Световая энергия ( $Q_v$ ).** Световая энергия  $Q_v$  равна произведению светового потока  $\Phi_v$  на время его действия  $t$ . Если световой поток изменяется во времени, то

$$Q_v = \int_0^t \Phi_v dt.$$

Для постоянного во времени светового потока  $Q_v = \Phi_v t$ . Отсюда следует, что размерность световой энергии  $\dim Q_v = T J$ . Единица световой энергии  $[Q_v] = 1 \text{ лм} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ лм} \cdot \text{с}$ .

Люмен-секунда (лм · с, лм · с) равна световой энергии, соответствующей световому потоку 1 лм, излучаемому или воспринимаемому за время 1 с.

**Спектральная световая эффективность ( $K_\lambda$ ).** Спектральной световой эффективностью называется величина  $K_\lambda$ , равная отношению светового потока  $\Phi_v$  к потоку излучения  $\Phi_e$ :  $K_\lambda = \Phi_v / \Phi_e$ .

Погрешность оценки этой величины зависит от чувствительности человеческого глаза к изучению различного спектрального состава. Например, спектральная световая эффективность равна нулю для излучений с длиной волны, большей 830 нм и меньшей 360 нм.

Спектральная световая эффективность может быть измерена при различных длинах волн видимого светового диапазона 360—830 нм путем одновременного измерения светового потока и потока излучения, который, например, определится количеством теплоты, переданным излучением абсолютному приемнику.

Из определяющего уравнения следует, что размерность спектральной световой эффективности  $\dim K_\lambda = L^{-2}M^{-1}T^3J$ . Полагая в определяющем уравнении  $[\Phi_v] = 1 \text{ лм}$ ,  $[P_e] = 1 \text{ Вт}$ , получаем единицу спектральной световой эффективности  $[K_\lambda] = 1 \text{ лм/1 Вт} = 1 \text{ лм/Вт}$ .

Люмен на ватт (lm/W, лм/Вт) равен спектральной световой эффективности, при которой поток энергии монохроматического излучения 1 Вт создает световой поток 1 лм.

Максимальная спектральная световая эффективность для стандартного фотометрического наблюдателя МКО (Международной комиссии по освещению) при дневном зрении соответствует примерно длине волны  $\lambda = 555 \text{ нм}$  и принята равной  $K_{\lambda \max} = 683 \text{ лм/Вт}$ .

Величиной, обратной максимальной спектральной световой эффективности излучения, является так называемый механический эквивалент света  $M_{cs} = 1/K_{\lambda \max} = 1,466 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/лм}$ .

**Относительная спектральная световая эффективность ( $V_\lambda$ ).** Относительной спектральной световой эффективностью называется величина  $V_\lambda$ , равная отношению спектральной световой эффективности  $K_\lambda$  при данной длине волны к максимальной спектральной световой эффективности  $K_{\lambda \max}$ :  $V_\lambda = K_\lambda/K_{\lambda \max}$ . Переход от света одного спектрального состава к свету с другим спектральным составом должен производиться на основании значений относительной спектральной световой эффективности, приведенных в ГОСТ 8.332—78.

Из определяющего уравнения для относительной спектральной световой эффективности нетрудно видеть, что эта величина безразмерна и поэтому выражается в безразмерных единицах.

**Освещенность ( $E_v$ ).** Освещенностью называется световая величина, равная отношению светового потока  $\Phi_v$ , падающего на поверхность, к площади  $S$  этой поверхности:  $E_v = \Phi_v/S$ . Отсюда следует, что размерность освещенности  $\dim E_v = L^{-2}J$ . Полагая в определяющем уравнении  $[\Phi_v] = 1 \text{ лм}$ ,  $[S] = 1 \text{ м}^2$ , получаем единицу освещенности  $[E_v] = 1 \text{ лм/1 м}^2 = 1 \text{ лм/м}^2 = 1 \text{ лк}$ .

Эта единица освещенности получила специальное наименование «люкс» от латинского слова lux, означающего «свет».

Люкс (lx, лк) равен освещенности поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$  при световом потоке падающего на него излучения, равном 1 лм.

**Светимость** ( $M_v$ ). Светимостью называется физическая величина, равная отношению светового потока  $\Phi_v$ , испускаемого светящейся поверхностью, к ее площади  $S$ :  $M_v = \Phi_v/S$ . Из уравнения следует, что размерность светимости  $\dim M_v = L^{-2}J$ . Она такая же, как и размерность освещенности. Единица светимости:  $[M_v] = 1 \text{ лм}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ лм}/\text{м}^2$ .

Люмен на квадратный метр ( $1 \text{ лм}/\text{м}^2$ ,  $\text{лм}/\text{м}^2$ ) равен светимости поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$ , испускающей световой поток  $1 \text{ лм}$ .

**Яркость** ( $L_v$ ). Яркость светящейся поверхности в направлении, которое образует угол  $\varphi$  с нормалью к поверхности, называется световая величина, равная отношению силы света в этом направлении к площади проекции светящейся поверхности  $S$  на плоскость, перпендикулярную к данному направлению:  $L_v = I_v/(S \cdot \cos \varphi)$ . Отсюда следует, что размерность яркости  $\dim L_v = L^{-2}J$ . Единица яркости  $[L_v] = 1 \text{ кд}/(1 \text{ м}^2 \cdot 1) = 1 \text{ кд}/\text{м}^2$ .

Кандела на квадратный метр ( $\text{кд}/\text{м}^2$ ,  $\text{кд}/\text{м}^2$ ) равна яркости равномерно светящейся плоской поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$  в перпендикулярном к ней направлении при силе света  $1 \text{ кд}$ .

**Световая экспозиция** ( $H_v$ ). Световой экспозицией  $H_v$  называется световая величина, равная произведению освещенности  $E_v$  на время освещения  $t$ :  $H_v = E_v t$ . Отсюда следует, что размерность световой экспозиции  $\dim H_v = L^{-2}TJ$ . Единица световой экспозиции  $[H_v] = 1 \text{ лк} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ лк} \cdot \text{с}$ .

Люкс-секунда ( $1 \text{ лк} \cdot \text{с}$ ,  $\text{лк} \cdot \text{с}$ ) равна световой экспозиции, создаваемой за время  $1 \text{ с}$  при освещенности  $1 \text{ лк}$ .

**Освечивание** ( $\theta_v$ ). Освечиванием называется светотехническая величина, равная произведению силы света  $I_v$  на время освещения  $t$ :  $\theta_v = I_v t$ . Из соотношения следует, что размерность освечивания  $\dim \theta_v = TJ$ . Единица освечивания  $[\theta_v] = 1 \text{ кд} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ кд} \cdot \text{с}$ .

Кандела-секунда ( $\text{кд} \cdot \text{с}$ ,  $\text{кд} \cdot \text{с}$ ) равна освечиванию, создаваемому излучением с силой света  $1 \text{ кд}$ , действующим в течение  $1 \text{ с}$ .

### 3.9. Производные единицы акустических величин

**Звуковая скорость (скорость звука)** ( $c$ ). Звуковой скоростью (скоростью звука) называется физическая величина, равная фазовой скорости распространения звуковых колебаний в упругой среде (фазовая и групповая скорости звуковых волн совпадают). Определяющим уравнением звуковой скорости является соотношение  $c = \lambda/T$ , где  $\lambda$  — длина звуковой волны;  $T$  — период колебаний.

Отсюда следует, что размерность звуковой скорости, как и скорости механического перемещения тел,  $\dim c = LT^{-1}$ . Подставляя в определяющее уравнение  $[\lambda] = 1 \text{ м}$ ,  $[T] = 1 \text{ с}$ , получаем единицу звуковой скорости  $[c] = 1 \text{ м}/1 \text{ с} = 1 \text{ м}/\text{с}$ .

**Метр в секунду** ( $m/s$ ,  $m/c$ ) равен звуковой скорости, при которой звуковое колебание распространяется на расстояние  $1$  м за время, равное  $1$  с.

**Звуковое давление** ( $p$ ). Звуковым давлением  $p$  называется физическая величина, характеризующая дополнительное давление, возникающее в упругой среде при распространении в ней звуковых волн. В каждой точке звукового поля звуковое давление выражается соотношением  $p = p_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$ , где  $p_0$  — амплитуда (максимальное значение) звукового давления;  $\omega = 2\pi/T$  — круговая (циклическая) частота звуковых колебаний;  $\varphi_0$  — начальная фаза колебаний.

Амплитуда звукового давления  $p_0$  выражается соотношением  $p_0 = \omega \rho r A$ , где  $c$  — скорость звука;  $\rho$  — плотность среды, в которой распространяется звук;  $A$  — амплитуда звуковых колебаний частиц среды. Последнее соотношение может быть принято в качестве определяющего уравнения для звукового давления.

Из него следует, что размерность звукового давления  $\dim p = L^{-1}MT^{-2}$ . Полагая в определяющем уравнении  $[\omega] = 1 c^{-1}$ ,  $[c] = 1 m/c$ ,  $[\rho] = 1 kg/m^3$ ,  $[A] = 1 m$ , получаем единицу звукового давления  $[p] = 1 c^{-1} \cdot 1 m \cdot c^{-1} \cdot 1 kg \cdot 1 m^3 \cdot 1 m = 1 N/m^2 = 1 Pa$ .

**Паскаль** ( $Pa$ ,  $Pa$ ) равен звуковому давлению, которое эквивалентно механическому давлению  $1 Pa$ .

**Скорость колебания частицы, колебательная скорость, акустическая скорость** ( $v$ ). Скоростью колебания частицы среды в звуковом поле является переменная величина, выражающаяся соотношением  $v = v_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$ , где  $v_0$  — амплитуда (максимальное значение) скорости колебания;  $\omega$  — циклическая частота;  $t$  — время;  $\varphi_0$  — начальная фаза колебаний.

Амплитуда колебательной скорости  $v_0$  выражается соотношением  $v_0 = A\omega$ , где  $A$  — амплитуда колебаний;  $\omega$  — циклическая частота. Это соотношение может быть принято в качестве определяющего уравнения для скорости колебания частицы. Из него следует, что размерность скорости колебания частицы  $\dim v = LT^{-1}$ . Единица скорости колебания частицы  $[v] = 1 m \cdot 1 c^{-1} = 1 m/c$ .

**Метр в секунду** ( $m/s$ ,  $m/c$ ) равен скорости колебания частицы, равной скорости механического перемещения  $1 m/c$ .

**Объемная скорость** ( $v_v$ ). Объемной скоростью звука  $v_v$  называется произведение колебательной скорости  $v$  на площадь  $S$  поперечного сечения канала, в котором распространяется звук:  $v_v = vS$ . Отсюда следует, что размерность объемной скорости  $\dim v_v = L^3T^{-1}$ . Единица объемной скорости  $[v_v] = 1 m \cdot c^{-1} \cdot 1 m^2 = 1 m^3/c$ .

**Кубический метр в секунду** ( $m^3/s$ ,  $m^3/c$ ) равен объемной скорости звука при колебательной скорости  $1 m/c$  и площади поперечного сечения канала  $1 m^2$ .

**Акустическое сопротивление** ( $Z_a$ ). Акустическим сопротивлением называется отношение звукового давления  $p_0$  к объемной скорости звука  $v_v$ :  $Z_a = p_0/v_v$ . Отсюда следует, что размерность

акустического сопротивления  $\dim Z_a = L^{-1}MT^{-1}$ . Единица акустического сопротивления  $[Z_a] = 1 \text{ Па}/(1 \text{ м}^3/\text{с}) = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$ .

Паскаль-секунда на кубический метр ( $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$ ,  $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$ ) равен акустическому сопротивлению области звукового поля, в котором объемная скорость  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  создается при звуковом давлении  $1 \text{ Па}$ .

**Удельное акустическое сопротивление ( $z_s$ ).** Удельным акустическим сопротивлением называется произведение акустического сопротивления канала  $Z_a$  на площадь его поперечного сечения  $S$ :  $z_s = Z_a S$ . Отсюда следует, что размерность удельного акустического сопротивления  $\dim z_s = L^{-2}MT^{-1}$ . Единица удельного акустического сопротивления  $[z_s] = (1 \text{ Па} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^2)/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}$ .

Паскаль-секунда на метр ( $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}$ ,  $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}$ ) равен удельному акустическому сопротивлению области звукового поля, которая при площади поперечного сечения  $1 \text{ м}^2$  имеет акустическое сопротивление  $1 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ .

**Механическое сопротивление ( $Z_m$ ).** Механическим сопротивлением называется физическая величина, числовое значение которой равно силе  $F$ , действующей на поперечное сечение звукового канала, отнесенной к средней колебательной скорости  $\langle v \rangle$  в этом сечении:  $Z_m = F/\langle v \rangle$ . Отсюда размерность механического сопротивления  $\dim Z_m = MT^{-1}$ .

Единица механического сопротивления  $[Z_m] = 1 \text{ Н}/(1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}) = 1 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}$ .

Ньютона-секунда на метр ( $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}$ ,  $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}$ ) равен механическому сопротивлению канала, в котором при силе  $1 \text{ Н}$  возникает скорость колебания  $1 \text{ м}/\text{с}$ .

**Звуковая энергия ( $W$ ).** Звуковой энергией называется энергия колебаний частиц  $W$  в звуковом поле. Как и любой другой вид энергии, звуковая энергия в СИ выражается в джоулях. Ее размерность  $\dim W = L^2MT^{-2}$ . Единица звуковой энергии измеряется в СИ в джоулях.

Джоуль ( $J$ , Дж) равен звуковой энергии, эквивалентной работе  $1 \text{ Дж}$ .

**Поток звуковой энергии ( $P$ ).** Поток звуковой энергии — величина, численно равная отношению энергии, переносимой через некоторую поверхность, ко времени. Она определяется соотношением  $P = \Delta W/\Delta t$ , где  $\Delta W$  — звуковая энергия, переносимая через данную поверхность за время  $\Delta t$ . Звуковая энергия, переносимая через поверхность за время одного периода  $T$ , изменяется от некоторого максимального значения до нуля, поэтому в соотношении предполагается, что  $\Delta t \gg T$ .

Из определяющего уравнения следует, что размерность потока звуковой энергии  $\dim P = L^2MT^{-3}$ . Единица потока звуковой энергии  $[P] = 1 \text{ Дж}/1\text{с} = 1 \text{ Дж}/\text{с} = 1 \text{ Вт}$ .

Ватт ( $W$ , Вт) равен потоку звуковой энергии, эквивалентному механической мощности  $1 \text{ Вт}$ .

**Звуковая мощность ( $N$ ).** Звуковой мощностью называется физическая величина  $N$ , определяемая соотношением  $N = dW/dt$ , где  $dW$  — звуковая энергия, переносимая через поверхность за время  $dt$ . Согласно предыдущему пункту размерность звуковой мощности и единица в СИ совпадают с размерностью и единицей потока звуковой энергии.

**Интенсивность звука (плотность потока звуковой энергии, сила звука) ( $I$ ).** Интенсивностью звука называется физическая величина, численно равная отношению звуковой энергии, переносимой звуковой волной через единицу площади поверхности, перпендикулярной к направлению распространения волны, ко времени. Ее определяющее уравнение  $I = \Phi/S = \Delta W/(S\Delta t)$ , где  $\Delta W$  — энергия звуковой волны, переносимая через плоскую площадку  $S$ , расположенную перпендикулярно к направлению распространения волны, за время  $\Delta t$  (предполагается, что  $\Delta t \gg T$ ).

При выполнении данного условия с помощью этого уравнения можно найти усредненное по времени значение интенсивности звука. Фактически же интенсивность звука в течение периода колебаний  $T$  изменяется и принимает значения в интервале от 0 до некоторого максимального (амплитудного)  $I_m$ . Для установления единицы интенсивности звука вполне правомерно пользоваться этим уравнением.

Из определяющего уравнения следует, что размерность интенсивности звука  $\dim I = \text{МТ}^{-3}$ . Единица интенсивности звука  $[I] = 1 \text{ Дж}/(1 \text{ м}^2 \cdot 1 \text{ с}) = 1 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

**Ватт на квадратный метр ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ).**  $\text{Вт}/\text{м}^2$  равен интенсивности звука, при которой через поверхность площадью  $1 \text{ м}^2$ , перпендикулярную направлению распространения звука, передается поток звуковой энергии  $1 \text{ Вт}$ .

**Плотность звуковой энергии ( $\omega$ ).** Плотностью звуковой энергии (объемной плотностью звуковой энергии) называется физическая величина, равная пределу отношения звуковой энергии в объеме звукового поля  $\Delta V$ , к этому объему при  $\Delta V$ , стремящемся к нулю:

$$\omega = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta V} = \frac{dW}{dV}.$$

В случае однородного звукового поля плотность звуковой энергии определится более простым соотношением:  $\omega = \Delta W/\Delta V$ , из которого следует, что размерность плотности звуковой энергии  $\dim \omega = \text{Л}^{-1}\text{МТ}^{-2}$ . Единица СИ плотности звуковой энергии  $[\omega] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ м}^3 = 1 \text{ Дж}/\text{м}^3$ .

**Джоуль на кубический метр ( $\text{Дж}/\text{м}^3$ ).**  $\text{Дж}/\text{м}^3$  равен плотности звуковой энергии, при которой в области звукового поля объемом  $1 \text{ м}^3$  содержится звуковая энергия  $1 \text{ Дж}$ .

### 3.10. Производные единицы величин в области ионизирующих излучений

**Энергия ионизирующего излучения ( $W$ ).** Энергией ионизирующего излучения называется энергия частиц, входящих в состав излучения. Как и всякий другой вид энергии, энергия ионизирующего излучения  $W$  имеет размерность  $\dim W = \text{L}^2\text{MT}^{-2}$  и в СИ измеряется в джоулях.

**Д ж о у л ь (J, Дж)** равен энергии ионизирующего излучения, эквивалентной работе 1 Дж.

**Поток энергии ионизирующих частиц ( $\Phi$ ).** Поток энергии ионизирующих частиц называется физической величиной, равная отношению суммарной энергии (исключая энергию покоя)  $dE$  ионизирующих частиц, попадающих на данную поверхность за интервал времени  $dt$ , к этому интервалу времени:  $\Phi = dE/dt$ . Отсюда следует, что размерность потока энергии ионизирующих частиц  $\dim \Phi = \text{L}^2\text{MT}^{-3}$ . Подставляя в определяющее уравнение значения  $[dE] = 1 \text{ Дж}$ ,  $[dt] = 1 \text{ с}$ , получаем единицу СИ потока энергии ионизирующих частиц:  $[\Phi] = 1 \text{ Дж/1 с} = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт}$ .

**В а т т (W, Вт)** равен потоку энергии ионизирующих частиц, эквивалентному механической мощности 1 Вт.

**Поглощенная доза излучения (доза излучения) ( $D$ ).** Поглощенной дозой излучения называется физическая величина, равная отношению средней энергии  $\Delta E$ , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе  $\Delta m$  вещества в этом объеме:  $D = \Delta E/\Delta m$ . Отсюда следует, что размерность поглощенной дозы излучения  $\dim D = \text{L}^2\text{T}^{-2}$ . Единица дозы излучения  $[D] = 1 \text{ Дж/1 кг} = 1 \text{ Дж/кг} = 1 \text{ Гр}$ .

**Г р е й (Gy, Гр)**, равен поглощенной дозе излучения, соответствующей энергии 1 Дж ионизирующего излучения любого вида, переданной облученному веществу массой 1 кг.

**Керма ( $K$ ).** ГОСТ 15484—81 «Излучения ионизирующие и их измерения» определяет керму как отношение суммы первоначальных кинетических энергий  $\Delta E_N$  всех заряженных частиц, появившихся под действием косвенно ионизирующего излучения в элементарном объеме специального вещества, к массе вещества в этом объеме:  $K = \Delta E_N/\Delta m$ . Отсюда следует, что размерность кермы  $\dim K = \text{L}^2\text{T}^{-2}$ . Полагая в определяющем уравнении  $[\Delta E_N] = 1 \text{ Дж}$ ,  $[\Delta m] = 1 \text{ кг}$ , получаем единицу кермы  $[K] = 1 \text{ Дж/1 кг} = 1 \text{ Дж/кг} = 1 \text{ Гр}$ .

**Г р э й (Gy, Гр)** равен керме, при которой сумма первоначальных кинетических энергий всех заряженных частиц, образованных косвенно ионизирующим излучением в облученном веществе массой 1 кг, равна 1 Дж.

**Мощность поглощенной дозы излучения (мощность дозы излучения) ( $P$ ).** Мощностью поглощенной дозы излучения  $P$  называется физическая величина, определяемая отношением приращения поглощенной дозы излучения  $\Delta D$  за интервал времени  $\Delta t$

к этому интервалу:  $P = \Delta D / \Delta t$ , где  $\Delta D$  — доза излучения, поглощенная веществом за время  $\Delta t$ . Из соотношения следует, что мощность поглощенной дозы излучения имеет размерность  $\dim P = L^2 T^{-3}$ . Подставляя в определяющее уравнение  $[\Delta D] = 1 \text{ Гр}$ ,  $[\Delta t] = 1 \text{ с}$ , находим единицу мощности поглощенной дозы излучения:  $[P] = 1 \text{ Гр} / 1 \text{ с} = 1 \text{ Гр} / \text{с}$ .

**Г р э й в с е к у н д у** (Gy/s, Гр/с) равен мощности поглощенной дозы излучения, при которой за время 1 с облученным веществом поглощается доза излучения 1 Дж/кг.

**Мощность кермы ( $\dot{K}$ )**. Мощностью кермы называется физическая величина  $\dot{K}$ , определяемая соотношением  $\dot{K} = \Delta K / \Delta t$ , где  $\Delta K$  — увеличение кермы за время  $\Delta t$ . Из соотношения следует, что мощность кермы имеет размерность  $\dim \dot{K} = L^2 T^{-3}$ . Единица мощности кермы  $[\dot{K}] = 1 \text{ Гр} / \text{с}$ .

**Г р э й в с е к у н д у** (Gy/s, Гр/с) равен мощности кермы ко- свенно ионизирующего излучения, эквивалентной мощности по-глощенной дозы излучения 1 Гр/с.

**Экспозиционная доза фотонного излучения (экспозиционная доза) ( $D_0$ )**. Экспозиционной дозой фотонного излучения называется физическая величина, равная отношению суммарного заряда  $\Delta Q$  всех ионов одного знака, созданных в воздухе, когда все электроны и позитроны, освобожденные фотонами в элементарном объеме воз-духа с массой  $\Delta m$  полностью остановились в воздухе, к массе воздуха в указанном объеме:  $D_0 = \Delta Q / \Delta m$ . Отсюда следует, что размерность экспозиционной дозы фотонного излучения  $\dim D_0 = M^{-1} T I$ . Единица экспозиционной дозы фотонного излучения  $[D_0] = 1 \text{ Кл} / 1 \text{ кг} = 1 \text{ Кл} / \text{кг}$ .

**К у л о н н а к и л о г р а м м** (C/kg, Кл/кг) равен экспози-ционной дозе фотонного излучения, при которой сопряженная кор-пускулярная эмиссия в сухом атмосферном воздухе массой 1 кг производит ионы, несущие электрический заряд каждого знака, равный 1 Кл.

**Мощность экспозиционной дозы фотонного излучения (мощность экспозиционной дозы) ( $P_0$ )**. Мощностью экспозиционной дозы фо-тонного излучения называется физическая величина, равная отно-шению приращения экспозиционной дозы фотонного излучения  $\Delta D_0$  за интервал времени  $\Delta t$  к этому интервалу:  $P_0 = \Delta D / \Delta t$ . Отсюда следует, что размерность мощности экспозиционной дозы фотонного излучения  $\dim P_0 = M^{-1} I$ . Подставляя в определяющее уравнение значения  $[\Delta D_0] = 1 \text{ Кл} / \text{кг}$ ,  $[\Delta t] = 1 \text{ с}$ , получаем единицу СИ мощности экспозиционной дозы фотонного излучения:  $[P_0] = 1 \text{ Кл} \cdot \text{кг}^{-1} / 1 \text{ с} = 1 \text{ Кл} / (\text{с} \cdot \text{кг}) = 1 \text{ А} / \text{кг}$ .

**А м п е р н а к и л о г р а м м** (A/kg, А/кг) равен мощности экспозиционной дозы фотонного излучения, при которой за время 1 с сухому атмосферному воздуху передается экспозиционная доза 1 Кл/кг.

**Интенсивность излучения (плотность потока энергии ионизи-рующих частиц) ( $I$ , ф)**. Интенсивностью излучения  $I$  называется

физическая величина, равная отношению энергии ионизирующего излучения  $\Delta E$ , переносимой через поверхность, перпендикулярную направлению излучения, к площади этой поверхности  $S$  и интервалу времени  $\Delta t$ , за который это излучение перенесено:  $I = \Delta E / (\Delta t S)$ . Из соотношения следует, что размерность интенсивности излучения  $\dim I = \text{МТ}^{-3}$ . Единица интенсивности ионизирующего излучения  $[I] = 1 \text{ Дж} / (1 \text{ с} \cdot 1 \text{ м}^2) = 1 \text{ Дж} / (\text{с} \cdot \text{м}^2) = 1 \text{ Вт} / \text{м}^2$ .

Ватт на квадратный метр ( $\text{Вт} / \text{м}^2$ ,  $\text{Вт} / \text{м}^2$ ) равен интенсивности излучения, при которой на поверхность площадью  $1 \text{ м}^2$  падает излучение мощностью  $1 \text{ Вт}$ .

**Активность радионуклида в источнике (активность радионуклида) ( $A$ ).** Активностью радионуклида в источнике  $A$  называется физическая величина, численно равная отношению числа  $\Delta N$  спонтанных ядерных переходов из определенного ядерно-энергетического состояния радионуклида, происходящих в данном его количестве за интервал времени  $\Delta t$ , к этому интервалу:  $A = \Delta N / \Delta t$ . Из соотношения следует, что размерность активности нуклида в радиоактивном источнике  $\dim A = \text{Т}^{-1}$ . Единица активности нуклида в радиоактивном источнике  $[A] = 1 \text{ с}^{-1} = 1 \text{ Бк}$ .

Беккерель ( $\text{Bq}$ ,  $\text{Бк}$ ) равен активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за время  $1 \text{ с}$  происходит один акт распада.

**Удельная активность радионуклида ( $a$ ).** Удельной активностью радионуклида называется физическая величина  $a$ , равная отношению активности радионуклида в радиоактивном образце  $A$  к массе образца  $m$ :  $a = A / m$ . Отсюда следует, что размерность удельной активности радионуклида  $\dim a = \text{М}^{-1} \text{Т}^{-1}$ . Единица удельной активности радионуклида  $[a] = 1 \text{ Бк} / 1 \text{ кг} = 1 \text{ Бк} / \text{кг}$ .

Беккерель на килограмм ( $\text{Bq} / \text{кг}$ ,  $\text{Бк} / \text{кг}$ ) равен удельной активности радионуклида, при которой радиоактивный образец массой  $1 \text{ кг}$  имеет активность радионуклида  $1 \text{ Бк}$ .

**Поток ионизирующих частиц ( $\Phi_n$ ).** Потокom ионизирующих частиц  $\Phi_n$  называется физическая величина, равная отношению числа частиц  $\Delta N$ , падающих на данную поверхность за интервал времени  $\Delta t$ , к этому интервалу:  $\Phi_n = \Delta N / \Delta t$ . Отсюда следует, что размерность потока ионизирующих частиц  $\dim \Phi_n = \text{Т}^{-1}$ . Единица потока ионизирующих частиц  $[\Phi_n] = 1 / 1 \text{ с} = 1 \text{ с}^{-1}$ .

Секунда в минус первой степени ( $\text{с}^{-1}$ ,  $\text{с}^{-1}$ ) равна потоку ионизирующих частиц, при котором за время  $1 \text{ с}$  проходит одна ионизирующая частица.

**Плотность потока ионизирующих частиц ( $\varphi_n$ ).** Плотностью потока ионизирующих частиц называется физическая величина, равная отношению потока ионизирующих частиц  $\Delta \Phi_n$ , проникающих в объем элементарной сферы, к площади поперечного сечения  $\Delta S$  этой сферы:  $\varphi_n = \Delta \Phi_n / \Delta S$ . Отсюда следует, что размерность плотности потока ионизирующих частиц  $\dim \varphi_n = \text{Л}^{-2} \text{Т}^{-1}$ . Единица СИ плотности потока ионизирующих частиц:  $[\varphi_n] = 1 \text{ с}^{-1} / 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$ .

Секунда в минус первой степени метр в минус второй степени ( $s^{-1} \cdot m^{-2}$ ,  $s^{-1} \cdot m^{-2}$ ) равен плотности равномерного потока ионизирующих частиц, при которой через поверхность площадью  $1 \text{ м}^2$ , перпендикулярно к потоку, за время  $1 \text{ с}$  проходит одна ионизирующая частица.

**Период полураспада ( $T_{1/2}$ ).** Периодом полураспада  $T_{1/2}$  называется физическая величина, равная времени, в течение которого исходное количество ядер данного радиоактивного вещества распадается наполовину. Размерность периода полураспада, естественно, совпадает с размерностью времени, а его единицей является секунда (с).

**Постоянная радиоактивного распада ( $\lambda$ ).** Постоянной радиоактивного распада называется физическая величина, определяющая вероятность распада ядра за единицу времени: она равна доле ядер, распадающихся за единицу времени. Из закона радиоактивного распада следует определяющее уравнение для постоянной радиоактивного распада в виде  $\lambda = dN/(Ndt)$ , где  $dN$  — число ядер, распавшихся за промежуток времени  $dt$  из исходного количества ядер  $N$ . Из уравнения вытекает, что размерность постоянной радиоактивного распада  $\dim \lambda = T^{-1}$ . Вследствие того что  $dN/N$  — безразмерная величина, постоянная радиоактивного распада согласно определяющему уравнению выражается в секундах в минус первой степени.

Секунда в минус первой степени ( $s^{-1}$ ,  $s^{-1}$ ) равна постоянной радиоактивного распада, при котором за  $1 \text{ с}$  относительное число распавшихся ядер равно  $1$ .

**Эффективное сечение взаимодействия ионизирующих частиц (сечение взаимодействия) ( $\sigma$ ).** Эффективным сечением взаимодействия называется физическая величина, характеризующая взаимодействие частиц, равная вероятности взаимодействия ионизирующих частиц, характеризуемой площадью поперечного сечения такой воображаемой сферы, окружающей бомбардируемую частицу, что все бомбардируемые частицы, входящие в эту сферу, участвуют в реакциях или процессах взаимодействия определенного типа с бомбардируемой частицей. В простейшем случае газокINETического столкновения частиц эффективное сечение соударения частиц  $\sigma$  равно площади круга с радиусом  $d$ , равным эффективному диаметру молекул или атомов:  $\sigma = \pi d^2$ . Из определяющего уравнения следует, что эффективное поперечное сечение взаимодействия частиц имеет размерность площади  $\dim \sigma = L^2$ . Единицей эффективного сечения взаимодействия в СИ является квадратный метр ( $m^2$ ,  $m^2$ ).

### **3.11. Единицы относительных и логарифмических величин**

В науке и технике широкое применение нашли относительные и логарифмические величины и их единицы.

Относительная величина представляет собой безразмерное отношение физической величины к одноименной физической величине, принятой за исходную. Относительные величины выражаются в относительных единицах, являющихся безразмерными. Допускаются к применению также относительные единицы — процент, промилле и миллионная доля.

Во многих случаях оказывается удобным давать количественную характеристику физических объектов и явлений с помощью логарифмических величин. Логарифмическая величина представляет собой логарифм (десятичный, натуральный или при основании 2) безразмерного отношения физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную.

Если необходимо указать исходную величину уровня, ее значение помещают в скобках после обозначения логарифмической величины. Например, 20 дБ (ге 20 мк Па), где ге — начальные буквы слова герцезе, т. е. исходный, 20 мкПа — исходное давление, принятое за начальный уровень.

Логарифмические единицы не входят в СИ. Для выражения логарифмических величин применяются логарифмические единицы: бел и децибел.

Наиболее распространенные относительные физические величины были рассмотрены выше.

В табл. 16 приведены относительные и логарифмические величины и их единицы в соответствии со стандартом СЭВ «Метрология. Единицы физических величин». Они допускаются к применению наравне с единицами СИ (за исключением непера: который допускается временно до принятия соответствующих международных решений).

### **3.12. Кратные и дольные единицы от единиц СИ. Правила образования. Наименования и обозначения десятичных кратных и дольных единиц**

#### **3.12.1. Кратные и дольные единицы**

До установления Метрической системы мер для измерения больших или меньших значений одной и той же физической величины применялись отдельные меры со своими наименованиями с разными соотношениями между ними. Так, в старой русской системе мер единица длины сажень имела 3 аршина, аршин — 16 вершков. В английской системе мер ярд имел 3 фута, фут — 12 дюймов.

При установлении Метрической системы мер было принято для выражения больших или меньших значений физических величин применять кратные и дольные единицы, образуемые от исходной единицы по принципу десятичной кратности и дольности, с присоединением к наименованию исходной единицы соответствующей приставки.

Кратная единица в целое число раз больше соответствующей исходной единицы.

В Международной системе единиц приняты десятичные кратные и дольные единицы от исходных единиц СИ, получаемые путем умножения их на число 10 в соответствующей положительной (для кратных единиц) или отрицательной (для дольных единиц) степени — от  $10^{18}$  до  $10^{-18}$ . Ниже приводятся наименования и обозначения десятичных кратных и дольных единиц СИ и правила их образования в СИ в соответствии с положениями, установленными в стандарте СЭВ.

### 3.12.2. Приставки для образования кратных и дольных единиц

Как указывалось выше, в Метрической системе мер наименования десятичных кратных и дольных единиц образуются присоединением приставок к наименованиям исходных единиц.

В 1793—1795 гг. при первом узаконении метрической системы во Франции было принято наименование приставок брать для кратных единиц из греческого языка, для дольных — из латинского. В тот период были приняты приставки: кило для множителя  $10^3$  (от греческого слова, означающего «тысяча»), гекто для  $10^2$  (от греческого слова, означающего «сто») и дека для 10 (от греческого слова, означающего «десять»), а также деци для  $10^{-1}$  (от латинского слова, означающего 10), санти для  $10^{-2}$  (от латинского слова, означающего «сто») и милли для  $10^{-3}$  (от латинского слова, означающего «тысяча»).

В дальнейшем диапазон кратных и дольных единиц и соответственно приставок расширился в сторону как больших, так и меньших значений.

Так, в 1870 г. появились приставки мега для множителя  $10^6$  (от греческого слова, означающего «большой») и микро для  $10^{-6}$  (от греческого слова, означающего «малый»). Впоследствии были приняты и другие приставки: гига для множителя  $10^9$  от греческого слова «гигант», нано для  $10^{-9}$  от латинского слова, означающего «карлик», тера для  $10^{12}$  (от греческого слова, означающего «огромный») и пико для  $10^{-12}$  (от итальянского слова «пикколо», означающего «маленький»).

В 1964 г. на XII Генеральной конференции по мерам и весам были приняты приставки фемто для множителя  $10^{-15}$  (от датского слова, означающего «пятнадцать») и атто для множителя  $10^{-18}$  (от датского слова, означающего «восемнадцать»).

В 1975 г. на XV Генеральной конференции по мерам и весам были приняты приставки пета для множителя  $10^{15}$  (от греческого

слова, означающего «пять», соответствующего числу разрядов по  $10^3$  в каждом) и экса для  $10^{18}$  (от греческого слова, означающего «шесть», соответствующего числу разрядов по  $10^3$ ).

В табл. 17 (табл. 9 в СТ СЭВ 1052—78) приведены приставки СИ для образования кратных и дольных единиц и их обозначения.

### 3.12.3. Правила образования наименований и обозначений десятичных кратных и дольных единиц СИ

Наименования десятичных кратных и дольных единиц СИ образуются путем присоединения приставок СИ к наименованиям исходных единиц.

Присоединение к наименованию единицы двух и более приставок подряд не допускается. Например, вместо наименования единицы «микромикрофарад», нужно применять наименования «пикофарад».

Обозначение кратных и дольных единиц образуется присоединением приставок СИ к обозначениям исходных единиц.

В связи с тем что наименование основной единицы килограмм содержит приставку «кило», для образования кратных и дольных единиц массы используется дольная единица грамм ( $0,001 \text{ кг}$ ), и приставки необходимо присоединять к слову «грамм», например, мегаграмм ( $1 \text{ Мг} = 10^6 \text{ г} = 10^3 \text{ кг}$  или  $1 \text{ Mg} = 10^6 \text{ g} = 10^3 \text{ kg}$ ) вместо кило-килограмма, миллиграмм ( $1 \text{ мг} = 10^{-3} \text{ г} = 10^{-6} \text{ кг}$  или  $1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g} = 10^{-6} \text{ kg}$ ) вместо микрокилограмма.

Дольную единицу массы «грамм» допускается применять и без присоединения приставки. Приставку или ее обозначение следует писать слитно с наименованием или обозначением исходной единицы, если наименование единицы состоит из одного слова: миллиметр (мм), микроампер (мкА), килоньютон (кН). Если единица образована как произведение или отношение единиц, приставку (или ее обозначение) присоединяют к наименованию (или обозначению) первой единицы, входящей в произведение или в отношение

П р а в и л ь н о :

килопаскаль-секунда на метр  
(кПа · с/м; кРа · с/м)

Н е п р а в и л ь н о :

паскаль-килосекунда на метр  
(Па · кс/м; Ра · кс'/м).

В обоснованных случаях, когда применение этого правила вызывает большие трудности, допускается применять приставку во втором множителе произведения или в знаменателе, например: тонна-километр ( $\text{т} \cdot \text{км}$ ,  $\text{t} \cdot \text{kп}$ ) ватт на квадратный сантиметр ( $\text{Вт/см}^2$ ,  $\text{W/см}^2$ ), вольт на сантиметр ( $\text{В/см}$ ,  $\text{V/см}$ ), ампер на квадратный миллиметр ( $\text{А/мм}^2$ ,  $\text{A/мм}^2$ ).

Наименования кратных и дольных единиц от единицы, возведенной в степень, следует образовывать путем присоединения приставки к наименованию исходной единицы. Например, для образо-

вания наименования кратной или дольной единицы от единицы площади—квадратного метра, представляющей собой вторую степень единицы длины — метра, приставку следует присоединять к наименованию этой последней единицы: квадратный километр, квадратный сантиметр и т. д.

Обозначения кратных и дольных единиц от единицы, возведенной в степень, следует образовывать добавлением соответствующего показателя степени к обозначению кратной или дольной от этой единицы, причем показатель означает возведение в степень кратной или дольной от этой единицы (вместе с приставкой), например:  $5 \text{ км}^2 = 5(10^3 \text{ м})^2 = 5 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ ;  $250 \text{ см}^3/\text{с} = 250 (10^{-2} \text{ м})^3/(1 \text{ с}) = = 250 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $0,002 \text{ см}^{-1} = 0,002(10^{-2} \text{ м})^{-1} = 0,002 \cdot 100 \text{ м}^{-1} = = 0,2 \text{ м}^{-1}$ .

## 4

## ПРЕЖНИЕ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ, ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ

### 4.1. Абсолютная система Гаусса

К. Гаусс, впервые сформулировавший общий принцип построения логически непротиворечивой системы единиц, обладающей внутренним единством, фактически разработал только систему единиц магнитных величин.

Взяв в качестве основных единиц миллиметр, миллиграмм и секунду, он с помощью физических законов, выражающих функциональные связи между физическими величинами, установил единицу напряженности магнитного поля и другие единицы магнитных величин. До этого магнитные величины выражались произвольно выбранными и не связанными друг с другом единицами. Например, за единицу напряженности магнитного поля была выбрана его напряженность в Лондоне.

Ясно, что это вызывало большие трудности для научных исследований, а также и для прикладных измерений.

Наряду с этим оно приводило и к очень низкой их точности.

Используя метод Гаусса, Вебер в 1851 г. с помощью единиц длины, массы и времени установил единицы силы тока, э. д. с., электрического сопротивления и тем самым включил в систему Гаусса и единицы электрических величин.

Исходя из того что все производные единицы системы выражались через независимые друг от друга единицы длины, массы и времени, Гаусс назвал свою систему абсолютной. Впоследствии этот термин применялся к системам, построенным не только на этих трех основных единицах, но и на других. В настоящее время этот термин применительно к системам единиц не используется, так

как произвольность выбора основных единиц при построении любой системы единиц не дает принципиальных оснований считать какую-либо из них абсолютной.

## 4.2. Системы СГС

### 4.2.1. Система механических единиц СГС

Система СГС, разработанная Комитетом по электрическим эталонам Британской ассоциации для развития наук, в состав которого в качестве председателя входил У. Томсон (лорд Кельвин), а членами были крупнейшие ученые того времени — Максвелл, Джоуль, Сименс и др., была официально утверждена I Международным электротехническим конгрессом в 1881 г.

Конгресс установил производные единицы как для механических, так и для электрических и магнитных величин.

Основными единицами системы СГС являются единица длины — сантиметр, единица массы — грамм и единица времени — секунда, т. е. в области механики система СГС относится к системам типа LMT. Свое название система получила по начальным буквам основных единиц.

В Советском Союзе основные и производные единицы системы СГС устанавливал ГОСТ 7664—61. В приложении к нему были даны определения основных единиц. Определения производных единиц этой системы не стандартизировались. Единицы сантиметр и грамм определялись стандартом как доли от метра и килограмма, поэтому они воспроизводились с помощью эталонов этих единиц.

Система единиц механических величин была построена с использованием системы уравнений классической механики.

Для однозначного образования производных единиц использовалась такая последовательность определяющих уравнений, в каждое из которых входила только одна физическая величина, не содержащаяся в предшествующих уравнениях. В соответствующих им уравнениях связи между единицами коэффициенты пропорциональности принимались равными 1, поэтому система СГС для механических единиц была когерентной.

В состав системы СГС включались также две дополнительные единицы: для плоского угла — радиан (рад), для телесного — стерadian (ср). Эти единицы совпадают с соответствующими единицами систем МКС и СИ.

Система СГС широко применялась в физических исследованиях, в научно-технической и учебной литературе. Но для практических измерений и для решения технических задач система СГС была неудобна главным образом потому, что многие единицы этой системы имели очень малые размеры. Например, мощность 300 Вт,

Таблица 9. Важнейшие механические единицы системы СГС

Величина		Единица			Соотношение с единицей СИ
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	русское	
			международное		
Длина	L	сантиметр	см	см	$1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$
Масса	M	грамм	г	г	$1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг}$
Время	T	секунда	s	с (прежнее)	Совпадает с единицей СИ
Частота	T <sup>-1</sup>	герц	Hz	Гц	Совпадает с единицей СИ
Угловая скорость	T <sup>-1</sup>	радиан в секунду	rad/s	рад/с	То же
Угловое ускорение	T <sup>-2</sup>	радиан на секунду в квадрате	rad/s <sup>2</sup>	рад/с <sup>2</sup>	»
Период	T	секунда	s	с	»
Скорость	LT <sup>-1</sup>	сантиметр в секунду	см/с	см/с	Совпадает с единицей СИ
Ускорение	LT <sup>-2</sup>	сантиметр на секунду в квадрате	см/с <sup>2</sup>	см/с <sup>2</sup>	$1 \text{ см/с}^2 = 10^{-2} \text{ м/с}^2$
Площадь	L <sup>2</sup>	квадратный сантиметр	см <sup>2</sup>	см <sup>2</sup>	$1 \text{ см}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$
Объем	L <sup>3</sup>	кубический сантиметр	см <sup>3</sup>	см <sup>3</sup>	$1 \text{ см}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$
Плотность	L <sup>-3</sup> M	грамм на кубический сантиметр	г/см <sup>3</sup>	г/см <sup>3</sup>	$1 \text{ г/см}^3 = 10^3 \text{ кг/м}^3$
Сила	LMT <sup>-2</sup>	дина	дин	дин	$1 \text{ дин} = 10^{-5} \text{ Н}$
Удельный вес	L <sup>-2</sup> MT <sup>-2</sup>	дина на кубический сантиметр	дин/см <sup>3</sup>	дин/см <sup>3</sup>	$1 \text{ дин/см}^3 = 10 \text{ Н/м}^3$
Момент инерции (динамический)	L <sup>2</sup> M	грамм-сантиметр в квадрате	г·см <sup>2</sup>	г·см <sup>2</sup>	$1 \text{ г} \cdot \text{см}^2 = 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Работа и энергия	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup>	эрг	erg	эрг	$1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$
Мощность	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup>	эрг в секунду	эрг/с	эрг/с	$1 \text{ эрг/с} = 10^{-7} \text{ Вт}$
Напряжение (давление)	L <sup>-1</sup> MT <sup>-2</sup>	дина на квадратный сантиметр	дин/см <sup>2</sup>	дин/см <sup>2</sup>	$1 \text{ дин/см}^2 = 10^{-1} \text{ Па}$
Динамическая вязкость	L <sup>-1</sup> MT <sup>-1</sup>	пуаз	р	п (прежнее)	$1 \text{ п} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$
Кинематическая вязкость	L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup>	стоке	St	Ст (прежнее ст)	$1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$

Таблица 10. Акустические единицы системы СГС (по ГОСТ 8849—58)

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ
			международное	русское	
Звуковое давление	$L^{-1}MT^{-2}$	дина на квадратный сантиметр	дин/см <sup>2</sup>	дин/см <sup>2</sup>	1 дин/см <sup>2</sup> = 10 <sup>-1</sup> Па
Объемная скорость	$L^3T^{-1}$	кубический сантиметр в секунду	см <sup>3</sup> /с	см <sup>3</sup> /с	1 см <sup>3</sup> /с = 10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с
Акустическое сопротивление	$L^4MT^{-1}$	дина-секунда на сантиметр в пятой степени	дин·с/см <sup>5</sup>	дин·с/см <sup>5</sup>	1 дин·с/см <sup>5</sup> = = 10 <sup>5</sup> Н·с/м <sup>5</sup> = = 10 <sup>5</sup> Па·с/м <sup>3</sup>
Механическое сопротивление	$MT^{-1}$	дина-секунда на сантиметр	дин·с/см	дин·с/см	1 дин·с/см = 10 <sup>-3</sup> Н·с/м
Интенсивность звука	$MT^{-3}$	эрг в секунду на квадратный сантиметр	ерг/(с·см <sup>2</sup> )	эрг/(с·см <sup>2</sup> )	1 эрг/(с·см <sup>2</sup> ) = = 10 <sup>-3</sup> Дж/(с·м <sup>2</sup> ) = = 10 <sup>-3</sup> Вт/м <sup>2</sup>
Плотность звуковой энергии	$L^{-1}MT^{-2}$	эрг на кубический сантиметр	ерг/см <sup>3</sup>	эрг/см <sup>3</sup>	1 эрг/см <sup>3</sup> = 10 <sup>-1</sup> Дж/м <sup>3</sup>

Таблица 11. Тепловые единицы системы СГС

Наименование	Размерность	Единица			Соотношение с единицей СИ
		Наименование	Обозначение		
			международное	русское	
Количество теплоты	$L^2MT^{-2}$	эрг	erg	эрг.	$1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$
Термодинамический потенциал (внутренняя энергия, энтальпия, изохорноизотермический потенциал, изобарно-изотермический потенциал)	$L^2T^{-2}$	эрг на грамм	erg/g	эрг/г	— — $1 \text{ эрг/г} = 10^{-4} \text{ Дж/кг}$ —
Теплота фазового превращения	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	эрг на кельвин	erg/K (прежнее erg/deg)	эрг/К (прежнее эрг/град)	$1 \text{ эрг/К} = 10^{-7} \text{ Дж/К}$
Теплота химической реакции	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	эрг на кельвин	erg/K	эрг/К	$1 \text{ эрг/К} = 10^{-7} \text{ Дж/К}$
Удельное количество теплоты	$L^2T^{-2}$	эрг на грамм-кельвин	erg/(g·K)	эрг/(г·К)	$1 \text{ эрг/(г·К)} = 10^{-4} \text{ Дж/(кг·К)}$
Удельный термодинамический потенциал	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	эрг на грамм-кельвин	erg/(g·K)	эрг/(г·К)	$1 \text{ эрг/(г·К)} = 10^{-4} \text{ Дж/(кг·К)}$
Удельная теплота фазового превращения	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	эрг на грамм-кельвин	erg/(g·K)	эрг/(г·К)	$1 \text{ эрг/г} = 10^{-7} \text{ Дж/кг}$
Удельная теплота химической реакции	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	эрг на грамм-кельвин	erg/(g·K)	эрг/(г·К)	$1 \text{ эрг/г} = 10^{-7} \text{ Дж/кг}$
Теплоемкость системы	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	эрг в секунду	erg/s	эрг/с	$1 \text{ эрг/с} = 10^{-7} \text{ Вт}$
Энтропия системы	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	эрг в секунду на квадратный сантиметр	erg/(s·cm <sup>2</sup> )	эрг/(с·см <sup>2</sup> )	$1 \text{ эрг/(с·см}^2) = 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$
Удельная теплоемкость	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	эрг в секунду на квадратный сантиметр	erg/(s·cm <sup>2</sup> )	эрг/(с·см <sup>2</sup> )	$1 \text{ эрг/(с·см}^2) = 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$
Удельная энтропия	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	эрг в секунду на квадратный сантиметр	erg/(s·cm <sup>2</sup> )	эрг/(с·см <sup>2</sup> )	$1 \text{ эрг/(с·см}^2) = 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$
Удельная газовая постоянная	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	эрг в секунду на квадратный сантиметр	erg/(s·cm <sup>2</sup> )	эрг/(с·см <sup>2</sup> )	$1 \text{ эрг/(с·см}^2) = 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$
Тепловой поток	$MT^{-3}$	эрг в секунду на квадратный сантиметр	erg/(s·cm <sup>2</sup> )	эрг/(с·см <sup>2</sup> )	$1 \text{ эрг/(с·см}^2) = 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$
Поверхностная плотность теплового потока	$MT^{-3}$	эрг в секунду на квадратный сантиметр	erg/(s·cm <sup>2</sup> )	эрг/(с·см <sup>2</sup> )	$1 \text{ эрг/(с·см}^2) = 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$
Коэффициент теплообмена	$MT^{-3}\Theta^{-1}$	эрг в секунду на квадратный сантиметр-кельвин	erg/(s·cm <sup>2</sup> ·K)	эрг/(с·см <sup>2</sup> ·К)	$1 \text{ эрг/(с·см}^2 \cdot \text{К)} = 10^{-3} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$

К	Коэффициент теплопередачи	$L^{-1}\Theta$	кельвин на сантиметр	K/cm (прежнее — град/см)	$1 \text{ K/cm} = 10^2 \text{ K/m}$
Т	Температурный градиент	$LMT^{-3}\Theta^{-1}$	эрг в секунду на сантиметр-кельвин	эрг/(см·с·K)	$1 \text{ эрг}/(\text{с}\cdot\text{см}\cdot\text{K}) = 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$
Т	Теплопроводность	$L^2T^{-1}$	квадратный сантиметр на секунду	см <sup>2</sup> /с	$1 \text{ см}^2/\text{с} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
Т	Температурный коэффициент	$\Theta^{-1}$	кельвин в минус первой степени	K <sup>-1</sup> (прежнее град <sup>-1</sup> )	
М	Молярная масса	$MN^{-1}$	грамм на моль	г/моль	$1 \text{ г}/\text{моль} = 10^{-3} \text{ кг}/\text{моль}$
М	Молярный объем	$L^3N^{-1}$	кубический сантиметр на моль	см <sup>3</sup> /моль	$1 \text{ см}^3/\text{моль} = 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$
М	Молярная внутренняя энергия	$L^2MT^{-2}N^{-1}$	эрг на моль	эрг/моль	$1 \text{ эрг}/\text{моль} = 10^{-7} \text{ Дж}/\text{моль}$
М	Молярная энтальпия	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	эрг на моль-кельвин	эрг/(моль·K)	$1 \text{ эрг}/(\text{моль}\cdot\text{K}) = 10^{-7} \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{K})$
Х	Химический потенциал				
Х	Химическое сродство				
М	Молярная теплоемкость	$L^{-3}N$	моль на кубический сантиметр	моль/см <sup>3</sup>	$1 \text{ моль}/\text{см}^3 = 10^6 \text{ моль}/\text{м}^3$
М	Молярная энтропия	$L^{-3}T^{-1}N$	моль на кубический сантиметр в секунду	моль/(см <sup>3</sup> ·с)	$1 \text{ моль}/(\text{см}^3\cdot\text{с}) = 10^6 \text{ моль}/(\text{м}^3\cdot\text{с})$
М	Молярная концентрация	$M^{-3}N$	моль на грамм	моль/г	$1 \text{ моль}/\text{г} = 10^3 \text{ моль}/\text{кг}$
С	Скорость химической реакции				
У	Удельная адсорбция	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	эрг на моль-кельвин	эрг/(моль·K)	$1 \text{ эрг}/(\text{моль}\cdot\text{K}) = 10^{-7} \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{K})$

потребляемая электрической нагревательной плиткой, в системе СГС определялась числом 3 000 000 000 эрг/с.

В табл. 9 приведены важнейшие механические единицы системы СГС (по ГОСТ 7664—61) и их соотношения с единицами СИ.

#### 4.2.2. Акустические единицы системы СГС

Акустические единицы системы СГС были созданы путем распространения системы механических единиц СГС на область акустических измерений. Это вполне закономерно, так как акустические явления имеют механическую природу.

В табл. 10 приведены акустические единицы системы СГС (по ГОСТ 8849—58) и их соотношения с единицами СИ.

Необходимо иметь в виду, что единица звукового давления дина на квадратный сантиметр в прошлом имела наименование «бар». Поскольку единице давления  $10^5$  Н/м<sup>2</sup> было присвоено это же наименование, единице звукового давления (давления) в системе СГС было дано наименование «дина на квадратный сантиметр». Ранее для этой единицы широко применялось также наименование «бария». Вместе с тем одновременно применяли наименование «микробар», так как она равнялась одной миллионной части бара (нового). Принятие СТ СЭВ 1052—78 способствует устранению этой путаницы. В стандарте указано, что единица звукового давления (давления) бар равняется  $10^5$  Па и входит в состав единиц, которые допускаются к применению временно.

#### 4.2.3. Тепловые единицы системы СГС

Тепловые единицы системы СГС были также когерентными и образовывались, как и в СИ, путем добавления к трем основным единицам единицы температуры Кельвина и единицы количества вещества моля, которые определялись, как и в СИ. Размерности этих величин —  $\Theta$  и  $N$  соответственно.

В табл. 11 приведены тепловые единицы системы СГС и их соотношения с соответствующими единицами СИ.

#### 4.2.4. Электрические и магнитные единицы системы СГС

Взаимосвязь между электрическими, магнитными и механическими явлениями открывает принципиальную возможность образования электрических и магнитных единиц на основе использования механических единиц.

Построение систем электрических и магнитных единиц прошло довольно сложный путь. Это в значительной мере было связано с тем, что их создавали в процессе изучения природы и закономерностей электромагнитных явлений. Трудности установления электрических и магнитных единиц были связаны также и с тем, что из-за специфики электрических и магнитных явлений в любое уравнение

электромагнетизма помимо механических величин входит не менее двух величин из области электромагнитных измерений. Для преодоления этого затруднения было бы естественно ввести дополнительно к основным механическим единицам еще одну основную из числа электрических или магнитных единиц. Поэтому вид системы электрических и магнитных единиц зависел как от выбора основных механических единиц, так и от выбора основной единицы для области электрических и магнитных явлений. В некоторых случаях путем наложения дополнительных условий основной единицу из области электрических и магнитных явлений не вводили. В зависимости от способа построения системы единиц электрических и магнитных величин, и, в частности, от выбора функциональных зависимостей электромагнитных величин от механических, единицы электрических и магнитных величин отличались по размеру.

Часто в качестве упомянутых функциональных зависимостей выбирали либо закон Кулона, характеризующий электростатическое взаимодействие точечных зарядов, либо закон Ампера, определяющий электродинамическое взаимодействие бесконечных прямолинейных параллельных проводников с током.

Закон Кулона выражается формулой

$$F = k_1 \frac{Q_1 Q_2}{r^2}, \quad (4.1)$$

где  $F$  — сила взаимодействия точечных зарядов  $Q_1$  и  $Q_2$ , расположенных друг от друга на расстоянии  $r$ , а  $k_1$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц физических величин, входящих в формулу (4.1), а также от электрических свойств среды, в которой находятся заряды  $Q_1$  и  $Q_2$ . Этот коэффициент можно представить в виде  $k_1 = k/\epsilon'_a$  (4.2), где  $k$  — коэффициент, зависящий только от выбора единиц  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $r$ ;  $\epsilon'_a$  — так называемая абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, зависящая от электрических свойств среды и выбора ее единицы. Электрические свойства среды удобно характеризовать относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r$ , выражаемой соотношением  $\epsilon_r = \epsilon'_a/\epsilon'_0$  (4.3), в котором  $\epsilon'_0$  — абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума (электрическая постоянная). Из последнего отношения видно, что  $\epsilon_r$  — величина безразмерная, числовое значение которой в любой системе единиц будет одинаковым, зависящим только от электрических свойств данной среды. С учетом введенных обозначений закон Кулона будет записан так:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon_r \epsilon'_0 r^2}. \quad (4.4)$$

Электродинамическое взаимодействие бесконечных прямолинейных параллельных проводников, по которым протекают токи  $I_1$  и  $I_2$ , записывается следующим образом:

$$F = k_2 \frac{2I_1 I_2}{d} l, \quad (4.5)$$

где  $F$  — сила взаимодействия, приходящаяся на участок проводника длиной  $l$ , при расстоянии между проводниками, равном  $d$ . Коэффициент пропорциональности  $k_2$  зависит от выбора единиц величин, входящих в формулу (4.5), а также от магнитных свойств среды, в которой расположены проводники. Его можно записать  $k_2 = k^2 \mu'_a$  (4.6), где  $k$  — новый коэффициент пропорциональности, зависящий только от выбора единиц величин  $F$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $d$ ,  $l$ ;  $\mu'_a$  — абсолютная магнитная проницаемость среды, зависящая от магнитных свойств среды и выбора ее единицы.

Магнитные свойства среды удобно характеризовать относительной магнитной проницаемостью среды  $\mu_r$ , выражаемой соотношением  $\mu_r = \mu'_a / \mu'_0$  (4.7), в котором  $\mu'_0$  — магнитная постоянная (абсолютная магнитная проницаемость вакуума). Из этого соотношения видно, что  $\mu_r$  — величина безразмерная, числовое значение которой в любой системе единиц будет одинаковым, зависящим только от магнитных свойств данной среды. С учетом введенных обозначений закон Ампера запишется в виде

$$F = k^2 \mu_r \mu'_0 \frac{2I_1 I_2}{d} l. \quad (4.8)$$

Заметим, что числовые значения констант  $\epsilon'_0$ ,  $\mu'_0$  зависят только от выбора единиц.

Приведенные теоретические представления позволяют последовательно рассмотреть принципы построения и основные особенности систем единиц СГС, предназначенных для области электрических и магнитных явлений. Всего для этой области существовало семь систем единиц СГС.

Первыми еще в XIX в. были разработаны и предложены Комитетом по электрическим эталонам Британской ассоциации для развития наук системы СГСЭ и СГСМ.

**Система СГСЭ (CGSE).** При построении этой системы исходили из закона Кулона. Механические единицы в этой системе совпадают с единицами системы СГС. Для получения единицы заряда определяющее уравнение берется в форме (4.4). В вакууме согласно уравнению (4.3)  $\epsilon_r = 1$ . Поскольку эта система когерентна, коэффициент пропорциональности  $k$  принимается равным 1. Таким образом, исходным для образования единицы заряда (если заряды расположены в вакууме и  $Q_1 = Q_2 = Q$ ) оказывается уравнение  $F = Q^2 / \epsilon'_0 r^2$  (4.9). В этом уравнении содержится две электрические величины  $Q$  и  $\epsilon'_0$ . Ясно, что одновременно определить размерности этих величин невозможно. Поэтому при построении системы СГСЭ приняли дополнительное условие — положили, что  $\epsilon'_0$  есть величина безразмерная и равная 1. Остальные электрические и магнитные величины устанавливали с помощью ряда последовательно расположенных определяющих уравнений, взятых из учения об электрических и магнитных явлениях. Таким образом, система оказывается когерентной, и основные величины в ней имеют размерности ЛМТ. Поэтому ее иногда называли абсолютной электро-

статической системой СГС. Вполне естественно, что в этой системе  $\mu'_0$  оказывается размерной величиной, значение которой определяется известной формулой  $c = (\epsilon'_0 \mu'_0)^{-1/2}$ , где  $c$  — скорость света в вакууме. Из этой формулы следует, что  $\mu'_0 = c^{-2}$ , т. е. имеет размерность  $L^{-2}T^2$ .

Все единицы этой системы по своим размерам очень неудобны для практики. Магнитные единицы системы СГСЭ практически не использовались.

**Система СГСМ (CGSM).** При построении системы исходили из закона Ампера для электромагнитного взаимодействия параллельных проводников с током. В качестве основных механических единиц, как и в системе СГСЭ, были взяты сантиметр, грамм и секунда. Затем с помощью закона Ампера устанавливалась единица силы тока. Для этого полагалось, что  $I_1 = I_2 = I$ , а проводники находятся в вакууме ( $\mu_r = 1$ ). Тогда согласно (4.8) определяющее уравнение для силы тока приобретало вид

$$F = k^2 \mu'_0 \frac{2I^2}{d} l. \quad (4.10)$$

Как и при построении системы СГСЭ, для установления единицы силы тока нужно принять дополнительное допущение относительно величины  $\mu'_0$ . При построении системы СГСМ считали, что магнитная постоянная  $\mu'_0$  безразмерна и равна 1. В результате этого  $\epsilon'_0$  оказывалась равной  $\epsilon'_0 = c^{-2}$  и имеющей размерность  $L^{-2}T^2$ . Остальные электрические и магнитные единицы устанавливались с помощью соответствующей системы определяющих уравнений. Система СГСМ также является когерентной системой, построенной для величин с размерностями LMT. Поэтому систему СГСМ иногда называли *абсолютной электромагнитной системой* СГС.

Следует отметить, что электрические единицы системы СГСМ по своим размерам были очень неудобны и практически не использовались. Единицы магнитных величин широко применялись на практике. Ранее систему СГСМ строили на основе закона Кулона о взаимодействии «магнитных масс».

**Системы СГС  $\epsilon'_0$  (CGSe $'_0$ ), СГС  $\mu'_0$  (CGS  $\mu'_0$ ).** При построении первой системы с помощью закона Кулона абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума принималась в качестве четвертой основной единицы (т. е. считалась равной 1, но имеющей особую размерность, обозначаемую  $\epsilon'_0$ ). Система СГС $\epsilon'_0$  имела единицы, совпадающие с единицами системы СГСЭ, но размерности однородных величин в этих системах отличались, так как в формулы размерности системы СГС  $\epsilon'_0$  входила размерность четвертой основной величины. Аналогичным образом строилась и система СГС  $\mu'_0$ . В ней в качестве четвертой основной единицы вводилась единица абсолютной магнитной проницаемости вакуума  $\mu'_0$ , принимаемая равной 1, но имевшая особую размерность, обозначаемую  $\mu'_0$ . Однородные единицы в системах СГСМ и СГС $\mu'_0$  имели одинаковый размер и одинаково определялись, но размерности величин

Таблица 12. Электрические и магнитные единицы системы СГС (симметричной)

Величина		Единица	
Наименование	Размерность	Наименование или обозначение	Соотношение с единицей СИ
Электрический заряд, количество электричества	$L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}$	единица СГС <sub>Q</sub>	1 ед. СГС <sub>Q</sub> = $\frac{10}{c}$ Кл = 3,33564 × 10 <sup>-10</sup> Кл
Линейная плотность электрического заряда	$L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1}$	единица СГС <sub>τ</sub>	1 ед. СГС <sub>τ</sub> = 3,33564 · 10 <sup>-8</sup> Кл/м ≈ $\frac{1}{3} \cdot 10^{-7}$ Кл/м
Поверхностная плотность электрического заряда	$L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1}$	единица СГС <sub>σ</sub>	1 ед. СГС <sub>σ</sub> = 3,33564 · 10 <sup>-8</sup> Кл/м <sup>2</sup> ≈ $\frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$ Кл/м <sup>2</sup>
Пространственная плотность электрического заряда	$L^{-3/2} M^{3/2} T^{-1}$	единица СГС <sub>ρ</sub>	1 ед. СГС <sub>ρ</sub> = 3,33564 · 10 <sup>-4</sup> Кл/м <sup>3</sup> ≈ $\frac{1}{3} \cdot 10^{-3}$ Кл/м <sup>3</sup>
Напряженность электрического поля	$L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1}$	единица СГС <sub>E</sub>	1 ед. СГС <sub>E</sub> = 2,997825 · 10 <sup>4</sup> В/м ≈ 3 · 10 <sup>4</sup> В/м
Электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электрическое напряжение, электродвижущая сила	$L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}$	единица СГС <sub>φ</sub>	1 ед. СГС <sub>φ</sub> = 2,997825 · 10 <sup>2</sup> В ≈ 300 В.
Электрический момент диполя	$L^2 M^{1/2} T^{-1}$	единица СГС <sub>p</sub>	1 ед. СГС <sub>p</sub> = 3,33564 · 10 <sup>-12</sup> Кл · м ≈ $\frac{1}{3} \cdot 10^{-11}$ Кл · м

Поляризованность (вектор поляризации)	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	единица СГС <sub>Р</sub>	1 ед. СГС <sub>Р</sub> = 3,33564 · 10 <sup>-6</sup> Кл/м <sup>2</sup> ≈ ≈ $\frac{1}{3} \cdot 10^{-5}$ Кл/м <sup>2</sup>
Электрическое смещение (электрическая индукция)	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$	единица СГС <sub>D</sub>	1 ед. СГС <sub>D</sub> = 2,65442 · 10 <sup>-7</sup> Кл/м <sup>2</sup>
Поток электрического смещения	$L^{-\frac{3}{2}} M^{\frac{3}{2}} T^{-1}$	единица СГС <sub>ψ</sub>	1 ед. СГС <sub>ψ</sub> = 2,65442 · 10 <sup>-11</sup> Кл
Электрическая емкость	L	единица СГС <sub>C</sub>	1 ед. СГС <sub>C</sub> = 1 см = 1,11265 × × 10 <sup>-12</sup> Ф ≈ $\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ Ф
Сила тока	$L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{3}{2}} T^{-2}$	единица СГС <sub>I</sub>	1 ед. СГС <sub>I</sub> = 3,33564 · 10 <sup>-10</sup> А ≈ ≈ $\frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ А
Плотность электрического тока	$L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$	единица СГС <sub>J</sub>	1 ед. СГС <sub>J</sub> = 3,33564 · 10 <sup>-6</sup> А/м <sup>2</sup> ≈ ≈ $\frac{1}{3} \cdot 10^{-5}$ А/м <sup>2</sup>
Электрическое сопротивление	L <sup>-1</sup> T	единица СГС <sub>R</sub>	1 ед. СГС <sub>R</sub> = 8,98755 · 10 <sup>11</sup> Ом ≈ ≈ 9 · 10 <sup>11</sup> Ом
Удельное электрическое сопротивление	T	единица СГС <sub>ρ</sub>	1 ед. СГС <sub>ρ</sub> = 8,98755 · 10 <sup>9</sup> Ом · м ≈ ≈ 9 · 10 <sup>9</sup> Ом · м
Электрическая проводимость	LT <sup>-1</sup>	единица СГС <sub>G</sub>	1 ед. СГС <sub>G</sub> = 1,11265 · 10 <sup>-12</sup> См ≈ ≈ $\frac{1}{9} \cdot 10^{11}$ См
Удельная электрическая проводимость	T <sup>-1</sup>	единица СГС <sub>γ</sub>	1 ед. СГС <sub>γ</sub> = 1,11265 · 10 <sup>-10</sup> См/м ≈ ≈ $\frac{1}{9} \cdot 10^{-9}$ См/м

Величина		Единица	
Наименование	Размерность	Наименование или обозначение	Соотношение с единицей СИ
Подвижность носителей тока (ионов, электронов)	$L^2 M^{-2}$	единица $CGC_b$	1 ед. $CGC_b = 3,33564 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с}) \approx \frac{1}{3} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ 1 моль/см <sup>2</sup> = 10 <sup>6</sup> моль/м <sup>3</sup>
Ионный эквивалент концентрации	$L^3 N^{-1}$	моль на кубический сантиметр (1 моль/см <sup>3</sup> )	
Молярная электрическая проводимость	$L^3 T^{-1} N^{-1}$	единица $CGC_{Tm}$	1 ед. $CGC_{Tm} = 1,1265 \cdot 10^{-16} \text{ См} \times \text{м}^2 / \text{моль} \approx \frac{1}{9} \cdot 10^{-15} \text{ См} \cdot \text{м}^2 / \text{моль}$
Электрохимический эквивалент	$L^{-2} M^2 T$	единица $CGC_k$	1 ед. $CGC_k = 3 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$
Магнитная индукция	$L^{-2} M^2 T^{-1}$	гаусс (Гс)	1 Гс = 10 <sup>-4</sup> Тл
Магнитный поток	$L^2 M^2 T^{-1}$	максвелл (Мкс)	1 Мкс = 10 <sup>-8</sup> Вб
Магнитный момент электрического тока, магнитный момент диполя	$L^2 M^2 T^{-1}$	единица $CGC_m$	1 ед. $CGC_m = 10^{-3} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Индуктивность и взаимная индуктивность	$L$	единица $CGC_L$ (сантиметр)	1 ед. $CGC_L = 10^{-9} \text{ Гн}$
Напряженность магнитного поля	$L^{-2} M^2 T^{-1}$	эрстед (Э)	1 Э = $\frac{10^3}{4} \text{ А/м} = 79,5775 \text{ А/м}$
Магнитодвижущая сила, разность магнитных потенциалов	$L^{-2} M^2 T^{-1}$	гильберт (Гб)	1 Гб = 0,795775 А

Намагниченность (вектор намагниченности, интенсивность намагничивания)	$L^{-1} M^{-2} T^{-1}$	единица $CGM_M$	1 ед. $CGM_M = 79,5775 \text{ A/m}$
Магнитное сопротивление	$L^{-1}$	единица $CGR_M \left( \frac{Гб}{Мкс} \right)$	$1 \frac{Гб}{Мкс} = 79,5775 \cdot 10^6 \text{ A/Вб}$
Магнитная проводимость	$L$	единица $CGA_A$	1 ед. $CGA_A = 1,256637 \cdot 10^{-8} \text{ Вб/А}$
Электромагнитная энергия	$L^2 M T^{-2}$	эрг	1 эрг = $10^{-7}$ Дж
Плотность электромагнитной энергии	$L^{-1} M T^{-2}$	эрг на кубический сантиметр (эрг/см <sup>3</sup> )	1 эрг/см <sup>3</sup> = $10^{-1}$ Дж/м <sup>3</sup>

Таблица 13. Оптические и световые единицы системы СГСЛ

Величина	Размерность	Наименование	Единица		Соотношение с единицей СИ
			международное	русское	
Световой поток	J	ломен	lm	лм	По размеру совпадает с единицей СИ
Световая энергия (количество света)	TJ	ломен-секунда	lm · s	лм · с	То же
Освещенность (плотность светового потока по освещаемой поверхности)	L <sup>-2</sup> J	фот	ph	фот (лм/см <sup>2</sup> )	1 фот = 10 <sup>4</sup> лк
Светимость, или светность, плотность светового потока по излучающей поверхности, интенсивность светового потока	L <sup>-2</sup> J	радфот (люмен на квадратный сантиметр)	grh	радфот	1 радфот = 10 <sup>4</sup> лм/м <sup>2</sup>
Яркость	L <sup>-2</sup> J	стильб	sb	стильб	1 стильб = 10 <sup>4</sup> кд/м <sup>2</sup>
Световая экспозиция, количество освещения (плотность световой энергии по освещенной поверхности)	L <sup>-2</sup> TJ	фот в секунду	ph · s	фот · с	1 фот · с = 10 <sup>4</sup> лк · с

Величина		Единица			Соотношение с единицей СИ
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		
			международное	русское	
Спектральная световая эффективность Яркость ламбертова источника	$L^{-2}M^{-1}T^3J$	люмен-секунда на эрг	lm · s/erg	лм · с/эрг	$1 \text{ лм} \cdot \text{с/эрг} = 10^7 \text{ лм/Вт}$
	$L^{-2}J$	ламберт	la	ламберт	$1 \text{ ламберт} = 1/\pi \text{ стильб} = 0,318 \text{ стильб} = 0,318 \cdot 10^4 \text{ кд/м}^2$
Энергия излучения	$L^2MT^{-2}$	эрг	erg	эрг	$1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$
Поток излучения	$L^2MT^{-3}$	эрг в секунду	erg/s	эрг/с	$1 \text{ эрг/с} = 10^{-7} \text{ Вт}$
Энергетическая освещенность (облученность)	$MT^{-3}$	эрг в секунду на квадратный сантиметр	erg/(cm <sup>2</sup> · s)	эрг/(см <sup>2</sup> · с)	$1 \text{ эрг/(см}^2 \cdot \text{с)} = 10^{-9} \cdot \text{Вт/м}^2$
Энергетическая светимость (излучательность)	$MT^{-2}$	эрг на квадратный сантиметр	erg/cm <sup>2</sup>	эрг/см <sup>2</sup>	$1 \text{ эрг/см}^2 = 10^{-8} \text{ Дж/м}^2$
Энергетическая экспозиция (экспозиция)	$L^2MT^{-3}$	эрг в секунду на стерадиан	erg/(s · sr)	эрг/(с · ср)	$1 \text{ эрг/(с} \cdot \text{ср)} = 10^{-7} \text{ Вт/ср}$
Сила излучения	$MT^{-3}$	эрг в секунду на стерадиан-квадратный сантиметр	erg/(s · sr · cm <sup>2</sup> )	эрг/(с · ср · см <sup>2</sup> )	$1 \text{ эрг/(см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ср)} = 10^{-9} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср)}$
Энергетическая яркость	$L^{-1}MT^{-3}$	эрг на кубический сантиметр	erg/cm <sup>3</sup>	эрг/см <sup>3</sup>	$1 \text{ эрг/см}^3 = 10^{-1} \text{ Дж/м}^3$
Объемная плотность энергии излучения	$L^{-1}MT^{-3}$	эрг на кубический сантиметр	erg/cm <sup>3</sup>	эрг/см <sup>3</sup>	$1 \text{ эрг/см}^3 = 10^{-1} \text{ Дж/м}^3$

Спектральная плотность энергетической светимости по длине волны	$L^{-1}MT^{-3}$	эрг в секунду на кубический сантиметр	$erg/(s \cdot cm^3)$	$эрг/(с \cdot см^3)$	$1 \text{ эрг}/(с \cdot см^3) = 0,1 \text{ Вт}/м^3$
Спектральная плотность энергетической освещенности по длине волны	$MT^{-2}$	эрг на квадратный сантиметр	$erg/cm^2$	$эрг/см^2$	$1 \text{ эрг}/см^2 = 10^{-3} \text{ Дж}/м^2$
Спектральная плотность энергетической светимости по частоте	$LMT^{-3}$	эрг в секунду на сантиметр-стерадиан	$erg/(s \cdot cm \cdot sr)$	$эрг/(с \cdot см \cdot ср)$	$1 \text{ эрг}(с \cdot см \cdot ср) = 10^{-6} \text{ Вт}/(м \cdot ср)$
Спектральная плотность энергетической силы света по частоте	$L^2MT^{-2}$	эрг на стерадиан	$erg/sr$	$эрг/ср$	$1 \text{ эрг}/ср = 10^{-2} \text{ Дж}/ср$
Спектральная плотность энергетической яркости по длине волны	$L^{-1}MT^{-3}$	эрг в секунду на стерадиан-сантиметр в кубе	$erg/(s \cdot sr \cdot cm^3)$	$эрг/(с \cdot ср \cdot см^3)$	$1 \text{ эрг}(с \cdot ср \cdot см^3) = 0,1 \text{ Вт}/(ср \cdot м^3)$
Спектральная плотность энергетической яркости по частоте	$MT^{-2}$	эрг на стерадиан-квадратный сантиметр	$erg/(sr \cdot cm^2)$	$эрг/(ср \cdot см^2)$	$1 \text{ эрг}/(ср \cdot см^2) = 10^{-3} \text{ Дж}/(ср \cdot м^2)$
Оптическая сила линзы	$L^{-1}$	сантиметр в минус степени	$cm^{-1}$	$см^{-1}$	$1 \text{ см}^{-1} = 10^2 \text{ м}^{-1} = 10^8 \text{ дп}$
Линейный показатель поглощения	$L^{-1}$	сантиметр в минус первой степени	$cm^{-1}$	$см^{-1}$	$1 \text{ см}^{-1} = 10^2 \text{ м}^{-1}$
Дисперсия показателя преломления	$L^{-1}$	сантиметр в минус первой степени	$cm^{-1}$	$см^{-1}$	$1 \text{ см}^{-1} = 10^2 \text{ м}^{-1}$

отличались тем, что в формулы размерности величин системы СГС  $\mu_0$  входила в той или иной степени размерность четвертой основной величины — абсолютной магнитной проницаемости вакуума.

**Системы СГСФ и СГСБ.** В системе СГСФ в качестве четвертой основной единицы была принята единица электрического заряда ф р а н к л и н, определяемая как точечный заряд, который взаимодействует с таким же зарядом, расположенным на расстоянии 1 см в вакууме с силой в 1 дин.

В системе СГСБ в качестве четвертой основной единицы была принята единица силы тока б и о, равная силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум прямолинейным параллельным проводникам бесконечной длины и бесконечно малой площади сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 см один от другого, вызывал бы на участке проводника длиной 1 см силу взаимодействия, равную 2 дин.

**Система СГС (симметричная, система Гаусса).** ГОСТ 8033—56 допускал применение единиц системы СГС для электрических и магнитных величин. Определяющие уравнения этих величин, соответствующие системе СГС, записывались в нерационализованной форме. Эта система единиц по существу представляла собой комбинацию систем СГСЭ и СГСМ и иногда называлась *симметричной*, или *системой Гаусса*.

В качестве электрических единиц использовались единицы системы СГСЭ, а в качестве магнитных единиц применялись единицы СГСМ. Это обусловлено тем, что при построении симметричной системы одновременно полагали  $\epsilon_0$  и  $\mu_0$  безразмерными величинами, равными 1. Наложение этих двух условий привело к тому, что симметричная система оказалась некогерентной системой. Симметричной системе СГС присущи недостатки, свойственные системам СГСЭ и СГСМ: 1) размерности многих, электрических и магнитных величин имеют дробные показатели степени; 2) размерности многих разнородных величин оказываются одинаковыми; 3) большинство электрических единиц неудобны для практических целей — либо очень велики, либо очень малы.

В симметричной системе СГС специальные наименования были даны только некоторым магнитным единицам, большинство же единиц не имело специальных наименований и обозначений. Обычно их называли единицами СГС, например, единицу напряженности СГС на русском языке сокращенно записывали «ед. СГС» с соответствующим индексом справа внизу от символа СГС, например, «ед. СГС<sub>E</sub>».

В табл. 12 приведены электрические и магнитные единицы симметричной системы СГС, даны их соотношения с соответствующими единицами СИ.

#### 4.2.5. Система оптических и световых единиц СГСЛ (CGSL)

Система СГСЛ в Советском Союзе применялась главным образом с 1948 по 1956 г. и была построена на использовании в качестве основных единиц: длины — сантиметра, массы — грамма, времени — секунды и светового потока — люмена.

В табл. 13 приведены единицы системы СГСЛ и их соотношения с единицами СИ.

Единицы безразмерных оптических величин (показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент пропускания и др.) выражаются в тех же единицах, что и в СИ, и поэтому они в данной таблице не приведены.

#### 4.2.6. Системы единиц СГС в области ионизирующих излучений

На базе основных единиц системы СГС были образованы две системы единиц в области ионизирующих излучений: энергетическая система единиц СГС и система единиц ионизирующих излучений и радиоактивности СГСП (CGSR), в которой наряду с сантиметром, граммом и секундой в качестве основной единицы использовался рентген. Последняя система не нашла широкого распространения в дозиметрии и других разделах физики.

Важнейшие производные единицы энергетической системы СГС для ионизирующих излучений приведены в табл. 14. Там же даны их соотношения с аналогичными единицами СИ.

### 4.3. Практическая система международных электрических единиц

Первый международный электротехнический конгресс в 1881 г. не только принял систему СГС и установил ее применение для электрических и магнитных измерений, но и принял так называемую *абсолютную практическую систему единиц*, удобную для технических измерений. Эта система представляла собой совокупность единиц для электрических измерений, построенную на единицах системы СГСМ (электромагнитной), путем умножения их на соответствующие степени числа 10.

К единицам этой системы относятся следующие:

- ом — единица сопротивления, равная  $10^9$  ед. СГСМ<sub>R</sub>
- вольт — единица электродвижущей силы, равная  $10^8$  ед. СГСМ<sub>E</sub>
- ампер — единица силы тока, равная 0,1 ед. СГСМ<sub>I</sub>
- фарад — единица электрической емкости, равная  $10^9$  ед. СГСМ<sub>C</sub>

В последующем были установлены практические единицы:

- джоуль — единица работы и энергии, равная  $10^7$  ед. СГСМ<sub>A</sub>
- ватт — единица мощности, равная  $10^7$  ед. СГСМ<sub>N</sub>
- генри — единица индуктивности, равная  $10^9$  ед. СГСМ<sub>L</sub>
- вебер — единица магнитного потока, равная  $10^8$  Мкс
- тесла — единица магнитной индукции, равная  $10^4$  Гс и др.

Таблица 14. Единицы ионизирующих излучений системы СГС

Величина		Единица			Соотношение с единицей СИ
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение международное	русское	
Энергия ионизирующего излучения	$L^2MT^{-2}$	эрг	erg	эрг	$1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$
Поток энергии ионизирующего излучения (мощность ионизирующих излучений)	$L^2MT^{-3}$	эрг в секунду	erg/s	эрг/с	$1 \text{ эрг/с} = 10^{-7} \text{ Вт}$
Доза излучения (поглощенная доза излучения)	$L^2T^{-2}$	эрг на грамм	erg/g	эрг/г	$1 \text{ эрг/г} = 10^{-4} \text{ Гр}$
Эквивалентная доза излучения	$L^2T^{-2}$	эрг на грамм	erg/g	эрг/г	$1 \text{ эрг/г} = 10^{-4} \text{ Зв}$
Керма	$L^2T^{-2}$	эрг на грамм	erg/g	эрг/г	$1 \text{ эрг/г} = 10^{-4} \text{ Дж/кг} = 10^{-4} \text{ Гр}$
Мощность дозы излучения (мощность поглощенной дозы излучения)	$L^2T^{-3}$	эрг в секунду на грамм	erg/(g · s)	эрг/(г · с)	$1 \text{ эрг/(г · с)} = 10^{-4} \text{ Гр/с}$
Мощность эквивалентной дозы излучения	$L^2T^{-3}$	эрг в секунду на грамм	erg/(g · s)	эрг/(г · с)	$1 \text{ эрг/(г · с)} = 10^{-4} \text{ Зв/с}$
Мощность кермы	$L^2T^{-3}$	эрг в секунду на грамм	erg/(g · s)	эрг/(г · с)	$1 \text{ эрг/(г · с)} = 10^4 \text{ Гр/с}$

Экспозиционная доза фотонного излучения (экспозиционная доза гамма- и рентгеновского излучения)	$\frac{3}{L^2} M^{-\frac{1}{2}} T^{-1}$	единица $CGC_Q$ на грамм	—	ед. $CGC_Q/g$	1 ед. $CGC_Q/g = 3,335\ 63 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/кг}$
Интенсивность излучения (облученность)	$MT^{-3}$	эрг в секунду на квадратный сантиметр	$\text{erg}/(s \cdot \text{cm}^2)$	$\text{эрг}/(с \cdot \text{см}^2)$	1 $\text{эрг}/(с \cdot \text{см}^2) = 10^{-8} \text{ Вт/м}^2$
Активность нуклида в радиоактивном источнике (активность изотопа)	$T^{-1}$	секунда в минус первой степени	$s^{-1}$	$s^{-1}$	Совпадает с единицей СИ
Мощность экспозиционной дозы фотонного излучения	$\frac{3}{L^2} M^{-\frac{1}{2}} T^{-2}$	единица $CGC_I$ на грамм	—	ед. $CGC_I/g$	1 ед. $CGC_I/g = 3,335\ 63 \cdot 10^{-7} \text{ А/кг}$
Поток ионизирующих частиц или фотонов	$T^{-1}$	секунда в минус первой степени	$s^{-1}$	$s^{-1}$	Совпадает с единицей СИ
Плотность потока ионизирующих частиц или фотонов	$L^{-2} T^{-1}$	секунда в минус первой степени, сантиметр в минус второй степени	$s^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$	$s^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$	1 $s^{-1} \cdot \text{см}^{-2} = 10^4 \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$

Эта совокупность единиц была названа Практической системой международных электрических единиц. Очевидно, что она не является системой единиц в современном смысле этого понятия. Тем не менее введение этих единиц сыграло большую роль в метрологии. Они вошли в состав единиц системы МКСА, принятой в середине XX в. Международной электротехнической комиссией (МЭК), а затем и в СИ.

При создании эталонов практической системы электрических единиц возникли серьезные трудности, обусловленные тем, что состояние экспериментальной техники того времени не позволяло обеспечить им необходимую точность. Это привело к тому, что в 1893 г. на Международном конгрессе электриков в Чикаго была установлена практическая система *международных электрических единиц*, которая в отличие от абсолютных практических электрических единиц базировалась не на теоретически определяемых единицах, а на соответствующим образом изготовленных эталонах. Основными электрическими единицами практической системы международных электрических единиц конгресс выбрал международные — ом, ампер и вольт. Международный ом определялся по ртутному эталону, международный ампер — с помощью серебряного вольтметра, а международный вольт — с помощью нормального элемента (Кларка или Вестона). Остальные международные электрические единицы определялись как производные от основных единиц.

На международной конференции электриков в Лондоне (1908 г.) работа по созданию этой системы единиц была завершена. Были четко разграничены единицы абсолютной практической системы и практической системы международных электрических единиц. На этой конференции в качестве основных были приняты две единицы: международный ом и международный ампер.

Международный ом — сопротивление, которым обладает столб ртути длиной 106,300 см и массой 14,4521 г постоянного поперечного сечения при прохождении неизменяющегося тока при температуре тающего льда.

Международный ампер — неизменяющийся ток, который, проходя через водный раствор азотнокислого серебра, выделяет 0,00111800 г серебра в 1 с.

Практическая система международных электрических единиц широко применялась во всем мире с 1893 по 1948 г., и поэтому эти единицы часто встречаются в научно-технической литературе того периода.

В Советском Союзе эта система единиц была официально введена общесоюзным стандартом ОСТ 515 «Международные электрические единицы» в 1929 г.

Перевод международных электрических единиц в единицы СИ производится с помощью следующих соотношений:

1 международный ампер	= 0,999 85 А
1 международный кулон	= 0,999 85 Кл
1 международный вольт	= 1,000 35 В
1 международный ом	= 1,000 50 Ом
1 международный фарад	= 0,999 50 Ф
1 международный вебер	= 1,000 35 Вб
1 международный генри	= 1,000 50 Гн
1 международный джоуль	= 1,000 20 Дж
1 международный ватт	= 1,000 20 Вт

В тех случаях, когда необходимо отличать международные единицы от одноименных абсолютных практических единиц, было принято предложение к наименованиям единиц прибавлять слово «абсолютный» (abs., abs.) или «международный» (межд., int).

При сравнении эталонов международных электрических единиц разных стран размеры единиц, воспроизводимых с помощью этих эталонов, отличались, поэтому были установлены средние значения международных электрических единиц. В Советском Союзе для связи между средними значениями международных единиц и ранее применявшихся рекомендовалось использовать следующие соотношения:

1 международный ом СССР	= 1,000010 ома межд. (среднего)
1 международный вольт СССР	= 1,0000075 вольта межд. (среднего)

Развитие измерительной техники привело к реальной возможности изготовления эталонов единиц, очень близких к теоретически определенным. Вместе с тем некоторые различия эталонов международных единиц, изготовленных в различных странах, начало вызывать серьезные затруднения, например при сопоставлении результатов однотипных измерений. Было высказано предложение об осуществлении обратного перехода от международных электрических единиц к абсолютным практическим единицам.

Это предложение было официально поддержано Восьмой Генеральной конференцией по мерам и весам. Решением Международного комитета мер и весов Практическая система международных электрических единиц была отменена с 1 января 1948 г. В соответствии с этим решением был совершен переход на абсолютные практические электрические единицы.

## 4.4. Системы МКС

### 4.4.1. Система механических единиц МКС

Система механических величин МКС была предложена итальянским ученым Джорджи (сначала в 1901 г., а затем в 1934 г.). Основными единицами этой системы являются: единица длины — метр, единица массы — килограмм, единица времени — секунда. Таким образом, система МКС характеризуется системой размерностей ве-

личин типа LMT. Одним из важных достоинств системы МКС является то, что она включает в себя большинство широко применяющихся единиц физических величин для тепловых, электрических, магнитных, оптических и других областей измерений. В связи с этим в 1946 г. Международный комитет мер и весов, а в 1948 г. Международный союз чистой и прикладной физики решили установить систему, предложенную Джорджи в качестве основы для разработки и принятия международной системы единиц. X Генеральная конференция по мерам и весам в 1954 г. рекомендовала систему МКС в качестве такой основы и предложила строить системы единиц по отдельным областям физических явлений путем добавления к основным единицам системы МКС еще одной, специфичной для данной области.

В Советском Союзе система МКС была принята ГОСТ 7664—55 «Механические единицы», который впоследствии был заменен ГОСТ 7664—61. Система МКС является составной частью СИ. Поэтому единицы системы МКС по существу совпадают с единицами СИ. Незначительные отличия связаны с тем, что в процессе разработки и совершенствования СИ были изменены наименования некоторых единиц и их обозначения. В связи с этим в данном справочнике сведения об этой системе единиц приведены при рассмотрении единиц СИ.

#### **4.4.2. Акустические единицы системы МКС**

Акустические единицы системы МКС были установлены ГОСТ 8849—58 «Акустические единицы». Они по существу являются составной частью СИ и поэтому рассматриваются в разделе, посвященном СИ.

#### **4.4.3. Система тепловых единиц МКСТ**

МКСТ представляет собой взаимосвязанную систему единиц тепловых величин с основными единицами метр, килограмм, секунда и кельвин (ранее градус Кельвина).

Система МКСТ (как и все системы МКС, построенные для специфических областей применения) — когерентная система, что является ее важным достоинством. Эта система базируется на системе величин с размерностями LMT $\theta$  ( $\theta$  — размерность температуры).

В Советском Союзе система МКСТ была принята ГОСТ 8550—57 «Тепловые единицы», который впоследствии был заменен ГОСТ 8850—61. Следует заметить, что в этих стандартах четвертая основная единица — единица термодинамической температуры — именовалась градусом Кельвина. Система МКСТ является составной частью СИ в области тепловых измерений, поэтому единицы этой системы подробно рассматриваются в разделе, посвященном СИ.

#### 4.4.4. Система единиц для электрических и магнитных величин МКСА. Рационализация уравнений электромагнетизма

Система единиц для электрических и магнитных величин МКСА построена с помощью системы определяющих уравнений на базе трех основных механических единиц системы МКСА — метра, килограмма и секунды с добавлением четвертой основной единицы ампера, специфичной для области электрических и магнитных явлений. Кроме того, в этой системе для выражения электрических и магнитных величин применяются такие широко распространенные единицы абсолютной практической системы, как ом, вольт, кулон, фарад, вебер, генри и др. Органическая взаимосвязь между механическими, электрическими и магнитными единицами, удачно реализованная в системе МКСА путем использования соотношения (4.10) для введения единицы силы тока, делает ее абсолютной (в гауссовом понимании этого термина) и когерентной. Ввиду того что сила тока приписывается самостоятельная размерность (обозначаемая буквой  $I$ ), система МКСА оказывается основанной на системе величин с размерностями LMTI.

Возможность создания когерентной системы механических и электрических единиц на основе системы МКС путем добавления к основным механическим единицам одной электрической единицы, выбранной из числа международных электрических единиц Практической системы, впервые была обоснована Джорджи. Поэтому не случайно, что Международной электротехнической комиссией системе МКСА присвоено и второе наименование — система Джорджи. Однако система, предложенная Джорджи, первоначально использовалась при записи уравнений электромагнетизма (как и в системах СГС) в нерационализованной форме. Система же МКСА применялась только для рационализованной формы уравнений электромагнетизма.

Под рационализацией уравнений электромагнетизма подразумевается такое видоизменение их форм, при котором наиболее часто используемые уравнения освобождаются от иррационального множителя  $4\pi$ , и запись этих уравнений значительно упрощается. Рационализация уравнений особенно важна в электротехнике и радиотехнике, ибо она существенно облегчает проведение расчетов. Один из первых вариантов рационализации уравнений электромагнетизма, связанный с введением в знаменатель формулы, выражающей закон Кулона для взаимодействия точных электрических зарядов множителя  $4\pi$ , был предложен О. Хевисайдом. Вместе с тем различными исследователями были предложены другие способы рационализации уравнений электромагнетизма. После многочисленных дискуссий по вопросам рационализации уравнений электромагнетизма и выбора соответствующих единиц электрических и магнитных величин метрологи пришли к соглашению о том, что рационализация уравнений электромагнетизма не должна сопровождаться нарушением когерентности системы, изменением фи-

вического смысла электрических и магнитных величин, а размер важнейших единиц должен оставаться неизменным. Из двух основных путей рационализации уравнений электромагнетизма — рационализация величин и рационализация их единиц — был выбран второй.

Таким образом, при рационализации уравнений электромагнетизма необходимо, не нарушая упомянутых условий, выбрать размеры единиц такими, чтобы в наиболее распространенных уравнениях электромагнетизма устранялся множитель  $4\pi$ . Такими рационализованными единицами являются единицы системы МКСА. Их рационализация реализована главным образом путем уменьшения единицы абсолютной магнитной проницаемости в  $4\pi$  раз и увеличения единицы абсолютной диэлектрической проницаемости в  $4\pi$  раз по сравнению с соответствующими единицами нерационализованной системы. Такое изменение единиц приводит к соответствующему изменению числовых значений абсолютных диэлектрической и магнитной проницаемостей среды. В частности, новое значение абсолютной диэлектрической проницаемости вакуума  $\epsilon_0$  оказывается связанным с прежним  $\epsilon'_0$  следующим образом:  $\epsilon_0 = \epsilon'_0/4\pi$  (4.11), а новое значение магнитной проницаемости вакуума  $\mu_0$  выражается через прежнее значение  $\mu'_0$  с помощью соотношения  $\mu_0 = 4\pi\mu'_0$  (4.12). Величины  $\epsilon_0$ ,  $\mu_0$  являются константами, получившими специальные наименования. Величина  $\epsilon_0$  называется *электрической постоянной*,  $\mu_0$  — *магнитной постоянной*. Электрическая и магнитная постоянные связаны с электродинамической постоянной  $c_0$  (скоростью распространения электромагнитных волн в вакууме) с помощью соотношения  $c_0 = (\epsilon_0\mu_0)^{-1/2}$  (4.13). Заметим, что в соответствии со смыслом уравнений (4.3), (4.7) относительная диэлектрическая  $\epsilon_r$  и относительная магнитная  $\mu_r$  проницаемости среды при рационализации единиц абсолютной диэлектрической и абсолютной магнитной проницаемостей среды не изменяются и сохраняют такие же значения, как и в системах СГС, зависящие только от электрических и магнитных свойств среды.

В табл. 29 Приложения представлены важнейшие уравнения электромагнетизма, записанные в рационализованной и нерационализованной формах. Из анализа этих уравнений видно, что исключение множителя  $4\pi$  из одних уравнений приводит к его появлению в других. Но при этом, как правило, усложняется запись тех уравнений, которые на практике применяются реже и, кроме того (в чем также проявляется преимущество системы МКСА перед другими системами), появление иррационального множителя находит простое логическое и физическое объяснение. Например, наличие множителя  $4\pi$  в формулах для напряженности ( $E = Q/4\pi\epsilon_r\epsilon_0r^2$ ) и потенциала ( $V = Q/4\pi\epsilon_r\epsilon_0r$ ) электрического поля точечного заряда, а также электрической емкости шара ( $C = 4\pi\epsilon_r\epsilon_0r$ ), записанных в рационализованной форме, объясняется тем, что этим характеристикам объективно присуща сферическая симметрия.

Наличие же множителя  $4\pi$  в нерационализованных уравнениях

не имеет логически простого объяснения. Например, совершенно непонятно наличие коэффициента  $4\pi$  в формуле электрической емкости плоского конденсатора, записанной в нерационализованной форме ( $C = \epsilon_r \epsilon_0 S/4\pi d$ ), так как плоский конденсатор сферической симметрией не обладает.

Рационализация системы МКСА привела к весьма существенным теоретическим и практическим упрощениям, оставив ее абсолютной, когерентной и очень удобной для выражения большинства обычных электрических и магнитных величин. Это привело к широкому признанию и применению системы МКСА.

В Советском Союзе система МКСА была принята ГОСТ 8033—56 «Электрические и магнитные единицы».

В 1961 г. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР (с 5 июля 1978 г. Государственный комитет СССР по стандартам) принял дополнение к этому стандарту, которым были введены единицы реактивной мощности (вар), полной мощности (вольт-ампер) и единица электрической проводимости (сименс). Единице магнитной индукции (вебер на квадратный метр) было присвоено наименование «тесла» в честь югославского физика Н. Тесла.

Система МКСА является составной частью СИ, применяемой для измерения электрических и магнитных величин. Поэтому в данном справочнике единицы этой системы и особенности их практического применения подробно рассматриваются в разделах, посвященных СИ (см. подразд. 2.5, 3.5).

#### **4.4.5. Системы единиц для световых величин МКСС и МКСЛМ**

МКСС представляет собой систему световых единиц со следующими основными единицами: метр (единица длины), килограмм (единица массы), секунда (единица времени) и свеча (единица силы света, которая в СССР с 1970 г. называется канделой). Эта система когерентна и построена на системе величин типа LMTJ, в которой J соответствует размерности силы света.

Система МКСС была принята в СССР ГОСТ 7932—56 «Световые единицы» взамен ОСТ 4891 1932 г. Она является составной частью СИ, предназначенной для световых измерений, и поэтому единицы этой системы подробно рассмотрены в данном справочнике в соответствующих разделах, посвященных оптическим единицам СИ.

До введения системы МКСС в СССР действовала другая система световых единиц МКСЛМ, которая была установлена «Положением о световых единицах» 1948 г. Основные единицы системы МКСЛМ — метр, килограмм, секунда и люмен. Размерности величин этой системы совпадают с размерностями физических величин в системе СГСЛ.

До введения ГОСТ 7932—56 в нашей стране использовались световые единицы, основанные на другом эталоне свечи, поэтому в приложении к стандарту указывалось, что для перевода ранее

применявшихся световых единиц по ОСТ 4891 в аналогичные единицы, устанавливаемые этим стандартом, нужно использовать следующие соотношения:

- 1 свеча (международная) = 1,005 свечи (новой)
- 1 люмен (прежний) = 1,005 люмена (нового)
- 1 радлюкс (прежний) = 1,005 единицы светности (новой)
- 1 децимиллительб (прежний) = 1,005 нита
- 1 люкс (прежний) = 1,005 люкса (нового)

Прилагательные «прежний», «международный» и «новый» рекомендовалось применять только тогда, когда нужно было отличить единицы, принятые по ГОСТ 7932—56 «Световые единицы», от единиц ОСТ 4891 при условии, если точность измерений превышает 0,5 %.

Для того чтобы в максимальной степени устранить влияние субъективных факторов при выполнении фотометрических измерений, стандартом рекомендовалось переход от света одного спектрального состава к свету другого производить на основании установленных значений относительной видности.

#### **4.4.6. Единицы радиоактивности и ионизирующих излучений системы МКС**

Названные единицы были описаны в ГОСТ 8848—63 «Единицы радиоактивности и ионизирующих излучений», который заменил ГОСТ 8848—58 «Единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности». Пересмотр и замена последнего были вызваны введением с 1 января 1963 г. ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц».

Единицы, установленные ГОСТ 8848—63 «Единицы радиоактивности и ионизирующих излучений», вошли в состав единиц СИ для единиц величин в области ионизирующих излучений, поэтому они в данном справочнике рассматриваются в соответствующих разделах, посвященных рассмотрению единиц СИ.

### **4.5. Промышленная система единиц МТС**

Система механических единиц МТС была построена на базе системы механических величин с размерностями MLT. В качестве основных единиц этой системы были выбраны единица длины — метр, единица массы — тонна и единица времени — секунда.

Впервые система МТС была официально принята во Франции в 1919 г. В СССР система МТС была принята в 1927 г. первым общесоюзным стандартом на единицы — ОСТ-169 «Абсолютная система механических единиц (MTS) и подтверждена стандартами на единицы 1932—1934 гг. Ее применение в СССР отменено в 1955 г. в связи с введением ГОСТ 7664—55 «Механические единицы».

## 4.6. Система механических единиц МКГСС

Система единиц МКГСС (иногда ее также называли Технической системой) построена исходя из системы, в которой основными величинами являются длина, сила и время, имеющие размерности LFT.

В соответствии с этим основными единицами системы МКГСС являются метр (единица длины), килограмм-сила (единица силы) и секунда (единица времени).

В Советском Союзе система МКГСС (название которой образовано с помощью названий основных единиц) была допущена ОСТ ВКС 6052 «Механические единицы» с 1932 г., а впоследствии подтверждена ГОСТ 7664—55 и ГОСТ 7664—61.

В последнем стандарте единица сил определена следующим образом: «Килограмм-сила — сила сообщающая массе, равной массе международного прототипа килограмма, ускорение, равное  $9,80665 \text{ м/сек}^2$ » («сек» — отмененное в настоящее время обозначение секунды). В некоторых странах (Австрия, ГДР, ФРГ) килограмм-сила называется килопондом (кр).

Производные единицы в системе МКГСС строятся с помощью системы определяющих уравнений, взятых из классической механики. Например, второй закон Ньютона был выбран в качестве определяющего уравнения для образования единицы массы, которая в этой системе была производной. Из второго закона Ньютона

следует, что масса  $m = \frac{1}{k} \frac{F}{a}$  (4.14), где  $F$  — сила;  $k$  — коэффициент пропорциональности;  $a$  — ускорение. Считая  $k = 1$  и полагая  $[F] = 1 \text{ кгс}$ ,  $[a] = 1 \text{ м/с}^2$ , для единицы массы в системе МКГСС получаем соотношение 1 единица массы в системе МКГСС  $= \frac{1 \text{ кгс} \cdot 1 \text{ с}^2}{1 \text{ м}} =$

$= 1 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}$ . Иногда эту единицу называли технической единицей массы (т. е. м.). Некоторые авторы применяли ее с особым наименованием «инерта» (и). Но стандартами ни одно из этих наименований не было утверждено.

Из-за специфичности выбора основной единицы — единицы силы — система МКГСС имела ограниченную область применения, она фактически использовалась только для технических измерений в механике. Для использования в других областях измерений она непригодна.

Ограниченность области применений системы МКГСС обусловлена присущими ей серьезными недостатками. В первую очередь эти недостатки связаны с тем, что воспроизведение основной единицы — единицы силы — с помощью эталона во много раз менее точно воспроизведения единицы массы. Это вызвано зависимостью веса от широты места и высоты над уровнем моря. Вторым важным недостатком является то, что многие ее единицы не имеют простой десятичной связи с единицами систем, в которых одной из основных выбрана единица массы. Это вызвано тем, что нормальное ускорение свободного падения  $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ , а поэтому  $1 \text{ кгс} =$

Таблица 15. Механические единицы системы МКГСС

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ
			международное	русское	
Длина Сила	L F	Основные единицы			
		метр килограмм-сила	m kgf (kG)	м кгс (допускалось кГ)	Совпадает 1 кгс = = 9,80665 Н
Время	T	секунда	s	с (ранее — сек)	Совпадает с единицей СИ
Важнейшие производные единицы					
Масса	$L^{-1}FT^2$	килограмм-сила-секунда в квадрате на метр	kgf · s <sup>2</sup> /m	кгс · с <sup>2</sup> /м	1 кгс · с <sup>2</sup> /м = = 9,80665 кг
Удельный вес	$L^{-3}F$	килограмм-сила на кубический метр	kgf/m <sup>3</sup>	кгс/м <sup>3</sup>	1 кгс/м <sup>3</sup> = = 9,80665 Н/м <sup>3</sup>
Плотность	$L^{-4}FT^2$	килограмм-сила-секунда в квадрате на метр в четвертой степени	kgf · s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	кгс · с <sup>2</sup> /м <sup>4</sup>	1 кгс · с <sup>2</sup> /м <sup>4</sup> = = 9,80665 кг/м <sup>3</sup>
Момент инерции (динамический)	$LFT^2$	килограмм-сила-метр-секунда в квадрате	kgf · m · s <sup>2</sup>	кгс · м · с <sup>2</sup>	1 кгс · м · с <sup>2</sup> = = 9,80665 кг · м <sup>2</sup>
Работа и энергия	LF	килограмм-сила-метр (допускалось килограммо-метр)	kgf · m (допускалось kG · m)	кгс · м (допускалось кГм)	1 кгс · м = = 9,80665 Дж
Мощность	$LFT^{-1}$	килограмм-сила-метр в секунду (килограммометр в секунду)	kgf · m/s (kG · m/s)	кгс · м/с (кГ · м/с)	1 кгс · м/с = = 9,80665 Вт
Напряжение (давление)	$L^{-2}F$	килограмм-сила на квадратный метр	kgf/m <sup>2</sup>	кгс/м <sup>2</sup>	1 кгс/м <sup>2</sup> = = 9,80665 Па
Динамическая вязкость	$L^{-2}FT$	килограмм-сила-секунда на квадратный метр	kgf · s/m <sup>2</sup>	кгс · с/м <sup>2</sup>	1 кгс · с/м <sup>2</sup> = = 9,80665 Па · с

= 9,80665 Н. Существенным недостатком системы МКГСС является и то, что механические единицы этой системы не согласованы с единицами акустических, тепловых, электрических, магнитных и оптических величин.

Следует иметь в виду, что часто наименование единицы силы в системе МКГСС искажают, употребляя вместо наименования «килограмм-сила» наименование «килограмм», которое является наименованием единицы массы в системе МКС. В практике измерений это приводит к серьезным недоразумениям.

Недостатки системы МКГСС, несмотря на ее широкое применение в технике, побудили международные метрологические организации принять рекомендацию о замене этой системы системой МКС. В табл. 15 приведены механические единицы системы МКГСС и их обозначения в соответствии с ГОСТ 7664—61, даны размерность, наименование, а также соотношения с единицами СИ. Производные единицы, образованные с помощью метра и секунды в этой системе, совпадают с аналогичными единицами СИ и поэтому в таблице не приведены. Другие производные единицы системы МКГСС, не включенные в табл. 15, могут быть установлены по описанным выше правилам с помощью соответствующих определяющих уравнений.

#### **4.7. Тепловые единицы, основанные на калории**

В практике теплофизических измерений до принятия СИ широко применялись тепловые единицы, основанные на внесистемной единице количества теплоты — калории (или килокалории). Введение этих единиц исторически объяснялось тем, что до установления закона об эквивалентности теплоты и работы не было ясно, что количество теплоты, как и работа, представляет собой физическую величину, определяемую количеством энергии.

Из-за существования различных калорий, отличающихся по своим размерам друг от друга, в 1956 г. V Международной конференцией по свойствам водяного пара на основе соотношения между калорией и электрической энергией  $1 \text{ кал} = 1/859,845 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$  предложено определять калорию (международную) как количество теплоты, равное 4,1868 Дж. Это согласуется с представлением об эквивалентности теплоты и работы, вытекающим из первого начала термодинамики. ГОСТ 8550—61, введенный в действие с 1-го июля 1961 г., включал в себя это определение калории. В стандарте указывалось, что тепловые единицы, основанные на калории, допускались к применению временно. Рекомендовалось, где это возможно, применять тепловые единицы системы МКСГ.

В соответствии с ГОСТ 8.417—81 в настоящее время применение единицы количества теплоты калории запрещено.

В стандарте ГОСТ 8550—61 также было отмечено, что единицы величин, отнесенных к количеству вещества, как в системе МКСГ,

так и в случае применения внесистемных тепловых единиц, основанных на калории, образуются из соответствующих единиц величин, отнесенных к массе, заменой в знаменателе единиц грамма на моль и килограмма на киломоль. Например, единицы удельной теплоты фазового перехода кал/г или ккал/кг заменялись соответственно на кал/моль и ккал/кмоль.

В табл. 30 Приложения приведены важнейшие внесистемные тепловые единицы, основанные на калории (ГОСТ 8550—61), и даны их соотношения с единицами СИ.

#### **4.8. Британская система единиц. Система фут — фунт — секунда и другие неметрические единицы, применяемые в англоязычных странах**

Британская система единиц, применяемая в англоязычных странах (Англия, США, Австралия, Канада), базируется на двух основных единицах — ядре (единице длины) и фунте (единице массы), которые определяются по эталонам, установленным английским положением о мерах и весах 1878 г. В качестве единицы времени используется секунда.

В отличие от Метрической системы мер кратные и дольные единицы от этих основных единиц образуются не в соответствии с десятичной системой счёта, а более сложным путем. Например, при образовании британской системы единиц фунт выбирают равным  $\frac{1}{3}$  ядра, а дюйм —  $\frac{1}{12}$  фута. В то же время английская морская миля принимается равной 6080 футам. Некоторые распространенные единицы объема устанавливаются независимо от единиц длины. Например, английский галлон тем же положением о мерах и весах 1878 г. устанавливался равным объему, занимаемому 10 английскими фунтами дистиллированной воды, если она взвешивается в воздухе, при температуре воды и воздуха, равной 62° F, и барометрическом давлении 30 дм рт. ст.

Из-за различия размеров некоторых единиц, имеющих одинаковые наименования, применяемых в Англии, Канаде и США, необходимо отмечать это различие при написании наименований и обозначений этих единиц. Из примеров видно, что британская система единиц не является системой единиц в современном метрологическом смысле этого понятия. Неудобство этой системы для проведения научных исследований и выполнения многих современных технических измерений привело к тому, что в настоящее время в этих странах приняты законодательные положения о переходе на СИ — современную форму метрической системы мер. Большое распространение в англоязычных странах получила техническая система фут — фунт-сила — секунда (ФФС), которая представляет систему единиц в современном смысле и является аналогом системы МКГСС. В качестве основных единиц этой системы были выбраны единица

длины — фут (0,3048 м), единица силы — фунт-сила (вес фунта при нормальном ускорении свободного падения 4,44822 N) и единица времени — секунда. Остальные единицы этой системы являются производными, устанавливаемыми с помощью соответствующим образом подобранных определяющих уравнений. Таким образом, система ФФС, как и система МКГСС, относится к системам, построенным на основе основных физических величин типа LFT. С метрологической точки зрения важнейшим недостатком системы ФФС является низкая точность воспроизведения одной из основных единиц — единицы силы.

Большое распространение в теплотехнических измерениях нашла британская тепловая единица BTU (0,2519 ккал) и другие производные от нее внесистемные теплотехнические единицы.

В табл. 31 Приложения приведены неметрические единицы, применяемые в англоязычных странах, их обозначения, перевод этих единиц в единицы СИ (или кратные и дольные от них), а также коэффициенты обратного перехода.

## 4.9. Старые русские единицы

Единицы физических величин и меры возникли на Руси еще в глубокой древности и к концу XIX в. представляли собой стройную систему мер, которую высоко оценил Д. И. Менделеев и охарактеризовал ее как «хорошо выработанную», «твердо поставленную». Д. И. Менделеев считал, что «... из всех систем мер и веса только три: английская, французская (метрическая) и русская отличаются полною разработкою и выдерживают научную критику»\*.

Некоторые русские единицы воспроизводились с помощью эталонов, причем весьма высокой точности. Например, до настоящего времени в музее НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» в Ленинграде хранятся эталоны аршина и фунта, которые согласно «Положению о мерах и весах» (1899 г.) воспроизводили эти единицы длины и массы (веса) в качестве основных для воспроизведения остальных единиц и, кроме того, были выражены в метрических единицах.

Однако существовавшая русская система мер не удовлетворяла требованиям развивавшегося международного экономического и научно-технического сотрудничества. Более прогрессивной была метрическая система мер. Благодаря огромным усилиям, предпринятым Д. И. Менделеевым, удалось добиться того, чтобы единицы метрической системы с 1 января 1900 г. стали применяться наравне с существовавшими русскими единицами. И только после Великой Октябрьской социалистической революции был осуществлен переход на Метрическую систему мер, который в основном был завершен к 1927 г.

---

\* Временник Главной палаты мер и весов, 1895, ч. 2, с. 169.

В табл. 32 Приложения приведены важнейшие старые русские единицы, указана связь между некоторыми однородными единицами и приведен перевод этих единиц в единицы СИ или кратные и дольные от них.

#### 4.10. Внесистемные единицы

История метрологии свидетельствует о том, что наряду с системными единицами широкое применение имели так называемые внесистемные единицы, которые ГОСТ 16263—70 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения» определяются как единицы, не входящие ни в одну из систем единиц. Примерами таких единиц могут служить единица мощности -- лошадиная сила; единица давления—миллиметр ртутного столба и т. д.

Исторически сложилось так, что среди внесистемных единиц имеются единицы, которые никогда не входили в состав систем единиц, а есть и такие единицы, которые ранее входили в состав уже давно отмененных систем единиц (например, тонна — единица массы в системе МТС).

Некоторые из внесистемных единиц либо вовсе не употребляются, либо употребляются очень редко, имея историческое значение. Другие же внесистемные единицы, а в ряде случаев и группы родственных единиц, применялись до недавнего времени и в настоящее время еще встречаются в научно-технической и справочной литературе или же применяются на практике. Именно этим и объясняется то, что на некоторые, наиболее важные и распространенные внесистемные единицы были подготовлены и введены в действие специальные Государственные стандарты.

Так, ГОСТ 7664—61, введенный в действие 1 июля 1961 г., помимо трех систем механических единиц (МКС, СГС и МКГСС) разрешал применение большой группы внесистемных единиц. ГОСТ 8849—58 допускал также применение внесистемных акустических единиц наряду с единицами систем СГС и МКС. ГОСТ 8550—61, введенный в действие с 1 июля 1962 г., устанавливавший систему тепловых единиц МКСГ, допускал в качестве временной меры применение внесистемных единиц, основанных на калории, для производства теплотехнических измерений. ГОСТ 8033—56, введенный в действие с 1 января 1957 г., допускал применение трех внесистемных единиц электрической энергии: электрон-вольта, килоэлектрон-вольта и мегаэлектрон-вольта.

ГОСТ 8848—63, введенный в действие с 1 июля 1964 г., также предусматривал использование ряда внесистемных единиц радиоактивности и ионизирующих излучений.

В стандарте СЭВ «Единицы физических величин» (СТ СЭВ 1052—78) приведены некоторые внесистемные единицы и даны указания о сроках их применения (см. п. 2.5). Внесистемные единицы представлены в табл. 5—7.

В некоторых литературных источниках к внесистемным единицам необоснованно относят кратные и дольные единицы, образованные от системных единиц.

XI Генеральная конференция по мерам и весам наряду с принятием основных, дополнительных и производных единиц СИ установила приставки СИ для образования десятичных кратных и дольных единиц. В ГОСТ 16263—70 отмечено, что кратные и дольные единицы, образованные от системных единиц, не входят в когерентную систему. Поэтому кратные и дольные единицы следует считать отдельной группой единиц, относящихся к той или иной системе.

Не принято считать (как в международной практике, так и у нас в стране) внесистемными единицами так называемые относительные или логарифмические единицы, хотя они не входят ни в какую систему единиц.

Следует заметить, что единицы, введенные независимо от той или иной системы единиц, иногда называют специальными внесистемными единицами. Это название связано с тем, что большинство из этих единиц, установленных независимо друг от друга, предназначены главным образом для измерений, производимых в определенных узких специальных областях. Среди этих единиц встречаются единицы, которые входили в состав систем единиц, отмененных в настоящее время. Большое распространение и значение имеют внесистемные единицы времени, образованные не по десятичному принципу (минута, час, сутки, неделя, месяц, год), а также единицы, построенные с помощью этих единиц времени (километр в час, килограмм в минуту и т. д.).

## 4.11. Естественные системы единиц

### 4.11.1. Общие замечания

Количество основных единиц, произвольно выбираемых при построении системы единиц физических величин, существенно связано с числом размерных коэффициентов (п. 1.3), которые являются универсальными (мировыми) константами. Уменьшение числа основных единиц приводило к уменьшению числа универсальных констант, но при этом система единиц становилась неудобной.

Системы единиц, в которых в качестве основных выбраны некоторые универсальные константы, назвали *естественными системами единиц*. Рассмотрим важнейшие особенности наиболее распространенных естественных систем единиц.

### 4.11.2. Система Планка

Первую естественную систему единиц разработал в 1906 г. знаменитый немецкий физик М. Планк. Основными в ней были приняты четыре единицы: гравитационная постоянная  $G$ , скорость света  $c$ , постоянная Планка  $h$  и постоянная Больцмана  $k$ . Недостатки этой

системы заключались в том, что в большинстве уравнений сохранялись размерные коэффициенты, а размеры единиц длины ( $4,02 \cdot 10^{-35}$  м), массы ( $5,43 \cdot 10^{-8}$  кг) и времени ( $1,34 \cdot 10^{-43}$  с) оказывались очень неудобными в большинстве практических областей измерений.

### 4.11.3. Система Хартри

Система Хартри применялась для теоретических исследований в атомной физике. В качестве основных единиц в этой системе были приняты заряд электрона  $e$ , масса покоящегося электрона  $m_{0e}$ , постоянная Дирака  $\hbar = h/2\pi$  и радиус первой боровской орбиты  $a_0$ .

При использовании этой системы единиц в большинстве уравнений, характеризующих объекты атомной физики, коэффициенты оказываются равными безразмерной единице, что, естественно, упрощает их запись. Следует иметь в виду, что все универсальные константы приравнять к безразмерной единице принципиально невозможно, так как между некоторыми из них существуют функциональные связи, выражаемые безразмерным числом, отличным от единицы. Например, постоянная Дирака  $\hbar$ , скорость света  $c$  и заряд электрона  $e$  связаны между собой соотношением  $e^2/\hbar c = 1/137$  (4.22). Если положить, как это принято в системе Хартри, заряд электрона и постоянную Дирака равными единице, то скорость света окажется отличной от единицы. В системе Хартри единицы длины ( $5,29 \cdot 10^{-11}$  м), массы ( $9,11 \cdot 10^{-31}$  кг), времени ( $2,42 \cdot 10^{-17}$  с), энергии ( $4,36 \cdot 10^{-18}$  Дж) и другие оказываются удобными для теоретических исследований в области атомной физики, но совершенно неподходящими для практических целей.

### 4.11.4. Система Людовичи

В этой естественной системе единиц за основу построения принимались три различных поля: гравитационное, электрическое и магнитное. В связи с этим в качестве основных единиц выбирались гравитационная постоянная, абсолютная диэлектрическая проницаемость и абсолютная магнитная проницаемость вакуума. В системе Людовичи единицы длины ( $4,88 \cdot 10^{-36}$  м) и массы ( $6,60 \cdot 10^{-9}$  кг) также были весьма неудобны для практических измерений.

### 4.11.5. Естественная система единиц релятивистской квантовой механики

В качестве основных единиц в этой системе принимались постоянная Планка  $h$ , постоянная Больцмана  $k$ , скорость света  $c$  и масса элементарной частицы  $m$  (протона или электрона в зависимости от специфики изучаемых процессов). В этой системе единицей длины была комптоновская длина волны электрона ( $3,85 \cdot 10^{-13}$  м),

единицей времени — отношение постоянной Дирака к энергии частицы ( $1,28 \cdot 10^{-21}$  с), а единицей энергии — энергия покоящегося электрона ( $\sim 0,82 \cdot 10^{-19}$  Дж). Для обычной практики измерений эти единицы также очень неудобны.

Естественные системы единиц неудобны для практических измерений, хотя и обладают некоторыми достоинствами при использовании в узких специфических областях физики. Точность воспроизведения основных единиц этих систем не соответствует современным метрологическим требованиям.

Таким образом, все естественные системы единиц для практических целей оказываются неудобными, и поэтому они применяются только при проведении некоторых теоретических научных исследований. В связи с этим необходимо иметь в виду пояснение, приведенное на стр. 1 РД 50—160—79: «СТ СЭВ 1052—78 не ограничивает применения тех или иных единиц в научных исследованиях и публикациях теоретического характера в области естествознания. К научным исследованиям и публикациям теоретического характера относятся исследования и публикации, в которых не рассматриваются и не используются результаты практических измерений конкретных физических величин».

На данном этапе развития науки и техники важнейшим метрологическим требованием удовлетворяет Международная система единиц, которая нашла конкретное выражение в СТ СЭВ 1052—78 и ГОСТ 8.417—81 ГСИ «Единицы физических величин».

Таблица 16. Относительные и логарифмические величины и их единицы

Наименование и определение величины	Единица			Определение	Примечание
	Наименование	Обозначение			
		международное	русское		
1	2	3	4	5	6
Относительная величина (безразмерное отношение физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную: к. п. д., относительное удлинение, относительная плотность, относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости, и т. п.)	безразмерная единица, 1	—	—	1	
	процент	%	%	$10^{-2}$	
	промилле	‰	‰	$10^{-3}$	
	миллионная доля	ppm	млн <sup>-1</sup>	$10^{-6}$	
Логарифмическая величина (логарифм безразмерного отношения физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную: уровень звукового давления, усиление, ослабление, уровень звуковой мощности, уровень	бел	В	Б	$1Б = \lg(P_2/P_1)$ при $P_2 = 10P_1$	$P_{1,2}$ — одноименные энергетические величины (мощности, энергии, плотности энергии и т. п.)
				$1Б = 2 \lg(F_2/F_1)$ при $F_2 = \sqrt{10} F_1$	$F_{1,2}$ — одноименные силовые величины (напряжения, силы тока, давления, напряженности поля и т. п.) lg — знак десятичного логарифма

1	2	3	4	5	
интенсивности звука, разность уровней мощности, усиление, ослабление, коэффициент затухания и т. п.)	децибел	дВ	дБ	0,1 Б	$e$ — основание натурального логарифма
	непер	Нр	Нп	$1 \text{ Нп} = 0,8686 \text{ Б} = \ln \left  \frac{F_2}{F_1} \right  = 1$ при $\frac{F_2}{F_1} = e$  $1 \text{ Нп} = 0,5 \ln \left  \frac{P_2}{P_1} \right $ при $\frac{P_2}{P_1} = e$	
Частотный интервал	октава	—	окт	1 октава = $= \log_2 (f_2/f_1)$ при $f_2/f_1 = 2$	$f_1, f_2$ — частоты;
	декада	—	дек	1 декада = $= \lg (f_2/f_1)$ при $f_2/f_1 = 10$	
Уровень громкости	фон	phon	фон	1 фон равен уровню громкости звука, для которого уровень звукового давления равногромкого с ним звука частотой 1000 Гц равен 1 дБ	

Таблица 17. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований (по стандарту СЭВ)

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское
1	2	3	4
$10^{18}$	экса	Е	Э
$10^{15}$	пета	Р	П
$10^{12}$	тера	Т	Т
$10^9$	гига	Г	Г
$10^6$	мега	М	М
$10^3$	кило	к	к
$10^2$	гекто	h	г
$10^1$	дека	da	да
$10^{-1}$	деци	d	д
$10^{-2}$	санти	с	с

1	2	3	4
$10^{-3}$	милли	м	М
$10^{-6}$	микро	μ	мк
$10^{-9}$	нано	п	н
$10^{-12}$	пико	р	п
$10^{-15}$	фемто	ф	ф
$10^{-18}$	атто	а	а

Таблица 18. Десятичные кратные и дольные единицы от единиц СИ и некоторых внесистемных единиц (согласно рекомендации стандарта СЭВ)

Наименование величины	Обозначения	
	единицы	кратных и дольных от единиц
1	2	3

Часть I. Пространство и время

Плоский угол	рад	мрад; мкрад
Длина	м	км; см; мм; мкм; нм
Площадь	м <sup>2</sup>	км <sup>2</sup> ; дм <sup>2</sup> ; см <sup>2</sup> ; мм <sup>2</sup>
Объем, вместимость	м <sup>3</sup>	дм <sup>3</sup> ; см <sup>3</sup> ; мм <sup>3</sup>
	л	гЛ; дЛ
		сл (1 сл = 10 <sup>-5</sup> м <sup>3</sup> )
Время	с	мл (1 мл = 10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> ) = 1 см <sup>3</sup> кс; мс; мкс; нс
Скорость	м/с	км/ч (1 км/ч = $\frac{1}{3,6}$ м/с)

Часть II. Периодические и связанные с ними явления

Частота периодического процесса	Гц	ТГц; ГГц; МГц; кГц
Частота вращения	с <sup>-1</sup>	мин <sup>-1</sup>

Часть III. Механика

Масса	кг	Мг; г; мг; мкг
	т	кт; дт; Мт
Линейная плотность	кг/м	мг/м или г/км
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	Мг/м <sup>3</sup> или кг/дм <sup>3</sup>
	кг/л	г/л; г/мл
Сила, вес	Н	мН; кН; МН; мкН
Момент силы	Н · м	мН · м; кН · м; МН · м; мкН · м
Давление и механическое напряжение	Па	ГПа; МПа; кПа; гПа; даПа;
		мПа; мкПа
Динамическая вязкость	Па · с	мПа · с
Кинематическая вязкость	м <sup>2</sup> /с	мм <sup>2</sup> /с
Поверхностное натяжение	Н/м	мН/м
Работа и энергия	Дж	ТДж; ГДж; МДж; кДж; мДж
	эВ	ГэВ; МэВ; кэВ;
Мощность	Вт	ГВт; МВт; кВт; мВт; мкВт

1	2	3
<b>Часть IV. Теплота</b>		
Температура	К	МК; кК; МК; мкК
Теплота, количество теплоты	Дж	ТДж; ГДж; МДж; кДж; МДж
Тепловой поток	Вт	кВт; мВт
Плотность теплового потока	Вт/м <sup>2</sup>	МВт/м <sup>2</sup>
Теплоемкость	Дж/К	кДж/К
Удельная теплоемкость	Дж/(кг · К)	кДж/(кг · К)
Энтропия	Дж/К	кДж/К
Удельная энтропия	Дж/(кг · К)	кДж/(кг · К)
Удельное количество теплоты	Дж/кг	МДж/кг; кДж/кг
Удельная теплота фазового превращения	Дж/кг	МДж/кг; кДж/кг

## Часть V. Электричество и магнетизм

Сила электрического тока	А	кА; mA; мкА; нА; пА
Количество электричества, электрический заряд	Кл	кКл; мкКл; нКл; пКл
Пространственная плотность электрического заряда	Кл/м <sup>3</sup>	Кл/мм <sup>3</sup> ; МКл/м <sup>3</sup> ; Кл/см <sup>3</sup> ; кКл/м <sup>3</sup> ; мКл/м <sup>3</sup> ; мкКл/м <sup>3</sup>
Поверхностная плотность электрического заряда	Кл/м <sup>2</sup>	МКл/м <sup>2</sup> или Кл/мм <sup>2</sup> ; Кл/см <sup>2</sup> ; кКл/м <sup>2</sup> ; мКл/м <sup>2</sup> ; мкКл/м <sup>2</sup>
Напряженность электрического поля	В/м	МВ/м; кВ/м или В/мм; В/см; мВ/м; мкВ/м
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	В	МВ; кВ; мВ; мкВ; нВ
Электрическое смещение	Кл/м <sup>2</sup>	Кл/см <sup>2</sup> ; кКл/см <sup>2</sup> ; мКл/м <sup>2</sup> ; мкКл/м <sup>2</sup>
Поток электрического смещения	Кл	МКл; кКл; мКл
Электрическая емкость	Ф	мФ; мкФ; нФ; пФ
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	Ф/м	мкФ/м; нФ/м; пФ/м
Псларизованность	Кл/м <sup>2</sup>	Кл/см <sup>2</sup> ; кКл/м <sup>2</sup> ; мКл/м <sup>2</sup> ; мкКл/м <sup>2</sup>
Плотность электрического тока	А/м <sup>2</sup>	МА/м <sup>2</sup> или А/мм <sup>2</sup> ; А/см <sup>2</sup> ; кА/м <sup>2</sup>
Линейная плотность электрического тока	А/м	кА/м или А/мм; А/см
Напряженность магнитного поля	А/м	кА/м или А/мм; А/см
Магнитодвижущая сила, разность магнитных потенциалов	А	кА; mA
Магнитная индукция	Тл	мТл; мкТл; нТл
Магнитный поток	Вб	мВб
Магнитный векторный потенциал	Тл · м	кТл · м
Индуктивность, взаимная индуктивность	Гн	мГн; мкГн; нГн; пГн
Абсолютная магнитная проницаемость	Гн/м	мкГн/м; нГн/м

1	2	3
Намагниченность	А/м	кА/м или А/мм
Магнитная поляризация	Тл	мТл
Электрическое сопротивление	Ом	ГОм; ГОм; МОм; КОм; МОм; мКОм
Электрическая проводимость	См	кСм; мСм; мкСм
Удельное электрическое сопротивление	Ом · м	ГОм · м; МОм · м; КОм · м; Ом · см; МОм · м; мКОм · м; нОм · м
Удельная электрическая проводимость	См/м	МСм/м; кСм/м
Полное сопротивление	Ом	МОм; КОм; МОм
Модуль полного сопротивления		
Реактивное сопротивление		
Полная проводимость	См	кСм; мСм; мкСм
Модуль полной проводимости		
Реактивная проводимость		
Активная проводимость		
Активная мощность	Вт	ГВт; ГВт; МВт; кВт; мВт; мкВт; нВт

Часть VI. Световые и связанные с ними электромагнитные излучения

Длина волны	м	мкм; нм; пм
Волновое число	м <sup>-1</sup>	см <sup>-1</sup>
Световая энергия	лм · с	лм · ч

Часть VII. Акустика

Период	с	мс; мкс
Длина волны	м	мм
Частота периодического процесса	Гц	МГц; кГц
Звуковое давление (мгновенное), статическое давление	Па	мПа; мкПа
Скорость колебания частицы	м/с	мм/с
Поток звуковой энергии, звуковая мощность	Вт	кВт; мВт; мкВт; пВт
Интенсивность звука	Вт/м <sup>2</sup>	мВт/мм <sup>2</sup> ; мкВт/м <sup>2</sup> ; пВт/м <sup>2</sup>

Часть VIII. Физическая химия и молекулярная физика

Количество вещества	моль	кмоль; ммоль; мкмоль
Молярная масса	кг/моль	г/моль
Молярный объем	м <sup>3</sup> /моль	дм <sup>3</sup> /моль или л/моль
Молярная внутренняя энергия, молярная энтальпия, молярный химический потенциал	Дж/моль	кДж/моль
Химическое сродство	Дж/моль	кДж/моль

1	2	3
Молярная концентрация	моль/м <sup>3</sup>	моль/дм <sup>3</sup> ; кмоль/м <sup>3</sup> ; моль/л
Удельная адсорбция	моль/кг	ммоль/кг
Часть IX. Ионизирующие излучения		
Поглощенная доза излучения, керма, показатель поглощенной дозы	Гр	ТГр; ГГр; МГр; кГр; мГр; мкГр
Активность нуклида в радиоактивном источнике	Бк	ЭБк; ПБк; ТБк; ГБк; МБк; кБк

Таблица 19. Уравнения электромагнетизма в рационализованной форме для СИ и в нерационализованной форме для системы СГС (симметричной)

Наименование уравнения	Уравнение	
	в рационализованной форме для СИ	в нерационализованной форме для СГС
1	2	3
Закон Кулона для электрических зарядов	$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r^2}$	$F = \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon_r r^2}$
Напряженность электрического поля точечного заряда	$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r^2}$	$E = \frac{Q}{\epsilon_r r^2}$
Поток вектора напряженности электрического поля	$N_E = \int_S E_n dS$	
Теорема Остроградского—Гаусса для потока вектора напряженности электрического поля	$N_E = \frac{1}{\epsilon_r\epsilon_0} \sum_{i=1}^n Q_i$	$N_E = \frac{4\pi}{\epsilon_r} \sum_{i=1}^n Q_i$
Напряженность электрического поля бесконечно длинной заряженной нити	$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_r\epsilon_0 r}$	$E = \frac{2\tau}{\epsilon_r r}$
Напряженность электрического поля заряженной сферической поверхности (при $r \geq R$ )	$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r^2}$	$E = \frac{Q}{\epsilon_r r^2}$
Напряженность электрического поля бесконечной заряженной плоскости	$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_r\epsilon_0}$	$E = \frac{2\pi\sigma}{\epsilon_r}$
Напряженность электрического поля в плоском конденсаторе	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_r\epsilon_0}$	$E = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon_r}$

1	2	3
Напряженность электрического поля в цилиндрическом конденсаторе	$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_r\epsilon_0 r}$	$E = \frac{2\tau}{\epsilon_r r}$
Напряженность электрического поля на оси диполя (при $r \gg l$ )	$E = \frac{p}{2\pi\epsilon_r\epsilon_0 r^3}$	$E = \frac{2p}{\epsilon_r r^3}$
Сила, действующая на электрический заряд в электростатическом поле	$F = QE$	
Потенциал поля точечного электрического заряда	$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r}$	$V = \frac{Q}{\epsilon_r r}$
Электрический момент диполя	$p = Ql$	
Механический момент, действующий на диполь в электростатическом поле	$M = pE \sin \alpha$	
Связь между диэлектрической проницаемостью и диэлектрической восприимчивостью	$\epsilon_r = 1 + \chi_r$	$\epsilon_r = 1 + 4\pi\chi_r$
Электрическое смещение	$D = \epsilon_r\epsilon_0 E$	$D = \epsilon_r E$
Поток вектора электрического смещения	$\Psi = \int_S D_n dS$	
Емкость уединенной проводящей сферы	$C = 4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r$	$C = \epsilon_r r$
Емкость плоского конденсатора	$C = \frac{\epsilon_r\epsilon_0 S}{d}$	$C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi d}$
Емкость цилиндрического конденсатора	$C = \frac{2\pi\epsilon_r\epsilon_0 l}{\ln(r_2/r_1)}$	$C = \frac{\epsilon_r l}{2 \ln(r_2/r_1)}$
Поляризованность	$P = \sum_{i=1}^n p_i/V$	
Емкость двухпроводной линии	$C = \frac{\pi\epsilon_r\epsilon_0 l}{\ln a/R}$	$C = \frac{\epsilon_r l}{4\pi \ln a/R}$
Связь между электрическим смещением, напряженностью поля и поляризованностью	$D = \epsilon_0 E + P$	$D = E + 4\pi P$

1	2	3
Работа перемещения заряда в электрическом поле	$A = Q(V_1 - V_2)$	
Связь между напряженностью и потенциалом электрического поля	$E = -\text{grad } V$	
Циркуляция вектора напряженности электрического поля	$\oint E_l dl = 0$	
Энергия системы точечных электрических зарядов	$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n Q_i V_i$	
Пространственная плотность энергии электрического поля	$w = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 E^2}{2}$	$w = \frac{\epsilon_r E^2}{8\pi}$
Связь между электрической и магнитной постоянными	$\epsilon_0 \mu_0 = c_0^{-2}$	$\epsilon_0 \mu_0 = 1$
Связь между магнитной проницаемостью и магнитной восприимчивостью	$\mu_r = 1 + \kappa$	$\mu_r = 1 + 4\pi\kappa$
Сила, действующая на элемент тока в магнитном поле (формула Ампера)	$dF = BI \sin \alpha dl$	$dF = \frac{1}{c_0} BI \sin \alpha dl$
Связь между индукцией и напряженностью магнитного поля	$B = \mu_r \mu_0 H$	$B = \mu_r H$
Связь между индукцией, напряженностью магнитного поля и намагниченностью	$B = \mu_0 H + \mu_0 M$	$B = H + 4\pi M$
Закон Био — Савара — Лапласа	$dB = \frac{\mu_r \mu_0 I \sin \alpha dl}{4\pi r^2}$	$dB = \frac{1}{c_0} \frac{\mu_r I \sin \alpha}{r^2}$
Напряженность магнитного поля бесконечно длинного прямолинейного проводника с током	$H = \frac{I}{2\pi r}$	$H = \frac{1}{c_0} \frac{2I}{r}$

1	2	3
Напряженность магнитного поля в центре кругового тока	$H = \frac{I}{2R}$	$H = \frac{1}{c_0} \frac{2\pi I}{R}$
Напряженность магнитного поля на оси длинного соленоида	$H = nI$	$H = \frac{1}{c_0} 4\pi nI$
Магнитный момент контура с током	$m = IS$	$m = \frac{1}{c_0} IS$
Механический момент, действующий на контур с током в однородном магнитном поле	$M = mB \sin \alpha$	
Сила взаимодействия двух бесконечно длинных параллельных токов	$F = \frac{\mu_r \mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}$	$F = \frac{2\mu_r I_1 I_2 l}{c_0^2 d}$
Магнитная индукция, создаваемая движущимся зарядом	$B = \frac{\mu_r \mu_0 Qv \sin \alpha}{4\pi r^2}$	$B = \frac{\mu_r Qv \sin \alpha}{c_0 r^2}$
Магнитодвижущая сила	$F = I$	$F = \frac{1}{c_0} 4\pi I$
Магнитный поток	$\Phi = \int_S B_n dS$	
Потокоцепление	$\Psi = n\Phi$	
Связь между потокоцеплением, силой тока и индуктивностью контура	$\Psi = LI$	$\Psi = \frac{1}{c_0} LI$
Индуктивность соленоида	$L = \mu_r \mu_0 n^2 V$	$L = 4\pi \mu_r n^2 V$
Индуктивность двухпроводной линии	$L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln a/R$	$L = 4l \ln a/R$

1	2	3
Электродвижущая сила, индуктированная в цепи	$E_t = -d\Psi/dt$	$E_t = -\frac{1}{c_0} d\Psi/dt$
Электродвижущая сила самоиндукции	$E_{st} = -L dI/dt$	$E_{st} = -\frac{1}{c_0^2} L dI/dt$
Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле	$A = I \Delta\Phi$	$A = \frac{1}{c_0} I \Delta\Phi$
Энергия магнитного поля соленоида	$W = \frac{LI^2}{2}$	$W = \frac{1}{c_0^2} \frac{LI^2}{2}$
Удельная электромагнитная энергия	$w = \frac{\mu_r \mu_0 H^2}{2}$	$w = \frac{\mu_r H^2}{8\pi}$
Реактивное сопротивление	$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$	$X = \frac{1}{c_0^2} \omega L - \frac{1}{\omega C}$
Вектор Пойнтинга	$S = [EH]$	$S = \frac{c_0}{4\pi} [EH]$
Формула Томпсона	$T = 2\pi \sqrt{LC}$	$T = \frac{2\pi}{c_0} \sqrt{LC}$
Скорость распространения электромагнитных волн	$c = 1/\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_r \mu_0}$	$c = c_0/\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$
Уравнения Максвелла	$\text{rot } \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$ $\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$ $\text{div } \mathbf{B} = 0$ $\text{div } \mathbf{D} = \rho$	$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{1}{c_0} \partial \mathbf{B} / \partial t$ $\text{rot } \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c_0} \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$ $\text{div } \mathbf{B} = 0$ $\text{div } \mathbf{D} = 4\pi \rho$

Таблица 20. Переводные коэффициенты для электрических и магнитных единиц

Величина	Единица СИ	Переводные коэффициенты		
		СГСЭ	СГСМ	СГС
Электрический ток, сила тока	ампер	$3,3356 \cdot 10^{-10}$	10	$3,3356 \cdot 10^{-10}$
Электрический заряд, количество электричества	кулон	$3,3356 \cdot 10^{-10}$	10	$3,3356 \cdot 10^{-10}$
Электрическое смещение	кулон на квадратный метр	$2,6544 \cdot 10^{-7}$	$79,578 \cdot 10^2$	$2,6544 \cdot 10^{-7}$
Электродвижущая сила, напряжение	вольт	299,79	$10^{-8}$	299,79
Напряженность электрического поля	вольт на метр	29979	$10^{-6}$	29979
Электрическая емкость	фарад	$1,1126 \cdot 10^{-12}$	$10^9$	$1,1126 \cdot 10^{-12}$
Электрическая постоянная	фарад на метр	$8,8538 \cdot 10^{-12}$	$79,578 \cdot 10^8$	$8,8538 \cdot 10^{-12}$
Электрическое сопротивление	ом	$89,875 \cdot 10^{10}$	$10^{-9}$	$89,875 \cdot 10^{10}$
Индуктивность, взаимная индуктивность	генри	$89,875 \cdot 10^{10}$	$10^{-9}$	$10^{-9}$
Магнитная постоянная	генри на метр	$11,294 \cdot 10^{14}$	$12,566 \cdot 10^{-7}$	$12,566 \cdot 10^{-7}$
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	$26,544 \cdot 10^{-10}$	79,578	79,578
Магнитная индукция	тесла	$2,9979 \cdot 10^6$	$10^{-4}$	$10^{-4}$
Магнитодвижущая сила	ампер	$26,544 \cdot 10^{-12}$	0,79578	0,79578
Магнитный поток	вебер	$2,9979 \cdot 10^8$	$10^{-8}$	$10^{-8}$
Магнитное сопротивление	ампер на вебер	$88,538 \cdot 10^{-15}$	$79,578 \cdot 10^6$	$79,578 \cdot 10^6$
Электрическая энергия	джоуль	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$
Активная мощность электрической цепи	ватт	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$
Реактивная мощность электрической цепи	вар	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$
Полная мощность электрической цепи	вольт-ампер	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$
Частота электрического тока	герц	1	1	1

Таблица 21. Важнейшие внесистемные тепловые единицы

Величина	Единица				
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ	
		международное	русское		
1	2	3	4	5	
Количество теплоты, термодинамический потенциал (внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия, свободная энтальпия), теплота фазового превращения, теплота химической реакции	калория (межд.) калория термохимическая	cal cal <sub>th</sub>	кал кал <sub>тх</sub>	1 кал = 4,1868 Дж 1 кал <sub>тх</sub> = 4,1840 Дж	
	Удельное количество теплоты, удельный термодинамический потенциал, удельная теплота фазового превращения, удельная теплота химической реакции	калория на грамм	cal/g	кал/г	1 кал/г = 4,1868 · 10 <sup>3</sup> Дж/кг
Темлоемкость системы	калория на градус	cal/deg	кал/град	1 кал/град = 4,1868 Дж/К	
Удельная теплоемкость	калория на грамм-градус	cal/(g · deg)	кал/(г · град)	1 кал/(г · град) = 4,1868 × 10 <sup>3</sup> Дж/(кг · К)	
Поверхностная плотность теплового потока	калория в секунду на квадратный сантиметр	cal/(s · cm <sup>2</sup> )	кал/(с · см <sup>2</sup> )	1 кал/(с · см <sup>2</sup> ) = 4,1868 × 10 <sup>4</sup> Вт/м <sup>2</sup>	

1	2	3	4	5
Энтропия системы	калория на градус	cal/deg	кал/град	1 кал/град = 4,1868 Дж/К
Удельная энтропия	калория на грамм-градус	cal/(g · deg)	кал/(г · град)	1 кал/(г · град) = 4,1868 × 10 <sup>3</sup> Дж/(кг · К)
Тепловой поток	калория в секунду	cal/s	кал/с	1 кал/с = 4,1868 Вт
	килокалория в час	kcal/h	ккал/ч	1 ккал/ч = 1,163 Вт
Коэффициент теплообмена (теплотдачи) и теплопередачи	калория в секунду на квадратный сантиметр-градус	cal/s · см <sup>2</sup> × deg	кал/(с · см <sup>2</sup> × град)	1 кал/(с · см <sup>2</sup> · град) = 4,1868 · 10 <sup>4</sup> Вт/(м <sup>2</sup> · К)
	килокалория в час на квадратный метр-градус	kcal/h × м <sup>2</sup> · deg	ккал/(ч · м <sup>2</sup> × град)	1 ккал/(ч · м <sup>2</sup> · град) = 1,163 Вт/(м <sup>2</sup> · К)
Теплопроводность	калория в секунду на сантиметр-градус	cal/(s · см × deg)	кал/(с · см × град)	1 кал/(с · см · град) = 4,1868 · 10 <sup>2</sup> Вт/(м · К)
	килокалория в час на метр-градус	kcal/(h × м · deg)	ккал/(ч · м · град)	1 ккал/(ч · м · град) = 1,163 Вт/(м · К)

Таблица 22. Неметрические единицы, применяемые в англоязычных странах

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
1	2	3	4
Длина	ярд	yd	1 yd = 0,914 4 м (точно)
	фут	ft	1 ft = 0,304 8 м (точно)
	дюйм	in	1 in = 0,025 4 м (точно)
	миля	mile	1 mile = 1 609,344 м (точно)
Площадь	квадратный ярд	yd <sup>2</sup>	1 yd <sup>2</sup> = 0,836 127 м <sup>2</sup>
	квадратный фут	ft <sup>2</sup>	1 ft <sup>2</sup> = 0,092 903 06 м <sup>2</sup> (точно)
	квадратный дюйм	in <sup>2</sup>	1 in <sup>2</sup> = 6,451 6 · 10 <sup>-4</sup> м <sup>2</sup>
	квадратная миля	mile <sup>2</sup>	1 mile <sup>2</sup> = 2,589 988 · 10 <sup>6</sup> м <sup>2</sup>
	акр	acre	1 acre = 4 046,856 м <sup>2</sup> 1 acre (U. S.) = 4 046,873 м <sup>2</sup>
Объем	кубический ярд	yd <sup>3</sup>	1 yd <sup>3</sup> = 0,764 555 м <sup>3</sup>
	кубический фут	ft <sup>3</sup>	1 ft <sup>3</sup> = 0,028 3168 м <sup>3</sup>
	кубический дюйм	in <sup>3</sup>	1 in <sup>3</sup> = 16,387 064 · 10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> (точно)
	галлон (английский)	gal (UK)	1 gal (UK) = 4,546 09 × × 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>
	пинта (английская)	pt (UK)	1 pt (UK) = 0,568 262 × × 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>
	жидкостная унция (английская)	fl · oz (UK)	1 fl · oz (UK) = 28,4131 × × 10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup>
	бушель (английский)	bushel (UK)	1 bushel (UK) = 36,368 7 × × 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>
	галлон (США)	gal (US)	1 gal (US) = 3,785 41 × × 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>
	жидкостная пинта (США)	lig · pt (US)	1 lig · pt (US) = 473,176 × × 10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup>
	жидкостная унция (США)	fl · oz (US)	1 fl · oz (US) = 29,573 5 × × 10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup>
	нефтяной баррель (США)	barrel (US)	1 barrel (US) = 158,987 × × 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>
	бушель (США)	bu (US)	1 bu (US) = 35,239 1 × × 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>
	сухая пинта (США)	dry · pt (US)	1 dry · pt (US) = 0,550 610 × × 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>
	сухой баррель (США)	bbl (US)	1 bbl (US) = 115,627 × × 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>
	Скорость	фут в секунду	ft/s
миля в час		mile/h	1 mile/h = 0,44704 м/s (точно)
Ускорение	фут на секунду в квадрате	ft/s <sup>2</sup>	1 ft/s <sup>2</sup> = 0,304 8 м/s <sup>2</sup> (точно)

1	2	3	4
Масса	фунт	lb	1 lb = 0,453592 37 kg (точно)
	грамм	gr	1 gr = 64,798 91 · 10 <sup>-6</sup> kg (точно)
	унция	oz	1 oz = 28,349 5 · 10 <sup>-3</sup> kg
	центнер	cwt	1 cwt (UK) = 1 long cwt (US) = 50,802 3 kg 1 cwt (US) = 45,359 2 kg
	тонна	ton	1 ton (UK) = 1 long ton (US) = = 1016,05 kg 1 ton (US) = 9 07,185 kg
	унция тройская	troy ounce	1 troy ounce = 480 gr = = 31,1035 · 10 <sup>-3</sup> kg
Плотность	фунт на кубический фут	lb/ft <sup>3</sup>	1 lb/ft <sup>3</sup> = 16,018 5 kg/m <sup>3</sup>
Сила, вес	фунт-сила	lbf	1 lbf = 4,448 22 N
Момент силы	фут-фунт-сила	ft · lbf	1 ft · lbf = 1,355 82 N · m
Давление	фунт-сила на квадратный дюйм	lbf/in <sup>2</sup>	1 lbf/in <sup>2</sup> = 6 894,76 Pa
Работа, энергия	фут-фунт-сила	ft · lbf	1 ft · lbf = 1,355 82 J
Мощность	фут-фунт-сила на секунду	ft · lbf/s	1 ft · lbf/s = 1,355 82 W
	лошадиная сила (английская)	hp	1 hp = 550 ft × × lbf/s = 745,700 W
Кинематическая вязкость	квадратный фут на секунду	ft <sup>2</sup> /s	1 ft <sup>2</sup> /s = 0,092 903 0 m <sup>2</sup> /s
Коэффициент диффузии	квадратный фут на секунду	ft <sup>2</sup> /s	1 ft <sup>2</sup> /s = 0,092 903 0 m <sup>2</sup> /s
Количество теплоты	британская тепловая единица	Btu	1 Btu = 1056,06 J
Теплота	средняя британская тепловая единица	Btu <sub>mean</sub>	1 Btu <sub>mean</sub> = 1055,8 J
Энтальпия	термия	th	1 th = 4,1855 · 10 <sup>6</sup> J
Тепловой поток	британская тепловая единица в час	Btu/h	1 Btu/h = 0,293 0,71 W
Удельная теплота	британская тепловая единица на фунт	Btu/lb	1 Btu/lb = 2 326 J/kg (точно)
Термодинамическая температура	градус Ренкина	°R	1°R = $\frac{5}{9}$ K

1	2	3	4
Температура	градус Фаренгейта	°F	$1^{\circ} F = \frac{5}{9} K = \frac{5}{9} ^{\circ}C;$ $T = \frac{5}{9} (t_F - 459,67)$ $t = \frac{5}{9} (t_F - 32),$ где $T$ — термодинамическая температура; $t$ — температура Цельсия; $t_F$ — температура Фаренгейта
Теплопроводность	британская тепловая единица на секунду-фут-градус Ренкина	Btu/(s · ft · °R)	$1 \text{ Btu} (s \cdot \text{ft} \cdot ^{\circ}\text{R}) =$ $= 6230,64 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
	Британская тепловая единица на секунду-дюйм-градус Фаренгейта	Btu/(s · in · °F)	$1 \text{ Btu} (s \cdot \text{in} \cdot ^{\circ}\text{F}) =$ $= 7,47681 \cdot 10^4 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Коэффициент теплопередачи, коэффициент теплообмена	британская тепловая единица на секунду-квадратный фут-градус Ренкина	Btu/(s · ft <sup>2</sup> × °R)	$1 \text{ Btu} (s \cdot \text{ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{R}) =$ $= 20 \,441,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	британская тепловая единица на час-квадратный фут-градус Ренкина	Btu/(h · ft <sup>2</sup> × °R)	$1 \text{ Btu} (h \cdot \text{ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{R}) =$ $= 5,678 \,26 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Температуропроводность	квадратный фут на секунду	ft <sup>2</sup> /s	$1 \text{ ft}^2/\text{s} = 0,092 \,903 \,04 \text{ m}^2/\text{s}$ (точно)
Теплоемкость	британская тепловая единица на градус Фаренгейта	Btu/°F	$1 \text{ Btu}/^{\circ}\text{F} = 1899,11 \text{ J}/\text{K}$
Удельная теплоемкость	британская тепловая единица на фунт-градус, Ренкина	Btu/(lb · °R)	$1 \text{ Btu}/(\text{lb} \cdot ^{\circ}\text{R}) =$ $= 4186,8 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ (точно)
Удельная энтропия	британская тепловая единица на фунт-градус Ренкина	Btu/(lb · °R)	$1 \text{ Btu}/(\text{lb} \cdot ^{\circ}\text{R}) =$ $= 4186,8 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ (точно)
Удельный термодинамический потенциал	британская тепловая единица на фунт	Btu/lb	$1 \text{ Btu}/\text{lb} = 2326 \text{ J}/\text{kg}$ (точно)

Таблица 23. Старые русские единицы

Величина и единица	Соотношение с другими русскими единицами	Перевод в единицы СИ или кратные и дольные от них
<b>Длина</b>		
верста		1,06680 км
сажень	7 футов = 84 дюймов	2,13360 м
аршин	1/3 сажени	0,711200 м
вершок	1/16 аршина	4,445000 см
фут	1 фут (англ.) = 12 дюймов	0,304800 м
дюйм	1/12 фута	2,54000 см
линия	1/10 дюйма	2,54000 мм
точка	1/10 линии	0,254000 мм
сотка		2,13360 см
миля		7,48760 км
<b>Площадь</b>		
квадратная верста		1,13806 км <sup>2</sup>
десятина	2400 кв. саж.	10925,4 м <sup>2</sup> = 1,09254 га
квадратная сажень		4,55224 м <sup>2</sup>
квадратный аршин		0,505805 м <sup>2</sup>
квадратный вершок		19,7580 см <sup>2</sup>
квадратный фут		9,29030 дм <sup>2</sup>
квадратный дюйм		6,45160 см <sup>2</sup>
квадратная линия		6,45160 мм <sup>2</sup>
<b>Объем, вместимость</b>		
кубическая сажень		9,7126 м <sup>3</sup>
кубический аршин		0,359728 м <sup>3</sup>
кубический вершок		87,824 см <sup>3</sup>
кубический фут		28,3168 дм <sup>3</sup>
кубический дюйм		16,3870 см <sup>3</sup>
кубическая линия		16,3870 мм <sup>3</sup>
бочка		0,492 м <sup>3</sup>
ведро	1/40 бочки	12,2994 дм <sup>3</sup>
штоф (кружка)	1/10 ведра	1,22994 дм <sup>3</sup>
бутылка винная	1/16 ведра	0,768712 дм <sup>3</sup>
бутылка водочная	1/20 ведра	0,614970 дм <sup>3</sup>
чарка	1/100 ведра	122,994 см <sup>3</sup>
четверть (для сыпучих тел)		0,209909 м <sup>3</sup>
		209,909 дм <sup>3</sup>
четверть (для жидкостей)	1/4 ведра	3,0748 дм <sup>3</sup>
четверик		0,262387 м <sup>3</sup>
гарнец		3,27984 дм <sup>3</sup>
<b>Масса (вес)</b>		
берковец		163,80496 кг
пуд	1/10 берковца	16,380496 кг
аптекарский фунт		358,323 г
фунт	1/40 пуда	0,40951241 кг
унция аптекарская	1/12 аптек. фунта	29,86028 г
лот	1/32 фунта	12,797262 г
золотник	1/3 лота = 1/96 фунта	4,265542 г
доля	1/96 золотника	44,434940 мг
драхма	3 скрупула = $\frac{1}{8}$ унции	3,7325 г
скрупул	1/3 драхмы	1,29598 г

Таблица 24. Соотношение между единицами длины

Единица	м	см	мм	ft	in	Морская миля
метр	1	$10^2$	$10^6$	3,28	39,37	$5,4 \cdot 10^{-4}$
сантиметр	$10^{-2}$	1	$10^4$	$3,28 \cdot 10^{-2}$	0,3937	$5,4 \cdot 10^{-6}$
миллиметр	$10^{-6}$	$10^{-4}$	1	$3,28 \cdot 10^{-6}$	$3,937 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-10}$
фут	0,3048	30,48	$3,048 \cdot 10^5$	1	12	$1,65 \cdot 10^{-4}$
дюйм	$2,54 \cdot 10^{-2}$	2,54	$2,54 \cdot 10^4$	$8,33 \cdot 10^{-2}$	1	$1,37 \cdot 10^{-5}$
морская миля	$1,852 \cdot 10^3$	$1,852 \cdot 10^5$	$1,852 \cdot 10^9$	$6,075 \cdot 10^3$	$7,2907 \cdot 10^4$	1

Таблица 25. Соотношение между единицами площади

Единица	м <sup>2</sup>	см <sup>2</sup>	га	ft <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>
квадратный метр	1	$10^4$	$10^{-4}$	10,76	$1,55 \cdot 10^3$
квадратный сантиметр	$10^{-4}$	1	$10^{-8}$	$1,076 \cdot 10^{-3}$	$1,55 \cdot 10^{-1}$
гектар	$10^4$	$10^8$	1	$1,076 \cdot 10^5$	$1,55 \cdot 10^7$
квадратный фут	$9,29 \cdot 10^{-2}$	$9,29 \cdot 10^2$	$9,29 \cdot 10^{-6}$	1	$1,44 \cdot 10^2$
квадратный дюйм	$6,45 \cdot 10^{-4}$	6,45	$6,45 \cdot 10^{-8}$	$6,945 \cdot 10^{-3}$	1

Таблица 26. Соотношение между единицами объема

Единица	м <sup>3</sup>	см <sup>3</sup>	л (дм <sup>3</sup> )	ft <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>	pt	gal
кубический метр	1	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	35,3	6,1 · 10 <sup>4</sup>	1,759 8 · 10 <sup>3</sup>	2,2 · 10 <sup>2</sup>
кубический сантиметр	10 <sup>-6</sup>	1	10 <sup>-3</sup>	3,53 · 10 <sup>-5</sup>	6,1 · 10 <sup>-2</sup>	1,759 8 · 10 <sup>-3</sup>	2,2 · 10 <sup>-4</sup>
литр (кубический дециметр)	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>3</sup>	1	3,53 · 10 <sup>-2</sup>	61	1,759 8	0,22
кубический фут	2,83 · 10 <sup>-2</sup>	2,83 · 10 <sup>4</sup>	28,3	1	1,73 · 10 <sup>3</sup>	49,8	6,229
кубический дюйм	1,639 · 10 <sup>-5</sup>	16,39	1,639 · 10 <sup>-2</sup>	5,79 · 10 <sup>-4</sup>	1	2,88 · 10 <sup>-2</sup>	3,6 · 10 <sup>-3</sup>
пинта (англ.)	5,68 · 10 <sup>-4</sup>	5,68 · 10 <sup>2</sup>	0,568	2,10 · 2	34,67	1	0,125
галлон (англ.)	4,546 · 10 <sup>-3</sup>	4,546 · 10 <sup>3</sup>	4,546	0,1605	2,774 · 10 <sup>2</sup>	8	1

Таблица 27. Соотношение между единицами массы

Единица	кг	г	τ	lb	oz
килограмм	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>-3</sup>	2,2046	35,274
грамм	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>-6</sup>	2,2046 · 10 <sup>-3</sup>	3,5274 · 10 <sup>-2</sup>
тонна	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	1	2,2046 · 10 <sup>3</sup>	3,5274 · 10 <sup>4</sup>
фунт	0,454	4,54 · 10 <sup>2</sup>	4,54 · 10 <sup>-4</sup>	1	16
унция	2,835 · 10 <sup>-2</sup>	28,35	2,835 · 10 <sup>-5</sup>	6,25 · 10 <sup>-2</sup>	1

Таблица 28. Соотношение между единицами плотности

Единица	кг/м <sup>3</sup>	τ/м <sup>3</sup>	кг/дм <sup>3</sup>	г/см <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>	lb/in <sup>3</sup>
килограмм на кубический метр	1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	62,4 · 10 <sup>-3</sup>	36,13 · 10 <sup>-6</sup>
тонна на кубический метр	10 <sup>3</sup>	1	1	1	62,4	36,13 · 10 <sup>-3</sup>
килограмм на кубический дециметр	10 <sup>3</sup>	1	1	1	62,4	36,13 · 10 <sup>-3</sup>
грамм на кубический сантиметр	10 <sup>3</sup>	1	1	1	62,4	36,13 · 10 <sup>-3</sup>
фунт на кубический фут	16,02	16,02 · 10 <sup>-3</sup>	16,02 · 10 <sup>-3</sup>	16,02 · 10 <sup>-3</sup>	1	578,7 · 10 <sup>-6</sup>
фунт на кубический дюйм	27,7 · 10 <sup>3</sup>	27,7	27,7	27,7	1728	1

Таблица 29. Соотношение между единицами удельного объема

Единица	м <sup>3</sup> /кг	м <sup>3</sup> /л	дм <sup>3</sup> /кг	см <sup>3</sup> /г	ft <sup>3</sup> /lb	in <sup>3</sup> /lb
кубический метр на килограмм	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	16,02	27,7 · 10 <sup>3</sup>
кубический метр на тонну	10 <sup>-3</sup>	1	1	1	16,02 · 10 <sup>-3</sup>	27,7
кубический дециметр на килограмм	10 <sup>-3</sup>	1	1	1	16,02 · 10 <sup>-3</sup>	27,7
кубический сантиметр на грамм	10 <sup>-3</sup>	1	1	1	16,02 · 10 <sup>-3</sup>	27,7
кубический фут на фунт	62,4 · 10 <sup>-3</sup>	62,4	62,4	62,4	1	1728
кубический дюйм на фунт	36,13 · 10 <sup>-6</sup>	36,13 · 10 <sup>-3</sup>	36,13 · 10 <sup>-3</sup>	36,13 · 10 <sup>-3</sup>	578,7 · 10 <sup>-6</sup>	1

Таблица 30. Соотношение между единицами времени

Единица	с	сут	ч	мин	мс	мкс
секунда	1	1/86400	1/3600	1/60	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>
сутки	86400	1	24	1440	86,4 · 10 <sup>6</sup>	86,4 · 10 <sup>9</sup>
час	3600	1/24	1	60	3,6 · 10 <sup>6</sup>	3,6 · 10 <sup>9</sup>
минута	60	1/1440	1/60	1	60000	60 · 10 <sup>3</sup>
миллисекунда	10 <sup>-3</sup>	1/86,4 · 10 <sup>6</sup>	1/3,6 · 10 <sup>6</sup>	1/60 · 10 <sup>3</sup>	1	1
микросекунда	10 <sup>-6</sup>	1/86,4 · 10 <sup>9</sup>	1/3,6 · 10 <sup>9</sup>	1/60 · 10 <sup>6</sup>	10 <sup>-3</sup>	1

Таблица 31. Соотношение между единицами скорости

Единица	м/с	км/ч	yd/s	ft/s	морская миля/ч
метр в секунду	1	3,6	1,094	3,28	1,943
километр в час	0,278	1	0,304	0,911	0,54
ярд в секунду	0,914	3,292	1	3	1,772
фут в секунду	0,305	1,097	0,333	1	0,582
морская миля в час	0,515	1,855	0,564	1,688	1

Таблица 32. Соотношение между единицами ускорения

Единица	м/с <sup>2</sup>	см/с <sup>2</sup>	ин/с <sup>2</sup>	ft/с <sup>2</sup>	yd/s <sup>2</sup>
метр на секунду в квадрате	1	10 <sup>2</sup>	39,4	3,28	1,094
сантиметр на секунду в квадрате	0,01	1	0,394	32,8 · 10 <sup>-3</sup>	10,94 · 10 <sup>-3</sup>
дюйм на секунду в квадрате	25,4 · 10 <sup>-3</sup>	2,54	1	0,0833	0,028
фут на секунду в квадрате	0,305	30,5	12	1	0,333
ярд на секунду в квадрате	0,914	91,4	36	3	1

Таблица 33. Соотношение между единицами угла

Единица	рад	град	гон		
радиан	1	0,637	63,7		
прямой угол	1,57	1	10 <sup>2</sup>		
градус	1,75 · 10 <sup>-2</sup>	1,11 · 10 <sup>-2</sup>	1,11		
гон	1,57 · 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	1		
минута	2,91 · 10 <sup>-4</sup>	1,85 · 10 <sup>-4</sup>	1,85 · 10 <sup>-2</sup>		
секунда	4,848 · 10 <sup>-6</sup>	3,09 · 10 <sup>-6</sup>	3,09 · 10 <sup>-4</sup>		
				3,44 · 10 <sup>3</sup>	2,06 · 10 <sup>3</sup>
				5,4 · 10 <sup>3</sup>	3,24 · 10 <sup>3</sup>
				60	3,6 · 10 <sup>3</sup>
				54	3,24 · 10 <sup>3</sup>
				1	60
				1,67 · 10 <sup>-2</sup>	1
				3,09 · 10 <sup>-4</sup>	1,67 · 10 <sup>-2</sup>

Таблица 34. Соотношение между единицами угловой скорости

Единица	рад/с	об/с	об/м	°/с
радиан в секунду	1	0,159	9,55	57,3
оборот в секунду	6,28	1	60	3,6 · 10 <sup>2</sup>
оборот в минуту	0,105	1,677 · 10 <sup>-2</sup>	1	6
градус в секунду	1,75 · 10 <sup>-2</sup>	2,78 · 10 <sup>-3</sup>	0,167	1

Таблица 35. Соотношение между единицами силы

Единица	Н	дин	кгс	тс	сн	lbf
НЬЮТОН	1	$10^5$	0,102	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3}$	0,2248
ДИНА	$10^{-5}$	1	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-9}$	$10^{-8}$	$2,248 \cdot 10^{-6}$
КИЛОГРАММ-СИЛА	9,8067	$9,8067 \cdot 10^5$	1	$10^{-3}$	$9,8067 \cdot 10^{-3}$	2,2046
СТЕН	$10^3$	$10^3$	$10^3$	1	9,8067	$2,2046 \cdot 10^3$
ФУНТ-СИЛА	4,448	$4,448 \cdot 10^5$	0,454	$4,54 \cdot 10^{-4}$	$4,4482 \cdot 10^{-3}$	1

Таблица 36. Соотношение между единицами давления и напряжения

Единица	Па	бар	мм вод. ст.	мм рт. ст.	дин/см <sup>2</sup>	кгс/см <sup>2</sup>	lbf/in <sup>2</sup>
паскаль	1	$10^{-5}$	0,102	$7,5024 \cdot 10^{-3}$	10	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$
бар	$10^5$	1	$1,02 \cdot 10^4$	$7,5024 \cdot 10^2$	$10^6$	1,02	14,5
миллиметр водяного столба	9,8067	$9,8067 \cdot 10^{-5}$	1	$7,356 \cdot 10^{-2}$	98,1	$10^{-4}$	$1,422 \cdot 10^{-3}$
миллиметр ртутного столба	$1,33 \cdot 10^2$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	13,6	1	$1,33 \cdot 10^3$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,934 \cdot 10^{-2}$
дина на квадратный сантиметр	0,1	$10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-2}$	7,50 $\cdot 10^{-4}$	1	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$1,45 \cdot 10^{-5}$
килограмм-сила на квадратный сантиметр	$9,8067 \cdot 10^4$	0,98067	$10^4$	$7,35 \cdot 10^2$	9,81 $\cdot 10^5$	1	14,223
фунт-сила на квадратный дюйм	$6,8948 \cdot 10^3$	$6,8948 \cdot 10^{-2}$	$7,0307 \cdot 10^2$	52,2	$6,89 \cdot 10^4$	$7,0307 \cdot 10^{-2}$	1

Таблица 37. Соотношение между единицами энергии

Единица	Дж	эрг	кгс · м	кал	ккал	кВт · ч	ft · lbf
Джоуль	1	$10^7$	0,102	0,239	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$2,78 \cdot 10^{-7}$	0,7376
эрг	$10^{-7}$	1	$1,02 \cdot 10^{-8}$	$2,39 \cdot 10^{-8}$	$2,78 \cdot 10^{-11}$	$2,78 \cdot 10^{-14}$	$7,376 \cdot 10^{-9}$
килограмм-сила-метр	9,8067	$9,8067 \cdot 10^7$	1	2,343	$2,343 \cdot 10^{-8}$	$2,72 \cdot 10^{-6}$	7,233

Единица	Дж	эрг	кгс · м	кал	ккал	кВт · ч	ft · lbf
калория	4,1868	$4,1868 \cdot 10^7$	0,42686	1	$10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^{-6}$	3,088
килокалория	$4,1868 \cdot 10^3$	$4,1868 \cdot 10^{10}$	$4,2686 \cdot 10^2$	$10^3$	1	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$3,088 \cdot 10^3$
киловатт-час	$3,6 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^{13}$	$3,67 \cdot 10^5$	$8,6 \cdot 10^5$	1	1	$2,653 \cdot 10^6$
фут-фунт-сила	1,356	$1,356 \cdot 10^7$	0,138	0,325	$3,25 \cdot 10^{-4}$	$3,76 \cdot 10^{-7}$	1

Таблица 38. Соотношение между единицами мощности

Единица	Вт	эрг/с	кгс · м/с	кал/с	ft · lbf/s	л. с.
ватт	1	$10^7$	0,102	0,239	0,7376	$1,36 \cdot 10^{-3}$
эрг в секунду	$10^{-7}$	1	$1,02 \cdot 10^{-8}$	$2,39 \cdot 10^{-8}$	$7,376 \cdot 10^{-8}$	$1,36 \cdot 10^{-10}$
килограмм-сила-метр в секунду	9,8067	$9,8067 \cdot 10^{-7}$	1	2,343	7,233	$1,33 \cdot 10^{-2}$
калория в секунду	4,1868	$4,1868 \cdot 10^7$	0,427	1	3,088	$5,69 \cdot 10^{-3}$
фут-фунт-сила в секунду	1,3558	$1,3558 \cdot 10^7$	0,138	0,3246	1	$1,84 \cdot 10^{-3}$
лошадиная сила	736	$7,36 \cdot 10^9$	75	175,5	542,5	1

Таблица 39. Соотношение между единицами кинематической вязкости

Единица	м <sup>2</sup> /с	Ст	сСт	м <sup>2</sup> /ч	ft <sup>2</sup> /с	ft <sup>2</sup> /h
квадратный метр на секунду	1	$10^4$	$10^6$	3600	10,76	$38,75 \cdot 10^3$
стокс	$10^{-4}$	1	100	0,36	$1,076 \cdot 10^{-3}$	3,875
сантистокс	$10^{-6}$	0,01	1	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$1,076 \cdot 10^{-5}$	$3,875 \cdot 10^{-2}$
квадратный метр на час	$2,778 \cdot 10^{-4}$	2,778	277,8	1	2,99 · 10 <sup>-3</sup>	10,76
квадратный фут на секунду	$9,29 \cdot 10^{-2}$	929	$9,29 \cdot 10^4$	334,5	1	3600
квадратный фут на час	$2,58 \cdot 10^{-5}$	0258	25,8	$9,29 \cdot 10^{-2}$	$2,78 \cdot 10^{-4}$	1

Таблица 40. Соотношение между единицами динамической вязкости

Единица	Па · с	П	кгс · с/м <sup>2</sup>	lbf · s/ft <sup>2</sup>
паскаль-секунда	1	10	0,102	$2,09 \cdot 10^{-2}$
пуаз	0,1	1	$1,02 \cdot 10^{-2}$	$2,09 \cdot 10^{-6}$
килограмм-сила-секунда на квадратный метр	9,81	9,81	1	0,205
фунт-сила-секунда на квадратный фут	47,88	478,8	4,88	1

Таблица 41. Соотношение между единицами объемного расхода

Единица	м <sup>3</sup> /с	дм <sup>3</sup> /с (л/с)	л/мин	м <sup>2</sup> /ч	л/ч	см <sup>3</sup> /с	ft <sup>3</sup> /с	in <sup>3</sup> /с
кубический метр в секунду	1	10 <sup>3</sup>	$6 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^6$	10 <sup>6</sup>	35,3	$6,1 \cdot 10^4$
кубический дециметр в секунду (литр в секунду)	$10^{-3}$	1	60	3,6	$3,6 \cdot 10^3$	10 <sup>3</sup>	$3,53 \cdot 10^{-2}$	61
литр в минуту	$1,67 \cdot 10^{-5}$	$1,67 \cdot 10^{-2}$	1	$6 \cdot 10^{-2}$	60	16,7	$5,89 \cdot 10^{-4}$	1,02
кубический метр в час	$2,78 \cdot 10^{-4}$	0,278	16,7	1	10 <sup>3</sup>	$2,78 \cdot 10^2$	$9,8 \cdot 10^{-3}$	16,9
литр в час	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$2,78 \cdot 10^{-4}$	$1,67 \cdot 10^{-2}$	10 <sup>-3</sup>	1	0,278	$9,8 \cdot 10^{-6}$	$1,69 \cdot 10^{-2}$
кубический сантиметр в секунду	$10^{-6}$	10 <sup>-3</sup>	6,10 <sup>-2</sup>	$3,6 \cdot 10^{-3}$	3,6	1	$3,53 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-2}$
кубический фут в секунду	$2,83 \cdot 10^{-2}$	28,3	$1,7 \cdot 10^3$	$1,02 \cdot 10^2$	$1,02 \cdot 10^5$	$2,83 \cdot 10^4$	1	$1,728 \cdot 10^3$
кубический дюйм в секунду	$1,64 \cdot 10^{-5}$	$1,64 \cdot 10^{-4}$	0,984	$5,9 \cdot 10^{-2}$	59	16,4	$5,8 \cdot 10^{-4}$	1

Таблица 42. Соотношение между единицами количества теплоты

Единица	Дж	кал	кал <sub>15</sub>	кал (термохим.)	Btu
джоуль	1	0,238846	0,238920	0,239006	9,4781 · 10 <sup>-4</sup>
калория (межд.)	4,1868	1	1,00031	1,00067	3,96829 · 10 <sup>-3</sup>
калория 15-градусная	4,1855	0,99969	1	1,00036	3,96706 · 10 <sup>-3</sup>
калория (термохим.)	4,1840	0,99933	0,99964	1	3,96564 · 10 <sup>-3</sup>
британская тепловая единица	1055,06	251,997	252,075	252,075	1

Таблица 43. Соотношение между единицами удельной теплоемкости

Единица	Дж/(кг · К)	эрг/(г · °С)	ккал/(кг · °С)	кал/(г · °С)	Вт/(1б · °F)
джоуль на килограмм-кельвин	1	10 <sup>4</sup>	2,39 · 10 <sup>-4</sup>	2,39 · 10 <sup>-4</sup>	2,39 · 10 <sup>-4</sup>
эрг на грамм-градус Цельсия	10 <sup>-4</sup>	1	2,39 · 10 <sup>-8</sup>	2,39 · 10 <sup>-8</sup>	2,39 · 10 <sup>-8</sup>
килокалория на килограмм-градус Цельсия	4,187 · 10 <sup>3</sup>	4,187 · 10 <sup>7</sup>	1	1	1
калория на грамм-градус Цельсия	4,187 · 10 <sup>3</sup>	4,187 · 10 <sup>7</sup>	1	1	1
британская тепловая единица на фунт-градус Фаренгейта	4,187 · 10 <sup>3</sup>	4,187 · 10 <sup>7</sup>	1	1	1

Таблица 44. Соотношение между единицами коэффициента теплопередачи

Единица	Вт/(м <sup>2</sup> · К)	эрг/(с · см <sup>2</sup> · °С)	ккал/(ч · м <sup>2</sup> · °С)	кал/(с · см <sup>2</sup> · °С)	Вт/(ф · ft <sup>2</sup> · °F)
ватт на квадратный метр-кельвин	1	10 <sup>8</sup>	0,86	2,39 · 10 <sup>-5</sup>	0,176
эрг в секунду на квадратный сантиметр-градус Цельсия	10 <sup>-3</sup>	1	8,6 · 10 <sup>4</sup>	2,39 · 10 <sup>-8</sup>	1,76 · 10 <sup>-4</sup>

Единица	Вт/(м <sup>2</sup> · К)	эрг/(с · см <sup>2</sup> · °С)	ккал/(ч · м <sup>2</sup> · °С)	кал/(с · см <sup>2</sup> · °С)	Вту/(ч · ф <sup>2</sup> · °Ф)
килокалория в час на квадратный метр-градус Цельсия	1,16	1,16 · 10 <sup>3</sup>	1	2,78 · 10 <sup>-5</sup>	0,205
калория в секунду на квадратный сантиметр-градус Цельсия	4,187	4,187 · 10 <sup>3</sup>	3,6 · 10 <sup>4</sup>	1	7,37 · 10 <sup>3</sup>
британская тепловая единица в час на квадратный фут-градус Фаренгейта	5,68	5,68 · 10 <sup>3</sup>	4,89	135,6 · 10 <sup>-6</sup>	1

Таблица 45. Соотношение между единицами коэффициента теплопроводности

Единица	Вт/(м · К)	эрг/(с · см · °С)	ккал/(ч · м · °С)	кал/(с · см · °С)	Вту/(ч · фт · °Ф)
ватт на метр-кельвин	1	10 <sup>5</sup>	0,86	2,39 · 10 <sup>-3</sup>	0,578
эрг в секунду на сантиметр-градус Цельсия	10 <sup>-5</sup>	1	8,6 · 10 <sup>-6</sup>	2,39 · 10 <sup>-8</sup>	5,78 · 10 <sup>-6</sup>
килокалория в час на метр-градус Цельсия	1,163	1,163 · 10 <sup>6</sup>	1	2,78 · 10 <sup>-3</sup>	0,672
калория в секунду на сантиметр-градус Цельсия	4,187 · 10 <sup>2</sup>	4,187 · 10 <sup>7</sup>	3,6 · 10 <sup>2</sup>	1	242
британская тепловая единица в час на фут-градус Фаренгейта	1,73	1,73 · 10 <sup>5</sup>	1,488	4,13 · 10 <sup>-3</sup>	1

Таблица 46. Соотношение между единицами количества электричества

Единица	Кл	ед, СГС, СГСЭ и СГС <sub>ε<sub>0</sub></sub>	ед. СГСМ и СГС μ <sub>0</sub>
кулон	1	3 · 10 <sup>9</sup>	0,1
ед. СГС, СГСЭ и, СГС ε <sub>0</sub>	3,34 · 10 <sup>-10</sup>	1	• 3,34 · 10 <sup>-11</sup>
ед. СГСМ и СГС μ <sub>0</sub>	10	3 · 10 <sup>10</sup>	1

**Таблица 47. Соотношение между единицами напряженности электрического поля**

Единица	В/м	В/см	ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	ед. СГСМ и СГС $\mu_0$
вольт на метр	1	$10^{-2}$	$3,34 \cdot 10^{-5}$	$10^6$
вольт на сантиметр	$10^2$	1	$3,34 \cdot 10^{-3}$	$10^8$
ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^2$	1	$3,34 \cdot 10^{-11}$
ед. СГСМ и СГС $\mu_0$	$10^{-6}$	$10^{-8}$	$3 \cdot 10^{10}$	1

**Таблица 48. Соотношение между единицами поверхностей плотности электрического заряда**

Единица	Кл/м <sup>2</sup>	ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	ед. СГСМ и СГС $\mu_0$
кулон на квадратный метр	1	$3 \cdot 10^5$	$10^{-5}$
ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$3,34 \cdot 10^{-9}$	1	$3,34 \cdot 10^{-11}$
ед. СГСМ и СГС $\mu_0$	$10^5$	$3 \cdot 10^{10}$	1

**Таблица 49. Соотношение между единицами объемной плотности электрического заряда**

Единица	Кл/м <sup>3</sup>	ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	ед. СГСМ и СГС $\mu_0$
кулон на кубический метр	1	$3 \cdot 10^3$	$10^{-7}$
ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$3,34 \cdot 10^{-4}$	1	$3,34 \cdot 10^{-11}$
ед. СГСМ и СГС $\mu_0$	$10^7$	$3 \cdot 10^{10}$	1

**Таблица 50. Соотношение между единицами электрического смещения**

Единица	Кл/м <sup>2</sup>	ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	ед. СГСМ и СГС $\mu_0$
кулон на квадратный метр	1	$3,77 \cdot 10^9$	$1,26 \cdot 10^{-4}$
ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$2,65 \cdot 10^{-7}$	1	$3,34 \cdot 10^{-11}$
ед. СГСМ и СГС $\mu_0$	$7,96 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{10}$	1

**Таблица 51. Соотношение между единицами потока электрического смещения**

Единица	Кл	ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	ед. СГС и СГС $\mu_0$
кулон	1	$3,77 \cdot 10^{10}$	1,26
ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$2,65 \cdot 10^{-11}$	1	$3,34 \cdot 10^{-11}$
ед. СГСМ и СГС $\mu_0$	0,796	$3 \cdot 10^{10}$	1

Таблица 52. Соотношение между единицами электрического потенциала

Единица	В	ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	ед. СГСМ и СГС $\mu_0$
вольт	1	$3,34 \cdot 10^{-8}$	$10^8$
ед. СГС, СГСМ и СГС $\epsilon_0$	300	1	$3 \cdot 10^{10}$
ед. СГСМ и СГС $\mu_0$	$10^{-8}$	$3,34 \cdot 10^{-11}$	1

Таблица 53. Соотношение между единицами электрической емкости

Единица	Ф	см (ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$ )	ед. СГСМ и СГС $\mu_0$
фарад	1	$8,99 \cdot 10^{11}$	$10^{-9}$
сантиметр (ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$ ), ед. СГСМ и СГС $\mu_0$	$1,11 \cdot 10^{-12}$	1	$1,11 \cdot 10^{-21}$
	$10^9$	$8,99 \cdot 10^{20}$	1

Таблица 54. Соотношение между единицами силы электрического тока

Единица	А	ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	ед. СГСМ и СГС $\mu_0$
ампер	1	$3 \cdot 10^9$	0,1
ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$3,34 \cdot 10^{-10}$	1	$3,34 \cdot 10^{-11}$
ед. СГСМ и СГС $\mu_0$	10	$3 \cdot 10^{10}$	1

Таблица 55. Соотношения между единицами электрического сопротивления

Единица	Ом	ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	ед. СГСМ и СГС $\mu_0$
Ом	1	$1,11 \cdot 10^{-12}$	$10^9$
ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$8,99 \cdot 10^{11}$	1	$8,99 \cdot 10^{20}$
ед. СГСМ и СГС $\mu_0$	$10^{-9}$	$1,11 \cdot 10^{-21}$	1

Таблица 56. Соотношение между единицами удельного электрического сопротивления

Единица	Ом·м	Ом·см	$\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	ед. СГСМ и СГС $\mu_0$
ом-метр	1	$10^2$	$10^6$	$1,11 \cdot 10^{-10}$	$10^{11}$
ом-сантиметр	$10^{-2}$	1	$10^4$	$1,11 \cdot 10^{-12}$	$10^9$
ом-квадратный миллиметр на метр	$10^{-6}$	$10^{-4}$	1	$1,11 \cdot 10^{-16}$	$10^5$
ед. СГС, СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$8,99 \cdot 10^9$	$8,99 \cdot 10^{11}$	$8,99 \cdot 10^{15}$	1	$8,99 \cdot 10^{20}$
ед. СГСМ и СГС $\mu_0$	$10^{-11}$	$10^{-9}$	$10^{-5}$	$1,11 \cdot 10^{-21}$	1

Таблица 57. Соотношение между единицами магнитной индукции

Единица	Тл	Гс (ед. СГС, СГСМ, СГС $\mu_0$ )	ед. СГСЭ и СГС $\epsilon_0$
тесла	1	$10^8$	$3,34 \cdot 10^{-7}$
гаусс (ед. СГС, СГСМ и СГС $\mu_0$ )	$10^{-4}$	1	$3,34 \cdot 10^{-11}$
ед. СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$3 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{10}$	1

Таблица 58. Соотношение между единицами магнитного потока

Единица	Вб	Макс (ед. СГС, СГСМ и СГС $\mu_0$ )	ед. СГСЭ и СГС $\epsilon_0$
вебер	1	$10^8$	$3,34 \cdot 10^{-3}$
максвелл (ед. СГС, СГСМ и СГС $\mu_0$ )	$10^{-8}$	1	$3,34 \cdot 10^{-11}$
ед. СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$3 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^{10}$	1

Таблица 59. Соотношение между единицами напряженности магнитного поля

Единица	А/м	Э (ед. СГС, СГСМ и СГС $\mu_0$ )	ед. СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	А·в/см
ампер на метр	1	$1,26 \cdot 10^{-2}$	$3,77 \cdot 10^8$	$10^{-2}$
эрстед (ед. СГС, СГСМ и СГС $\mu_0$ )	79,6	1	$3 \cdot 10^{10}$	0,796
ед. СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$2,65 \cdot 10^{-9}$	$3,34 \cdot 10^{-11}$	1	$2,65 \cdot 10^{-11}$
ампер-виток на сантиметр	$10^2$	1,26	$3,77 \cdot 10^{10}$	1

Таблица 60. Соотношение между единицами магнитодвижущей силы

Единица	А	Гб (ед. СГС, СГСМ и СГС $\mu_0$ )	ед. СГСЭ и СГС $\epsilon_0$
ампер	1	1,26	$3,77 \cdot 10^{10}$
гильберт (ед. СГС, СГСМ и СГС $\mu_0$ )	0,796	1	$3 \cdot 10^{10}$
ед. СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$2,65 \cdot 10^{-11}$	$3,34 \cdot 10^{-11}$	1

Таблица 61. Соотношение между единицами индуктивности и взаимной индуктивности

Единица	Гн	см (ед. СГС, СГСМ и СГС $\mu_0$ )	ед. СГСЭ и СГС $\epsilon_0$
генри	1	$10^9$	$1,11 \cdot 10^{-12}$
сантиметр (ед. СГС, СГСМ и СГС $\mu_0$ )	$10^{-9}$	1	$1,11 \cdot 10^{-21}$
ед. СГСЭ и СГС $\epsilon_0$	$8,99 \cdot 10^{11}$	$8,99 \cdot 10^{20}$	1

Таблица 62. Соотношение между единицами яркости

Единица	кд/м <sup>2</sup>	сб	асб	лб
кандела на квадратный метр	1	10 <sup>-4</sup>	3,14	3,14 · 10 <sup>-4</sup>
стильб	10 <sup>4</sup>	1	3,14 · 10 <sup>4</sup>	3,14
апостильб	0,319	3,19 · 10 <sup>-5</sup>	1	10 <sup>-4</sup>
ламберт	3,19 · 10 <sup>8</sup>	0,319	10 <sup>4</sup>	1

Таблица 63. Значения фундаментальных физических констант\*

Константа	Обозначение	Числовое значение
Гравитационная постоянная	$G$	6,6720 (41) · 10 <sup>-11</sup> Н · м <sup>2</sup> · кг <sup>-2</sup>
Скорость света в вакууме	$c_0$	299 792 458 (1,2) м · с <sup>-1</sup>
Магнитная постоянная	$\mu_0$	4π · 10 <sup>-7</sup> Гн · м <sup>-1</sup> = 1,256 637 06144 × × 10 <sup>-6</sup> Гн · м <sup>-1</sup>
Электрическая постоянная	$\epsilon_0$	8,854 187 82 (7) · 10 <sup>-12</sup> Ф · м <sup>-1</sup>
Постоянная Планка	$h$	6,626 176 (36) · 10 <sup>-34</sup> Дж · Гц <sup>-1</sup>
	$h/2\pi$	1,054 588 7 (57) · 10 <sup>-34</sup> Дж · с
Масса покоя электрона	$m_e$	5,485 802 6 (21) · 10 <sup>-4</sup> а. е. м. 9,109 524 (47) · 10 <sup>-31</sup> кг
Масса покоя протона	$m_p$	1,672 648 5 (86) · 10 <sup>-27</sup> кг 1,007 276 470 (11) а. е. м.
Масса покоя нейтрона	$m_n$	1,674 954 3 (86) · 10 <sup>-27</sup> кг 1,008 665 012 (37) а. е. м.
Масса покоя мюона	$m_\mu$	1,883 566 (11) · 10 <sup>-28</sup> кг 0,113 429 20 (26) а. е. м.
Отношение массы протона к массе электрона	$m_p/m_e$	1 836,151 52 (70)
Отношение массы мюона к массе электрона	$m_\mu/m_e$	206,768 65 (47)
Элементарный заряд	$e$	1,602 189 2 (46) · 10 <sup>-19</sup> Кл
Отношение заряда электрона к его массе	$e/m_e$	1,758 804 7 (49) · 10 <sup>11</sup> Кл · кг <sup>-1</sup>
Магнетон Бора	$\mu_B = eh/4\pi m_e$	9,274 078 (36) · 10 <sup>-24</sup> Дж · Т <sup>-1</sup>
Ядерный магнетон	$\mu_N = eh/4\pi m_p$	5,050 824 (20) · 10 <sup>-27</sup> Дж · Т <sup>-1</sup>
Магнитный момент электрона	$\mu_e$	9,284 832 (36) · 10 <sup>-24</sup> Дж · Т <sup>-1</sup>

\* Числовые значения констант приведены в соответствии с ГСС СДП—76 «Фундаментальные физические константы». Число в скобках после числового значения величины соответствует стандартному отклонению этого значения для последних указанных значащих цифр.

1	2	3
Магнитный момент протона	$\mu_p$	$1,410\ 617\ 1\ (55) \cdot 10^{-26}$ Дж · Т <sub>л</sub> <sup>-1</sup>
Магнитный момент мюона	$\mu_\mu$	$4,490\ 474\ (18) \cdot 10^{-26}$ Дж · Т <sub>л</sub> <sup>-1</sup>
Магнитный момент протона в магнетонах Бора	$\mu_p/\mu_B$	0,001 521 032 209 (16)
Магнитный момент протона в ядерных магнетонах	$\mu_p/\mu_N$	2,792 845 6(11)
Отношение магнитного момента электрона к магнитному моменту протона	$\mu_e/\mu_p$	658,210 688 0 (66)
Отношение магнитного момента мюона к магнитному моменту протона	$\mu_\mu/\mu_p$	3,183 340 2 (72)
$g$ —фактор свободного электрона	$g_e=2(\mu_e/\mu_B)$	$2 \cdot 1,001\ 159\ 656\ 7\ (35)$
$g$ —фактор свободного мюона	$g_\mu$	$2 \cdot 1,001\ 166\ 16\ (31)$
Гиромагнитное отношение протона	$\gamma_p$	$2,675\ 198\ 7\ (75) \cdot 10^8$ с <sup>-1</sup> · Т <sub>л</sub> <sup>-1</sup>
Постоянная диамагнитного экранирования (H <sub>2</sub> O, сферический образец)	$1+\sigma\ (H_2O)$	1,000 025 637 (67)
Магнитный момент протона в ядерных магнетонах (H <sub>2</sub> O, сферический образец без поправки на диамагнетизм)	$\mu'_p/\mu_N$	2,792 774 0 (11)
Гиромагнитное отношение протона (H <sub>2</sub> O, сферический образец, без поправки на диамагнетизм)	$\gamma'_p$	$2,675\ 130\ 1\ (75) \cdot 10^8$ с <sup>-1</sup> · Т <sub>л</sub> <sup>-1</sup>
Атомная единица массы (10 <sup>-3</sup> кг · моль <sup>-1</sup> )	$\gamma'_p/2\pi$	42,576 02 (12) МГц · Т <sub>л</sub> <sup>-1</sup>
Массы атомов в а. е. м.: Протон	а. е. м.	1,660 565 5 (86) · 10 <sup>-27</sup> кг
Водород	$p$	1,007 276 470 (11)
Дейтерий	<sup>1</sup> H	1,007 825 036 (11)
Гелий	<sup>2</sup> H	2,014 101 795 (21)
Постоянная Авогадро	<sup>4</sup> He	4,002 603 267 (48)
Постоянная Фарадея	$N_A$	6,022 045 (31) · 10 <sup>23</sup> моль <sup>-1</sup>
Универсальная газовая постоянная	$F$	96 484,56 (27) Кл · моль <sup>-1</sup>
Объем грамм-молекулы идеального газа при нормальных условиях (101 325 Па, T <sub>0</sub> =273,15 К)	$R$	8,314 41 (26) Дж · моль <sup>-1</sup> · К <sup>-1</sup>
	$V_m=RT_0/P_0$	22,413 83 (70) · 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup> · моль <sup>-1</sup>

1	2	3
Постоянная Больцмана	$k=R/N_A$	$1,380\ 662\ (44) \cdot 10^{-23}$ Дж·К <sup>-1</sup>
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma$	$5,670\ 32\ (71) \cdot 10^{-8}$ Вт·м <sup>-2</sup> ·К <sup>-4</sup>
Первая постоянная излучения	$c_1=2\pi h c^2$	$3,741\ 832\ (20) \cdot 10^{-16}$ Вт·м <sup>2</sup>
Вторая постоянная излучения	$c_2=hc/k$	0,014 387 86 (45) м·К
Постоянная тонкой структуры	$\alpha=\mu_0 c e^2/2h \alpha^{-1}$	0,007 297 350 6 (60) 137,036 04 (11)
Постоянная Ридберга	$R_\infty$	10 973 731,77 (83) м <sup>-1</sup>
Радиус Бора	$a_0=\alpha/4\pi R_\infty$	0,529 177 06 (44) · 10 <sup>-10</sup> м
Классический радиус электрона	$r_e=\alpha\lambda_c/2\pi$	2,817 938 0 (70) · 10 <sup>-16</sup> м
Отношение Джозефсона	$2e/h$	483,593 9 (13) ТГц·В <sup>-1</sup>
Квант магнитного потока	$\Phi_0=h/2e$	2,067 850 6 (54) · 10 <sup>-15</sup> Вб
Квант циркуляции	$h/2m_e$	3,636 945 5 (60) · 10 <sup>-4</sup> Дж·с·кг <sup>-1</sup>
Комптонская длина волны электрона	$\lambda_c=\alpha^2/2R_\infty$	2,426 308 9 (40) · 10 <sup>-12</sup> м
Комптонская длина волны протона	$\lambda_{c,p}=\alpha a_0$	0,386 159 05 (64) · 10 <sup>-12</sup> м
Комптонская длина волны нейтрона	$\lambda_{c,n}=h/m_n c$	1,321 409 9 (22) · 10 <sup>-16</sup> м

Таблица 64. Абсолютная и относительная спектральные световые эффективности при различных длинах волн

$\lambda$ нм	$K_\lambda$ лм/Вт	$V_\lambda$	$\lambda$ нм	$K_\lambda$ лм/Вт	$V_\lambda$
380	0,03	0,000039	580	594	0,8700
400	0,27	0,00040	600	431	0,6310
420	0,73	0,00400	620	260	0,3810
440	15,7	0,0230	640	120	0,1750
460	41,0	0,0600	660	41,7	0,0610
480	90,2	0,1390	680	11,6	0,0170
500	221	0,3230	700	2,8	0,0041
520	485	0,7100	720	0,72	0,00105
540	652	0,9540	740	0,17	0,000249
560	680	0,9950	760	0,04	0,000060
—	—	—	780	0,01	0,000015

**УКАЗАТЕЛЬ ТАБЛИЦ**

- Таблица 1. Основные и дополнительные единицы СИ (по СТ СЭВ 1052—78) 28
- Таблица 2. Примеры производных единиц СИ, наименования которых образованы из наименований основных и дополнительных единиц (табл. 3 по СТ СЭВ 1052—78) 29
- Таблица 3. Производные единицы СИ, имеющие специальные наименования (табл. 4 по СТ СЭВ 1052—78) 30

Таблица 4. Примеры производных единиц СИ, наименования которых образованы с использованием специальных наименований (табл. 5 по СТ СЭВ 1052—78)	31
Таблица 5. Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ (табл. 6 по СТ СЭВ 1052—78)	32
Таблица 6. Внесистемные единицы, допускаемые к применению в специальных областях (табл. 7 по СТ СЭВ 1052—78)	33
Таблица 7. Единицы, временно допускаемые к применению (табл. 8 по СТ СЭВ 1052—78)	34
Таблица 8. Определяющие постоянные точки МПТШ-68	52
Таблица 9. Важнейшие механические единицы системы СГС	128
Таблица 10. Акустические единицы системы СГС (по ГОСТ 8849—58)	129
Таблица 11. Тепловые единицы системы СГС	130
Таблица 12. Электрические и магнитные единицы системы СГС (симметричной)	136
Таблица 13. Оптические и световые единицы системы СГСЛ	139
Таблица 14. Единицы ионизирующих излучений системы СГС	144
Таблица 15. Механические единицы системы МКГСС	154
Таблица 16. Относительные логарифмические величины и их единицы	162
Таблица 17. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований (по стандарту СЭВ)	163
Таблица 18. Десятичные кратные и дольные единицы от единиц СИ и некоторых внесистемных единиц (согласно рекомендации стандарта СЭВ)	164
Таблица 19. Уравнение электромагнетизма в рационализованной форме для СИ и нерационализованной форме для системы СГС (симметричной)	167
Таблица 20. Переводные коэффициенты для электрических и магнитных единиц	172
Таблица 21. Важнейшие внесистемные тепловые единицы	173
Таблица 22. Немеетрические единицы, применяемые в англоязычных странах	175
Таблица 23. Старые русские единицы	178
Таблица 24. Соотношение между единицами длины	179
Таблица 25. Соотношение между единицами площади	179
Таблица 26. Соотношение между единицами объема	180
Таблица 27. Соотношение между единицами массы	180
Таблица 28. Соотношение между единицами плотности	180
Таблица 29. Соотношение между единицами удельного объема	181
Таблица 30. Соотношение между единицами времени	181
Таблица 31. Соотношение между единицами скорости	181
Таблица 32. Соотношение между единицами ускорения	182
Таблица 33. Соотношение между единицами угла	182
Таблица 34. Соотношение между единицами угловой скорости	182
Таблица 35. Соотношение между единицами силы	183
Таблица 36. Соотношение между единицами давления и напряжения	183
Таблица 37. Соотношение между единицами энергии	183
Таблица 38. Соотношение между единицами мощности	184
Таблица 39. Соотношение между единицами кинематической вязкости	184
Таблица 40. Соотношение между единицами динамической вязкости	185
Таблица 41. Соотношение между единицами объемного расхода	185
Таблица 42. Соотношение между единицами количества теплоты	186
Таблица 43. Соотношение между единицами удельной теплоемкости	186
Таблица 44. Соотношение между единицами коэффициента теплопередачи	186
Таблица 45. Соотношение между единицами теплопроводности	187
Таблица 46. Соотношение между единицами количества электричества	187
Таблица 47. Соотношение между единицами напряженности электрического поля	188
Таблица 48. Соотношение между единицами поверхностной плотности электрического заряда	188

<i>Таблица 49.</i>	Соотношение между единицами объемной плотности электрического заряда	188
<i>Таблица 50.</i>	Соотношение между единицами электрического смещения	188
<i>Таблица 51.</i>	Соотношение между единицами потока электрического смещения	188
<i>Таблица 52.</i>	Соотношение между единицами электрического потенциала	189
<i>Таблица 53.</i>	Соотношение между единицами электрической емкости	189
<i>Таблица 54.</i>	Соотношение между единицами силы электрического тока	189
<i>Таблица 55.</i>	Соотношение между единицами электрического сопротивления	189
<i>Таблица 56.</i>	Соотношение между единицами удельного электрического сопротивления	189
<i>Таблица 57.</i>	Соотношение между единицами магнитной индукции	190
<i>Таблица 58.</i>	Соотношение между единицами магнитного потока	190
<i>Таблица 59.</i>	Соотношение между единицами напряженности магнитного поля	190
<i>Таблица 60.</i>	Соотношение между единицами магнитодвижущей силы	190
<i>Таблица 61.</i>	Соотношение между единицами индуктивности и взаимной индуктивности	190
<i>Таблица 62.</i>	Соотношение между единицами яркости	191
<i>Таблица 63.</i>	Значения фундаментальных физических констант	191
<i>Таблица 64.</i>	Абсолютная и относительная спектральные световые эффективности при различных длинах волн	193

**АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ ВАЖНЕЙШИХ ФИЗИЧЕСКИХ  
И ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ИХ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

Наименование величин	Обозначения величин		
	по стандартам	Рекомендации международных организаций	Стр.
1	2	3	4
Адсорбция		$\Gamma$	105
Активность радионуклида в источнике	$A$	$A$	121
» адсорбата поверхностная		$G$	105
Вектор Умова—Пойнтинга	$S, P$	$S$	91
Вес	$G, P, Q$	$G, W, P$	66
» объемный	$\gamma, \gamma_{об}$		66
Величина относительная		$\varepsilon$	123
Восприимчивость диэлектрическая	$\chi_a, \chi$	$k_e, \chi_e$	
» абсолютная			83
» диэлектрическая	$\chi_r$		
» относительная			83
» магнитная	$\chi, \chi_m$	$k_m, \chi_m$	89
Время	$t$	$T$	47
Время полураспада (период полураспада)		$T_{1/2}$	122
Вязкость динамическая	$\eta$	$\eta$	73
» кинематическая	$\nu$	$\nu$	73
» ударная		$a_n$	74
Градиент давления		$\text{grad } p$	69
» линейной скорости		$\text{grad } v$	62
» линейного ускорения		$\text{grad } a$	62
» плотности		$\text{grad } \rho$	63
» температурный		$\text{grad } T$	97
Давление	$p$	$p$	67
» звуковое		$p$	116
Дисперсия показателя преломления	$d_\lambda, d_f, d_\nu$		113
Длина	$L, l$	$L, l$	44
Длина волны	$\lambda$	$\lambda$	44
» » комптоновская		$\lambda_c$	193
» пути оптическая	$s$	$l$	112
Доза излучения поглощенная (доза излучения)	$D$	$D$	118
Доза фотонного излучения экспозиционная (экспозиционная доза)	$D_0$		120
Доза поглощенная	$D$	$D_n$	120
Емкость электрическая	$C$	$C$	82
Жесткость		$k$	68
Заряд электрический (количество электричества)	$Q$	$Q, q$	77
Заряд электрона	$e$	$e$	191
» элементарный электрический		$e$	191
Импульс (количество движения тела)		$p$	65
» момента силы		$L$	65
» молекулы и его компоненты		$p (p_x, p_y, p_z)$	65
» силы		$I$	67
Индуктивность собственная, коэффициент самоиндукции	$L$	$L$	87
Индуктивность взаимная	$M, L_{m,n}$	$M, L_{12}$	87

1	2	3	4
Индукция магнитная	$B$	$B$	86
Интенсивность звука (сила звука)		$I$	118
Интенсивность ионизирующего излучения		$\varphi$	120
» излучения	$I$	$I_e$	109
Керма	$K$	$K$	119
Количество вещества		$\nu, n$	53
» движения		$p$	65
» теплоты (теплота)	$Q$	$Q$	92
» электричества	$Q$	$Q, q$	77
Концентрация молекул (объемное число молекул)		$n_0$	100
Концентрация молярная		$C_B$	103
Коэффициент давления термический		$\beta$	100
» диффузии		$D, D_T$	104
» затухания	$\delta$	$\delta, \mu$	61
» Зеебека		$S_{ab}, \varepsilon_{ab}$	85
» ионизации		$\beta$	106
» линейного расширения	$\alpha, \beta$	$\alpha$	99
» температурный			
» объемного расширения	$\beta, \alpha$	$\gamma$	99
» температурный			
» Пельтье		$\Pi$	85
» поглощения света линейный		$\mu, \mu_1$	112
» Пуассона (число Пуассона)		$\mu$	68
» рекомбинации		$\gamma, \alpha$	106
» температурный	$\alpha$		99
» теплоотдачи	$\alpha$		97
» теплопередачи	$k$		97
» теплопроводности	$\lambda$	$\lambda$	98
» Томсона	$\mu, \tau$		85
» трения качения	$k$	$k$	72
» скольжения	$f$	$f$	72
» электрического сопротивления температурный	$\alpha$	$\alpha$	85
Кривизна		$K, k, \rho$	61
Масса	$m$	$m$	45
» молярная		$M, \mu, M_B$	100
» относительная атомная		$A_r$	100
» » молекулярная		$M_r$	100
» атома		$m_a$	191
» мюона		$m_\mu$	191
» протона		$m_p$	191
» нейтрона		$m_n$	191
» электрона		$m, m_e$	191
Магнетон Бора	$\mu_B$	$\mu_B, \beta$	191
» ядерный		$\mu_N$	191
Модуль сдвига	$G$	$G$	68
» продольной упругости (модуль Юнга)	$E$	$E$	68
Модуль упругости		$k$	68
Момент магнитный	$m$	$j$	88
» электрический диполя	$p$	$p$	78
» инерции (динамический момент инерции)	$I$	$I, J$	64

1	2	3	4
Момент импульса (момент количества движения)		$L$	65
Момент магнитный мюона		$\mu_\mu$	192
» » протона		$\mu_p$	192
» » электрона		$\mu_e$	191
» силы	$M$	$M$	66
» сопротивление плоской фигуры	$I_r, W$		64
» электрического тока магнитный	$m$		88
Мощность	$N, P$	$P$	72
» дозы излучения (мощность поглощенной дозы излучения)	$P, \dot{D}$	$\dot{D}$	119
Мощность дозы фотонного излучения экспозиционной (мощность экспозиционной дозы)	$P_0$	$\dot{X}$	120
Мощность звуковая		$N$	118
» кермы	$\dot{K}$	$\dot{K}$	120
» электрической цепи активная	$P$		91
» » » полная	$S, P_s$		92
» реактивная	$Q, P_Q$		92
Намагниченность	$M$	$M$	89
Напряжение механическое касательное	$\tau$	$\tau$	67
нормальное	$\sigma$	$\sigma$	67
» магнитное, разность магнитных скалярных потенциалов	$U_m$		86
Напряжение электрическое	$U$	$U, V$	79
Напряженность гравитационного поля		$g, G$	75
Напряженность магнитного поля	$H$	$H$	87
» электрического поля	$E$	$E$	81
Натяжение поверхностное (коэффициент)	$\alpha$	$\gamma, \sigma$	69
Объем (вместимость)	$V$	$V, v$	58
» молярный	$V_m$	$V_{mol}, V_v$	101
» удельный		$V_0, v$	63
Освечивание	$\theta_v$		115
Освещенность	$E_v$	$E$	114
» энергетическая (облученность)	$E_e$	$E_e$	109
Отношение гиромагнитное	$\gamma$	$\gamma$	89
» Джозефсона		$\frac{2e}{h}$	193
» массы протона к массе электрона		$m_p/m_e$	191
» заряда электрона к его массе		$e/m_e$	191
Период	$T$	$T, \tau$	59
» полураспада (время распада)		$T_{1/2}$	122
Плотность	$\rho$	$\rho$	62
» звуковой энергии		$w$	118
» силы излучения спектральная	$I_\lambda$		111
» энергии излучения объемная	$U_e$		108
» потока жидкости		$q_m$	74
» потока излучения поверхностная		$I, E$	109
» потока энергии ионизирующих частиц		$I, \Phi$	120
Плотность потока ионизирующих частиц	$\Phi_n$		121
» тока электрического	$J$		76

1	2	3	4
Плотность тока линейная	$A$		76
» электрического заряда линейная	$\tau$	$\tau$	78
» поверхностная	$\sigma$	$\sigma$	77
» пространственная (объемная)	$\rho$	$\rho$	77
» энергии объемная		$\omega$	71
» энергии излучения	$Q_{e\lambda}$		111
» энергетической освещенности	$E_\lambda, E_\nu$		110
спектральная			
Плотность энергетической светимости	$M_\lambda, M_\nu$		110
спектральная			
Плотность энергетической яркости спектральная	$L_\lambda, L_\nu$		111
Площадь	$S, F$	$A, S$	57
Подвижность носителей заряда (ионов, электронов)		$b$	106
Показатель поглощения	$a$	$\mu$	112
» поглощения главный	$\chi$		112
» преломления	$n$		112
» преломления обыкновенного луча	$n_o$		112
» преломления необыкновенного луча (главный)	$n_e$		112
Поляризованность	$p$	$p$	78
Постоянная Авогадро (число Авогадро)		$N_a$	101
» Больцмана		$k$	193
» гравитационная		$G$	191
» закона смещения	$C$		193
» молярная газовая (универсальная газовая постоянная)	$R$	$R$	103
Постоянная газовая удельная		$R_o$	96
» Планка	$h$	$h$	191
» радиоактивного распада		$\lambda$	122
» Ридберга	$R$	$R_\infty$	193
» Стефана-Больцмана	$\sigma$	$\sigma$	193
» тонкой структуры		$\alpha$	193
» Фарадея (число Фарадея)		$F$	192
» электрическая	$\epsilon_o$	$\epsilon_o$	82
» магнитная	$\mu_o$	$\mu_o$	88
Потенциал гравитационного поля		$\varphi$	75
» электрический	$V, \varphi$	$V, \varphi$	80
» магнитный (скалярный)	$V_m, \varphi_m$		86
» химический		$\mu_B$	101
Поток звуковой энергии		$P$	117
» излучения	$\Phi_e, P$	$\Phi_e, P$	108
» ионизирующих частиц	$\Phi_n$	$\Phi$	121
» магнитный	$\Phi$	$\Phi$	86
» напряженности электрического поля		$N$	81
» световой	$\Phi_v$	$\Phi, F$	113
» тепловой	$\Phi$		96
» электрического смещения	$\Psi$		79
» энергии ионизирующих частиц	$\Phi$	$P$	119
Проводимость электрическая, активная	$G, g$	$G$	84
» магнитная	$\Lambda$		90
» молярная электрическая		$\Lambda_m$	105

1	2	3	4
Проводимость удельная электрическая	$\gamma, \sigma$	$\sigma, \gamma$	84
» эквивалентная электрическая		$\Lambda$	106
Проницаемость абсолютная диэлектрическая	$\epsilon_a, \epsilon$	$\epsilon_a$	82
» » магнитная	$\mu_a, \mu$	$\mu_a$	88
» относительная диэлектрическая	$\epsilon_r$	$\epsilon_r$	82
» » магнитная	$\mu_r$	$\mu_r$	88
Работа, работа выхода	$A, W, L$	$W, A$	70
Радиус Бора		$a_0$	193
» электрона		$r_e$	193
Разность термодинамических температур		$\Delta T$	52
» температур Цельсия		$\Delta t$	52
» потенциалов	$U$	$U, V$	80
» магнитных скалярных потенциалов	$U_m$		86
» фаз	$\delta\varphi$	$\Delta$	91
» фаз напряжения и тока	$\varphi$		92
Расход массовый		$m_t$	74
» объемный		$V_t$	74
Самоиנדукция	$L$	$L$	87
Светимость	$M_v$		115
» энергетическая (излучательность)	$M_e$	$R_e$	109
Сечение взаимодействия ионизирующих частиц, эффективное		$\sigma$	122
Сила	$F, P, Q, R$	$F$	65
» касательная	$T$	$T$	65
» линзы, оптическая		$\Phi$	112
» магнитодвижущая вдоль замкнутого контура	$F, F_m$	$F, F_m$	86
» нормальная	$N$		65
» света	$I_v$	$I$	54
» энергетическая (сила излучения)	$I_e$	$I_e$	110
» тока	$I$	$I, j$	48
» электродвижущая	$E$		80
Скорость звуковых волн	$v$	$c_g$	115
» звука		$c$	115
» звуковых волн продольных		$c_l$	115
» » » поперечных		$c_t$	115
» изменения концентрации		$v_B, r_B$	103
» линейная	$v, w, u$	$v, u$	58
» массопередачи		$v_m$	104
» объемная	$v_v$		116
» реакции		$\zeta', \tau$	103
» света в вакууме	$c$	$c_0$	191
» угловая	$w$		60
Смещение электрическое	$D$	$D$	78
Сопротивление акустическое		$z_a$	116
» » удельное		$z_s$	117
» магнитное	$R_m, r_m$	$r_m$	90
» механическое		$Z_m$	117
» электрическое активное	$R, r$	$R$	83
» » полное (импеданс)	$Z$	$Z$	83
» » удельное	$\rho$	$\rho$	84
Сродство химическое		$A$	102
Степень диссоциации		$\alpha$	106
Текучесть		$\Psi$	73

1	2	3	4
Температура Кельвина	$T$	$T, \theta$	51
» Цельсия	$t$		51
Температуропроводность	$a$	$a$	98
Теплоемкость системы	$C$		95
» молярная		$C_m, C_p, C_v$	102
» объемная	$c$		95
» удельная		$c, c_p, c_v$	96
Теплопроводность (коэффициент теплопроводности)		$\lambda$	98
Теплота, количество теплоты	$Q$	$Q$	92
Теплота сгорания топлива удельная (теплотворная способность топлива)	$Q, H$	$q$	94
Теплота химической реакции удельная		$q$	94
Угол плоский		$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	55
» телесный		$\omega, \Omega$	56
Удлинение относительное	$\varepsilon, e$	$\varepsilon$	68
Уровень громкости		$L_N \Lambda$	163
Ускорение линейное	$a, j$	$a$	58
» касательное	$a_\tau$		58
» свободного падения	$g$	$g$	58
» нормальное	$a_n$	$a_n$	58
» угловое	$\varepsilon$	$\alpha$	60
Частота	$\nu, f$	$\nu, f$	59
» вращения		$n$	59
» дискретных событий (импульсов ударов)		$n$	59
Частота периодического процесса (колебаний, излучений)	$f, \nu$	$\nu, f$	59
Частота циклическая (угловая)	$\omega, \Omega$	$\omega$	59
» » резонансная	$\omega_{рез}$		59
Число волновое	$\nu, \sigma$	$\nu, \sigma$	60
» » круговое	$k$	$k$	61
Эквивалент электрохимический		$k$	107
Экспозиция световая	$H_v$	$H$	115
» энергетическая	$H_e$	$H_e$	109
Энергия	$W, E$	$E, W$	70
» внутренняя	$U$	$U$	93
» » молярная	$U_m$		101
» звуковая	$W$		117
» излучения	$Q_e, W$		108
» кинетическая (живая сила)	$T$	$E_k, T$	71
» магнитная, электрическая	$W$	$W$	90
» полная	$E$	$E$	71
» потенциальная	$\Pi$	$E_p$	71
» световая	$Q_v$	$Q_F$	113
» свободная, функция Гельмгольца		$F, E$	93
» электромагнитного поля	$W$		90
Энтальпия	$I$	$H$	93
» молярная	$I_m$	$H_m$	101
Энтропия	$S$	$S$	95
» удельная	$s$	$s_0$	96
» молярная		$S_m$	103

1	2	3	4
Эффективность относительная спектральная световая		$V_\lambda$	114
Эффективность спектральная световая		$K_\lambda$	113
Яркость	$L_v$	$B_\Phi \cdot L$	115
» энергетическая	$L_e$	$B_e$	110

Примечание. Обозначения величин приведены по данным Государственных стандартов, а также рекомендованные Международным Союзом чистой и прикладной физики, Международной организации по стандартизации (ИСО) и другими Международными организациями.

#### АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ ЕДИНИЦ

Акр	175	Британская тепловая единица на фунт	176
Ампер	48, 86	Британская тепловая единица на фунт-градус Ренкина	177
Ампер-квадратный метр	89	Британская тепловая единица на градус Фаренгейта	177
Ампер, международный	147	Бутылка винная	178
Ампер на квадратный метр	76	Бутылка водочная	178
Ампер на килограмм	120	Бушель (английский)	175
Ампер на метр	76, 87	Бушель (США)	175
Ампер-виток	195	Бэр	36
Ампер-час	77	Вар	92
Ангстрем	34	Ватт	72, 109
Апостильб	191	Ватт, международный	147
Ар	196	Ватт на квадратный метр	91, 109
Аршин	178	Ватт на квадратный метр-кельвин	97
Астрономическая единица длины	33	Ватт на кубический метр	110
Атомная единица массы	33	Ватт на метр-кельвин	98
Атомная единица массы, углеродная	101, 192	Ватт на метр-стерадиан	111
Атомная единица массы, кислородная	101	Ватт на стерадиан	110
Атмосфера, техническая	194	Ватт на стерадиан-квадратный метр	110
Атмосфера, физическая	194	Ватт на стерадиан-кубический метр	111
Бар	35	Ватт-час	184
Баррель нефтяной	175	Вебер	86
Баррель сухой (США)	175	Вебер, международный	147
Бария	132	Ведро	178
Барн	34	Верста	178
Беккерель	121	Вершок	178
Беккерель на килограмм	121	Вольт	80
Бел	162	Вольт-ампер	92
Берковец	178	Вольт, международный	147
Био	142	Вольт на метр	81
Бочка	178	Вольт-метр	81
Британская тепловая единица	176	Вольт на кельвин	86
Британская тепловая единица в час	176	Гал	34
Британская тепловая единица на секунду-квадратный фут-градус Ренкина	177	Галлон (англ.)	175
Британская тепловая единица на секунду-дюйм-градус Фаренгейта	177	Галлон (США)	175

Гарнц	178	Калория в секунду на квадратный сантиметр	173
Гаусс	138	Калория в секунду на сантиметр-градус Цельсия	174
Гектар	33	Калория на градус Цельсия	173
Генри	87	Калория на грамм	173
Генри в минус первой степени	90	Калория на грамм-градус Цельсия	173
Генри на метр	88	Калория термохимическая	36
Генри, международный	147	Калория 15-градусная	36
Герц	59	Кандела	54
Гильберт	138	Кандела на квадратный метр	115
Год	32, 47	Кандела-секунда	115
Гон	33, 182	Карат	34
Градус	182	Квадратная верста	178
Градус Ренкина	176	Квадратный градус	34, 193
Градус (угловой)	32	Квадратная линия	178
Градус Фаренгейта	177	Квадратная сажень	178
Градус Цельсия	186	Квадратный аршин	178
Грамм	128	Квадратный вершок	178
Грамм на кубический сантиметр	128	Квадратный дюйм	175
Грамм на моль	131	Квадратный метр	58
Грамм-сила	34	Квадратный метр на вольт-секунду	106
Гран	176	Квадратный метр на секунду	73, 98
Грей	119	Квадратный ярд	175
Грей в секунду	120	Квадратный сантиметр	128
Декада	163	Квадратный фут	175
Десятинна	178	Квадратный фут на секунду	176
Децибель	163	Кельвин	49
Джоуль	70	Кельвин в минус первой степени	85
Джоуль, международный	147	Кельвин на метр	98
Джоуль на квадратный метр	74	Киловатт-час	184
Джоуль на кельвин	95	Килограмм	45
Джоуль на килограмм	75, 94	Килограмм в секунду	74
Джоуль на килограмм-кельвин	96	Килограмм в минуту	159
Джоуль на кубический метр	72, 109	Килограмм в час	159
Джоуль на кубический метр-кельвин	95	Килограмм-метр в квадрате	64
Джоуль на метр	112	Килограмм-метр в квадрате на секунду	65
Джоуль на моль	101	Килограмм-метр в секунду	65
Джоуль на моль-кельвин	103	Килограмм на кулон	107
Дина	128	Килограмм на кубический метр	62
Дина на квадратный сантиметр	128	Килограмм на метр в четвертой степени	63
Дина на кубический сантиметр	128	Килограмм на моль	100
Дина-секунда на сантиметр в пятой степени	129	Килограмм на квадратный метр-секунду	74
Дина-секунда на сантиметр	129	Килограмм-сила	34, 154
Диоптрия	33	Килограмм-сила-метр	154
Доля	178	Килограмм-сила-метр в секунду	154
Драхма	178	Килограмм-сила на квадратный метр	154
Дюйм	175, 178	Килограмм-сила на квадратный миллиметр	35
Единица массы техническая	153		
Единица СГС <sub>Q</sub>	187		
Золотник	178		
Икс-единица	34		
Калория (межд.)	36		
Калория в секунду	174		

Килограмм-сила на квадратный сантиметр	35	Лот	178
Килограмм-сила на кубический метр	154	Люкс	114
Килограмм-сила-метр-секунда в квадрате	154	Люкс-секунда	115
Килограмм-сила-секунда в квадрате на метр	154	Люмен	113
Килограмм-сила-секунда в квадрате на метр в четвертой степени	154	Люмен на ватт	114
Килограмм-сила-секунда на квадратный метр	154	Люмен на квадратный метр	115
Килокалория	184	Люмен-секунда	113
Килокалория в час	174	Люмен-секунда на эрг	140
Килокалория в час на метр-градус Цельсия	174	Максвелл	138
Килокалория на килограмм градус Цельсия	186	Месяц	32
Километр в час	181, 159	Метр	44
Киломоль	54	Метр в минус первой степени	60
Килопонд	34	Метр в секунду	58
Килопонд на квадратный миллиметр	35	Метр в третьей степени	65
Килопонд на квадратный сантиметр	35	Метр в четвертой степени	64
Кружка	178	Метр квадратный на секунду	73
Кубическая линия	178	Метр на секунду в квадрате	59
Кубическая сажень	178	Микрон	179, 195
Кубический аршин	178	Миллиметр водяного столба	35, 183
Кубический вершок	178	Миллиметр ртутного столба	35, 183
Кубический дюйм	175	Миллионная доля	162
Кубический метр	58	Миля	175
Кубический метр в секунду	74	Миля в час	175
Кубический метр на килограмм	63	Минута	32
Кубический метр на моль	101	Минута угловая	182
Кубический метр на тонну	181	Моль	53
Кубический метр-секунда в минус первой степени	107	Моль в секунду	103
Кубический сантиметр	128	Моль на килограмм	105
Кубический сантиметр в секунду	128	Моль на квадратный метр	105
Кубический сантиметр на моль	131	Моль на кубический метр	103
Кубический фут	175	Моль на кубический сантиметр	131
Кулон	76	Морская миля	34
Кулон, международный	147	Морская миля в час	181
Кулон-метр	78	Непер	163
Кулон на квадратный метр	76	Нит	152
Кулон на килограмм	120	Ньютон	66
Кулон на кубический метр	76	Ньютон-метр	66
Кулон на метр	78	Ньютон на килограмм	75
Кюри	36	Ньютон на кубический метр	66
Ламберт	140	Ньютон на метр	70
Линия	178	Ньютон-секунда	67
Литр	32	Ньютон-секунда на метр	73
Литр в секунду	185	Оборот	195
Лошадиная сила	35	Оборот в минуту	34
Лошадиная сила, английская	176	Оборот в секунду	34
		Октава	163
		Ом	84
		Ом, международный	147
		Ом-квадратный миллиметр на метр	35
		Ом-метр	84
		Парсек	33
		Паскаль	67
		Паскаль в минус первой степени-секунда в минус первой степени	73

Паскаль на метр	69	Точка	178
Паскаль-секунда	73,185	Узел	34
Паскаль-секунда на кубический метр	117	Унция аптекарская (США)	175
Паскаль-секунда на метр	117	Унция жидкостная (англ.)	175
Пинта жидкостная (США)	175	Унция жидкостная (США)	175
Пинта сухая (США)	175	Унция	176
Полный телесный угол	57	Унция тройская	176
Понд	34	Фарад	82
Промилле	162	Фарад, международный	147
Процент	162	Фарад на метр	82
Прямой угол	182	Фон	163
Пуаз	128	Фот	139
Пуд	178	Фот в секунду	139
Рад	36	Франклин	142
Радиан	55	Фунт	176,178
Радиан в секунду	60	Фунт на кубический фут	180
Радиан на секунду в квадрате	60	Фунт-сила	176
Радлюкс	152	Фунт-сила-фут	176
Радфот	139	Фунт-сила на квадратный дюйм	183
Рентген	36	Фунт-сила-секунда на квадратный фут	185
Сажень	178	Фут	175
Сантиметр	128	Фут в секунду	175
Сантиметр в секунду	128	Фут на секунду в квадрате	175
Сантиметр на секунду в квадрате	128	Фут-фунт-сила в секунду	176
Сантистокс	184	Чарка	178
Световой год	33	Час	32
Свеча	152	Четверик	178
Секунда	47	Четверть	178
Секунда в минус первой степени	59	Центнер	34,176
Секунда в минус первой степени-метр в минус второй степени	122	Штоф	178
Секунда угловая	182	Электрон-вольт	33
Сименс	84	Эрг	128
Сименс на метр	84	Эрг в секунду	128
Сименс-метр в квадрате на моль	105	Эрг в секунду на квадратный сантиметр	129
Скрупул	178	Эрг в секунду на квадратный сантиметр-кельвин	130
Сотка	178	Эрг в секунду на стадион	140
Стен	183	Эрг в секунду на стерадиан-квадратный сантиметр	140
Стерадиан	56	Эрг на грамм	130
Стильб	139	Эрг на грамм-кельвин	130
Стокс	128	Эрг на градус Цельсия	130
Сутки	32	Эрг на кельвин	130
Термия	176	Эрг на кубический сантиметр	129
Тесла	86	Эрг на квадратный сантиметр	140
Текс	34	Эрг на моль	131
Тонна	33	Эрг на моль-кельвин	131
Тонна, английская	176	Эрстед	138
Тонна (США)	176	Ярд	175
Тонна-сила	35	Ярд в секунду	181
Торр	35		

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристов Е. М.*— Физические величины и единицы их измерения.— Л.: Судпромгиз, 1963.— 96 с.
2. *Alard R.* Le Système International de mesures.— Paris: Gauthier-villars, 1963.— 35 p.
3. *Базакуча В. А.* Международная система единиц/ Под общ. ред. Г. Д. Бурдуна.— 4-е изд.— Х.: Изд-во Харьк. ун-та, 1973.— 236 с.
4. *Богданович А. С., Дущенко В. П.* Таблицы Международной системы единиц/Под ред. Г. Д. Бурдуна.— Х.: Изд-во Харьк. ун-та, 1964.— 59 с.
5. *Богуславский М. Г., Широков К. П.* Международная система единиц СИ: Пособие для лекторов и пропагандистов.— М.: Изд-во стандартов, 1965.— 59 с.
6. *Бурдун Г. Д.* Единицы физических величин.— 4-е изд.— М.: Изд-во стандартов, 1967.— 216 с.
7. *Бурдун Г. Д., Калашников Н. В., Стоцкий Л. Р.* Международная система измерительных единиц.— 3-е изд., София, 1966.— 263 с.
8. *Бурдун Г. Д.* XI Генеральная конференция по мерам и весам.— Усп. физ. наук, 1962, 76, вып. 2, с. 383— 390 с.
9. *Бурдун Г. Д., Калашников Н. В., Стоцкий Л. Р.* Международная система единиц: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. Г. Д. Бурдуна.— М.: Высш. школа, 1964.— 274 с.
10. ГОСТ 8.417—81 (ст. СЭВ 1052—78). Единицы физических величин.— Введ. 01.01.82.
11. ГОСТ 9867—61. Международная система единиц.— Введ. 01.01.60.
12. *Джаков Е.* Международная система измерительных единиц. София, 1975.— 153 с.
13. *Журавлев А. Н.* Международная система единиц и порядок введения ее в СССР.— М., изд. Моск. авиац. ин-та, 1967.— 32 с.
14. *Золотова Э. А.* Международная система единиц измерений (СИ): Аннотированный указатель литературы.— М.: Изд-во стандартов, 1968.— 277 с.
15. *International standart ISO 31.* Grandeurts e unites. Paris, 1963, с. 56.
16. *Le Sistème International d'unite.*— Revue de Metrologie, 1957, № 4, Paris, p. 223.
17. *Методические указания.* Внедрение и применение СТ СЭВ 1052—78 «Метрология. Единицы физических величин». РД 50-160—79.— М.: Изд-во стандартов, 1979.— 56 с.
18. *Метрология.* Единицы физических величин. Стандарт СЭВ (СТ СЭВ 1052—78).— София, 1979.— 39 с.
19. *О внедрении* Международной системы единиц: Сб. докл./Под ред. К. П. Широкова.— М.: Изд-во стандартов, 1965.— 103 с.
20. *Резников Л. И.* Международная система единиц в курсе физики средней школы.— 2-е изд.— М.: Просвещение, 1969.— 63 с.
21. *Сена Л. А.* Единицы физических величин и их размерности.— М.: Наука, 1977.— 304 с.
22. *Стоцкий Л. Р.* Международная система единиц (СИ).— М.: Недра, 1965.— 57 с.
23. *Таблицы перевода единиц измерений/Под ред. К. П. Широкова.*— М.: Стандартгиз, 1963.— 137 с.
24. *Чертов А. Г.* Единицы физических величин.— М.: Высш. школа, 1977.— 287 с.
25. *Широков К. П.* Внедрение Международной системы единиц — важное условие дальнейшего прогресса науки и техники.— М.: Изд-во стандартов, 1965.— 15 с.
26. *Широков К. П.* Развитие Международной системы единиц.— Измер. техника, 1975, № 4, с. 19—23.
27. *Широков К. П.* Развитие метрической системы мер и пути перехода в СССР к Международной системе единиц.— Измер. техника, 1964, № 4, с. 13—16.
28. *Шушания В. Р.* Международные единицы измерения физических величин.— Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1968.— 92 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

	Предисловие . . . . .	3
<b>1</b>	<b>Общие сведения</b>	
	1.1. Физические величины и их измерение. Единицы физических величин. Некоторые сведения из метрологии . . . . .	5
	1.2. Основные и производные физические величины. Размерности производных физических величин. Систематизация единиц. Основные и производные единицы. Внесистемные, кратные и дольные единицы . . . . .	11
	1.3. Принципы построения рациональных систем единиц. О переходе от единиц одной системы к единицам другой . . . . .	15
<b>2</b>	<b>Международная система мер</b>	
	2.1. Метрическая система мер . . . . .	18
	2.2. Краткая история создания Международной системы единиц (СИ) . . . . .	21
	2.3. Основные принципы построения СИ . . . . .	24
	2.4. Важнейшие преимущества Международной системы единиц . . . . .	25
	2.5. Стандарт СЭВ «Метрология. Единицы физических величин» (СТ СЭВ 1052—78). Общие положения . . . . .	27
	2.6. Наименования единиц СИ . . . . .	38
	2.7. Обозначения единиц СИ . . . . .	39
<b>3</b>	<b>Совокупность допускаемых к применению единиц</b>	
	1. Основные единицы СИ . . . . .	44
	3.1.1. Единица длины — метр . . . . .	44
	3.1.2. Единица массы — килограмм . . . . .	45
	3.1.3. Единица времени — секунда . . . . .	47
	3.1.4. Единица силы электрического тока — ампер. . . . .	48
	3.1.5. Единица термодинамической температуры — кельвин. Температурные шкалы . . . . .	49
	3.1.6. Единица количества вещества — моль . . . . .	53
	3.1.7. Единица сил света — кандела . . . . .	54
	3.2. Дополнительные единицы СИ . . . . .	55
	3.2.1. Единица плоского угла — радиан. . . . .	55
	3.2.2. Единица телесного угла — стерadian . . . . .	56
	3.3. Производные единицы пространства и времени . . . . .	57
	3.4. Производные единицы механических величин . . . . .	62
	3.5. Производные единицы электрических и магнитных величин . . . . .	75
	3.6. Производные единицы тепловых величин . . . . .	92
	3.7. Производные единицы величин физической химии и молекулярной физики . . . . .	100
	3.8. Производные единицы оптических и световых величин . . . . .	107
	3.9. Производные единицы акустических величин . . . . .	115
	3.10. Производные единицы величин в области ионизирующих излучений . . . . .	119
	3.11. Единицы относительных и логарифмических величин . . . . .	123
		207

3.12. Кратные и дольные единицы от единиц СИ. Правила образования. Наименования и обозначения десятичных кратных и дольных единиц . . . . .	123
3.12.1. Кратные и дольные единицы . . . . .	123
3.12.2. Приставки для образования кратных и дольных единиц . . . . .	124
3.12.3. Правила образования наименований и обозначений десятичных кратных и дольных единиц СИ. . . . .	125

# 4

## Прежние системы единиц. Внесистемные единицы

4.1. Абсолютная система Гаусса . . . . .	126
4.2. Системы СГС . . . . .	127
4.2.1. Система механических единиц СГС . . . . .	127
4.2.2. Акустические единицы системы СГС . . . . .	132
4.2.3. Тепловые единицы системы СГС . . . . .	132
4.2.4. Электрические и магнитные единицы системы СГС . . . . .	132
4.2.5. Система оптических и световых единиц СГСЛ (CGSL) . . . . .	143
4.2.6. Системы единиц СГС в области ионизирующих излучений . . . . .	143
4.3. Практическая система международных электрических единиц. . . . .	143
4.4. Системы МКС . . . . .	147
4.4.1. Система механических единиц МКС . . . . .	147
4.4.2. Акустические единицы системы МКС . . . . .	148
4.4.3. Система тепловых единиц МКСГ . . . . .	148
4.4.4. Система единиц для электрических и магнитных величин МКСА. Рационализация уравнений электромагнетизма . . . . .	149
4.4.5. Системы единиц для световых величин МКСС и МКСЛМ . . . . .	151
4.4.6. Единицы радиоактивности и ионизирующих излучений системы МКС . . . . .	152
4.5. Промышленная система единиц МТС . . . . .	152
4.6. Система механических единиц МКГСС . . . . .	153
4.7. Тепловые единицы, основанные на калории. . . . .	155
4.8. Британская система единиц. Система фут — фут — секунда и другие неметрические единицы, применяемые в англоязычных странах . . . . .	156
4.9. Старые русские единицы . . . . .	157
4.10. Внесистемные единицы . . . . .	158
4.11. Естественные системы единиц . . . . .	159
4.11.1. Общие замечания . . . . .	159
4.11.2. Система Планка . . . . .	159
4.11.3. Система Хартри . . . . .	160
4.11.4. Система Людовичи . . . . .	160
4.11.5. Естественная система единиц релятивистской квантовой механики . . . . .	160
Приложения . . . . .	162
Указатель таблиц . . . . .	194
Алфавитный указатель важнейших физических и общетехнических величин и их обозначения . . . . .	196
Алфавитный указатель единиц . . . . .	202
Список литературы . . . . .	206

ВЕЛИЧИНА		ЕДИНИЦА			
НАИМЕНОВАНИЕ	РАЗМЕР-НОСТЬ	НАИМЕНОВАНИЕ	ОБОЗНАЧЕНИЕ		ОПРЕДЕЛЕНИЕ
			МЕЖДУ-НАРОДНОЕ	РУССКОЕ	
ДЛИНА	L	МЕТР	m	М	Метр равен 1 650 763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями 2 p <sub>10</sub> и 5 d <sub>5</sub> атома криптона-86
МАССА	M	КИЛОГРАММ	kg	КГ	Килограмм равен массе международного прототипа килограмма
ВРЕМЯ	T	СЕКУНДА	s	С	Секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133
СИЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА	I	АМПЕР	A	А	Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия $2 \cdot 10^{-7}$ Н
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА	Θ	КЕЛЬВИН	K	К	Кельвин равен 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды
КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА	N	МОЛЬ	mol	МОЛЬ	Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг
СИЛА СВЕТА	J	КАНДЕЛА	cd	КД	Кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Hz, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 W/sr

1 p.

m

kg

s

A

K

mol

cd

В.А. БАЗАКЧИЯ Г.А. БУРАЧИ