

ДЖ.КЭЙ
Т.ЛЭБИ

ТАБЛИЦЫ
ФИЗИЧЕСКИХ
И
ХИМИЧЕСКИХ
ПОСТОЯННЫХ





TABLES OF PHYSICAL AND CHEMICAL CONSTANTS

ORIGINALLY COMPILED BY

G. W. KAYE

O. B. E., M. A., D. Sc., F. R. S.

AND

T. H. LABY

M. A., Sc. D., F. R. S.

NOW PREPARED UNDER THE DIRECTION OF
AN EDITORIAL COMMITTEE

LONGMANS, GREEN & CO
LONDON, NEW YORK, TORONTO

ДЖ. КЭЙ и Т. ЛЭБИ

ТАБЛИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ

ПЕРЕВОД
С 12-го АНГЛИЙСКОГО ИЗДАНИЯ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
К. П. ЯКОВЛЕВА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1962

531.7(03)

К 98

АННОТАЦИЯ

Книга содержит много справочного материала по числовым значениям физических и химических величин. Во введениях к таблицам даются краткие определения соответствующих величин, а также указания, необходимые при пользовании таблицами. Новое издание отличается весьма существенно от предыдущего русского издания книги, вышедшего в 1949 г. (перевод с девятого английского издания): пересмотрены все прежние числовые данные, приведено значительное число новых данных, что обеспечило полную современность книги.

Справочник является одним из наиболее полных по данному вопросу. Он, как показывает опыт предыдущего издания, стал настольной книгой физиков, химиков, металлургов, а также оказывает большую помощь студентам в их практической работе.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА	6
ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ДВЕНАДЦАТОМУ ИЗДАНИЮ	7
ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ . . .	7
ОБЩАЯ ФИЗИКА	9
НЕКОТОРЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ	111
АТОМНАЯ ФИЗИКА	188
ЛИТЕРАТУРА	241
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	244

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Первое издание справочника Дж. Кэя и Т. Лэби вышло в Англии еще в 1911 г., затем справочник неоднократно переиздавался и приобрел в Англии настолько широкую популярность, что там его называют просто «Кэй и Лэби».

Этот справочник хорошо знаком и нашим читателям: в 1949 г. вышел его русский перевод, сделанный с девятого английского издания и частично дополненный по десятому изданию, в то время только что появившемуся в Англии; это издание оказалось последним, вышедшим при жизни авторов.

Одиннадцатое, посмертное издание этой книги готовилось к печати специальной редакционной комиссией, которая поставила перед собой задачу полного пересмотра и дополнения всех материалов, содержащихся в справочнике. С этой целью редакционная комиссия установила контакт с рядом английских и американских научных институтов и привлекла к работе около сорока сотрудников — специалистов в различных областях физики и физической химии. Пересмотр справочника потребовал большой и продолжительной работы, так что его одиннадцатое издание вышло только в 1956 г.; в следующем году оно было вновь перепечатано с некоторыми исправлениями. В этом издании, получившем в английской и американской печати высокую оценку, собраны весьма свежие материалы. По специальному разрешению соответствующих научных институтов в книгу было введено много оригинальных данных, в то время еще не опубликованных.

Двенадцатое издание справочника, вышедшее в 1959 г., готовилось к изданию той же редакционной комиссией. По общему содержанию и объему это издание не отличается заметно от одиннадцатого, но вместе с тем числовой материал в нем подвергся очень большим изменениям, много таблиц было совершенно переработано. Это говорит о том, что при подготовке двенадцатого издания редакционная комиссия вновь проделала значительную работу, в результате которой книга была существенно улучшена.

В русском издании этой книги, переведенной с двенадцатого английского издания В. К. Яковлевой и А. С. Пахомовым, существенных изменений по сравнению с оригиналом не внесено. Были сделаны только очень небольшие сокращения, а именно опущены: 1) небольшой раздел под названием «Статистика», так как его содержание ограничивается рядом разъяснений и указаний, полезных при обработке статистических материалов, но мало пригодных для обычных работ в физических лабораториях, 2) числовые таблицы математических функций, имеющиеся во всех справочниках по математике и 3) некоторые мелкие подробности, касающиеся неметрических мер, принятых в Англии и Америке и интересных только для английских и американских читателей.

Все ссылки на иностранную литературу сохранены полностью. Список литературы помещен в конце книги. Оставлен в книге список авторов, работавших над двенадцатым изданием, и их инициалы под таблицами, заимствованными у этих авторов.

Следует отметить еще некоторые особенности русского издания книги: 1) в английском тексте большинство формул, не исключая и сложные, набрано в тексте, что затрудняет их чтение; в русском издании это оставлено только для кратких формул, а более длинные вынесены, как обычно, на отдельную строку; 2) в больших химических таблицах (стр. 115—135) для некоторых соединений применяется международная номенклатура, как весьма краткая, что удобно для справочных изданий; наличие в этих таблицах химических формул соединений исключает возможность каких-либо недоразумений; 3) хотя в последнем английском издании использованы литературные работы вплоть до 1957—1958 гг. и справочник пополнен новейшими данными, однако за последние три-четыре года в некоторых разделах физики были получены существенно новые результаты, которые редактор считал необходимым привести в подстрочных примечаниях.

К. П. Яковлев

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ДВЕНАДЦАТОМУ ИЗДАНИЮ

После смерти обоих авторов книги издатели в июне 1948 г. создали редакционную комиссию из трех человек с целью начать тщательную переработку этих таблиц для подготовки одиннадцатого издания. В ноябре 1952 г. в комиссию был включен четвертый член. Таким образом, когда в апреле 1956 г. вышло из печати одиннадцатое издание, комиссия состояла из четырех человек: Х. Баррел, Е. А. Каулсон, Н. Фезер (председатель) и Дж. М. С. Скотт. Эта же комиссия несла ответственность и за подготовку двенадцатого издания. Как и прежде, пересмотр отдельных таблиц был поручен сотрудникам, принимавшим участие в прежних работах по составлению книги. Список сотрудников приведен на стр. 8; инициалы этих сотрудников помещаются в тексте под соответствующими материалами.

Объем двенадцатого издания очень немного отличается от объема десятого издания, что также потребовало от издателей и сотрудников больших усилий.

Далее приводится небольшая выдержка из предисловия к первому изданию таблиц. В ней авторы с благодарностью отмечают ту поддержку, которую они получали от Г. Ф. С. Сэрла. Редактор настоящего издания присоединяется в этом к Кэю и Лэби, так как он также получал помощь из того же богатого источника. Кроме того, редактор, так же как и Кэй и Лэби, очень обязан Г. А. Карсу, который был внимательным руководителем в тот период, когда редактор начинал свою профессорскую деятельность. Редактор также выражает признательность всем сотрудникам, работавшим над этой книгой.

Н. Фезер

Январь 1958 г.

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

В нашей преподавательской и лабораторной работе мы неоднократно оказывались перед необходимостью иметь в своем распоряжении набор различных физических и химических таблиц. Такие таблицы должны содержать новейшие данные, иметь небольшой объем и быть доступными по цене. В соответствии с этим мы сделали попытку собрать в этой книге по возможности надежные и свежие числовые данные для наиболее важных физических и химических постоянных.

С целью сделать книгу более полезной мы включили в большое число разделов краткие резюме, содержащие ссылки на те книги или оригинальные статьи, которые могли бы быть особенно полезными.

Много внимания уделялось подбору математических таблиц и их точности. Таблицы составлены так, чтобы облегчить вычисления при пользовании книгой, однако ограниченные объемом книги, мы не поместили здесь большого числа важных математических функций.

Мы начали эту книгу, работая в Кэвендишской лаборатории в Кембридже; в то время в работе над книгой принимал участие др. Г. Карс. Мы чувствуем себя также весьма обязанными Г. Сэрлу, который дал нам много ценных советов и указаний при решении вопроса об объеме и характере материалов, охватываемых книгой.

Сентябрь 1911 г.

*Дж. Кэй
Т. Г. Лэби*

В КНИГЕ ПРИНЯТЫ СЛЕДУЮЩИЕ СОКРАЩЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
ФАМИЛИЙ СОТРУДНИКОВ, ПРИНИМАВШИХ УЧАСТИЕ
В СОСТАВЛЕНИИ СПРАВОЧНИКА:

Р. д'Э. Аткинсон (R. d'E. Atkinson, M. A., Ph. D.)	R. d' E. A	Л. Грюнберг (L. Grunberg, D. Sc.)	L. G.
Дж. Бэкхерст (J. Backhurst, M. Sc.)	J. B.	Э. А. Гуггенхейм (E. A. Guggenheim, M. A., Sc. D., F. R. S.)	E. A. G.
С. Р. Барбер (C. R. Barber, B. Sc.)	C. R. B.	К. Дж. Хэбелл (K. J. Habell, M. Sc.)	K. J. H.
Г. Баррел (H. Barrel, D. Sc.)	H. B.	Л. Хартсхорн (L. Hartshorn, D. Sc.)	L. H.
Э. Баллард (Sir Edward Bul-lard, F. R. S.)	E. C. B.	Э. Ф. Г. Херинтон (E. F. G. Herinton, D. Sc., Ph. D.)	E. F. G. H.
Ф. Г. Бёрч (F. H. Burch, F. B. H. I.)	F. H. B.	М. Дж. Хикмен (M. J. Hickman)	M. J. H.
Дж. С. Кларк (J. S. Clark, B. Sc.)	J. S. C.	С. Джекобс (S. Jacobs, M. Sc., Ph. D.)	S. J.
У. Кохран (W. Cochran, M. A.)	W. C.	М. Ф. Меркхем (M. F. Markham, B. Sc.)	M. F. M.
Р. Д. Коннор (R. D. Connor, B. Sc., Ph. D.)	R. D. C.	Л. У. Николс (L. W. Nickols, B. Sc.)	L. W. N.
Е. А. Каулсон (E. A. Coulson, M. A., Ph. D., D. Sc.)	E. A. C.	Р. У. Пауэлл (R. W. Powell, D. Sc., Ph. D.)	R. W. P.
Г. Л. Кокс (H. L. Cox, M. A.)	H. L. C.	Дж. Э. Прю (J. E. Prue, M. A., Ph. D.)	J. E. P.
Дж. Р. Дэвис (G. R. Davies, M. Sc., Ph. D.)	G. R. D.	Э. Д. ван Рест (E. D. van Rest, B. A., B. Sc.)	E. D. V. R.
Р. Дэвис (R. Davis, M. Sc.)	R. D.	Д. У. Робинсон (D. W. Robin-son, B. Sc.)	D. W. R.
Л. Эссен (L. Essen, Ph. D., D. Sc.)	L. E.	Дж. М. С. Скотт (J. M. C. Scott, M. A.)	J. M. C. S.
Э. Фелтон (A. Felton, B. Sc.)	A. F.	У. С. Стайлс (W. S. Stiles, D. Sc., Ph. D. F. R. S.)	W. S. S.
Г. Ф. Финч (H. F. Finch, B. Sc.)	H. F. F.	С. Э. Уэбб (C. E. Webb, B. Sc.)	C. E. W.
К. Д. Фрум (K. D. Froome, Ph. D.)	K. D. F.	С. У. Уэллс (C. W. Wells)	C. W. W.
Э. Т. Гудвин (E. T. Goodwin, M. A., Ph. D.)	E. T. G.		
Ф. Э. Гоулд (F. A. Gould, M. A.)	F. A. G.		

ОБЩАЯ ФИЗИКА

ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ И ИХ ЭТАЛОНЫ

Длина, масса и время являются основными величинами в системах мер, утвержденных в законодательном порядке и применяемых в научных работах¹⁾. В метрической системе мер единицей длины служит метр (*м*), единицей массы — килограмм (*Кг*) и единицей времени — секунда (*сек*). Эта система официально принята в странах Британского Содружества и в Соединенных Штатах Америки, но наряду с ней в этих странах продолжает применяться старая система, в которой единицей длины является ярд (*yd*), единицей массы — фунт (*lb*) и единицей времени — секунда, принятая в метрической системе. Ярды и фунты в странах Британского Содружества и в США определяются по-разному и несколько отличаются поэтому по величине. В последующих разделах дается описание тех приемов, с помощью которых определяются и сохраняются эталоны этих основных единиц [1].

Длина

Международный прототип метра, установленный в 1889 г., представляет собой платино-иридиевый стержень (90% Pt, 10% Ir) X-образного сечения, предложенного Треска²⁾.

При таком сечении стержень приобретает наибольшую прочность на изгиб. Международный метр определяется как расстояние между двумя поперечными штрихами, нанесенными вблизи концов этого стержня в плоскости его нейтрального сечения. Измерения производят при температуре плавления льда (0° С). Стержень покоится на двух опорных роликах, расположенных в горизонтальной плоскости на расстоянии 0,571 м один от другого. При симметричном расположении опор становятся минимальными продольный изгиб стержня и влияние изгиба на расстояние между штрихами на стержне. Штрихи из тех же соображений наносятся в плоскости нейтрального сечения стержня.

Этот метрический эталон длины, вместе с его основными и рабочими копиями, изготовленными из того же сплава, хранится в Международном Бюро Мер и Весов в Севре близ Парижа. Ряд других таких же копий был распределен по Международному Соглашению 1875 г. между различными государствами, и теперь они являются национальными эталонами метра. Периодически эти копии проверяются в Международном Бюро Мер и Весов по международному прототипу или его основным копиям.

Описанный эталон метра называется штриховым эталоном. Практической формой эталонов длины, обычно применяемых при точных технических измерениях, служат

¹⁾ Однако при технических измерениях в качестве второй основной величины очень часто применяется вес данной массы, т. е. сила, действующая на массу в гравитационном поле Земли.

²⁾ Метрическая система мер была разработана еще в конце XVIII столетия Комиссией французских ученых. В качестве основной единицы длины эта Комиссия решила принять 10^{-7} часть четверти Парижского Меридиана. На основании результатов соответствующих геодезических измерений был изготовлен в 1799 г. первый эталон метра в виде стержня из чистой платины, получивший впоследствии название «архивный прототип метра» или «архивный метр». Позднее Бессель показал, что длина архивного метра при 0°С несколько меньше его расчетной величины, приблизительно на 0,08 мм. Эта величина, очевидно, должна была изменяться с каждым новым уточнением геодезических измерений. Поэтому Международная метрическая комиссия постановила в 1872 г. за единицу длины принять длину платинового архивного метра 1799 г. В 1889 г. был изготовлен в Международном Бюро Мер и Весов ряд очень точных копий архивного метра указанной формы из сплава Pt — Ir и в 1891 г. распределен по жребию между различными государствами. В СССР метрическая система мер была введена декретом Совета Народных Комиссаров от 14 ноября 1918 г. (Прим. ред.)

эталон в иной форме — концевые эталоны. Концевой эталон представляет собой металлический стержень или брусок, обычно из закаленной стали, концы которого представляют собой две параллельные плоскости, перпендикулярные к его длине; расстояние между этими плоскостями и служит мерой длины эталона. Благодаря оптическому совершенству концевых плоскостей и их параллельности, такие эталоны в настоящее время применяются для непосредственных измерений длин световых волн интерференционным методом.

Эталоны длины световых волн. Эталон метра и имперский (английский) эталон ярда были измерены в длинах волн (λ_R) красной линии в спектре кадмия в воздухе при определенных условиях (см. стр. 85). Метр измерялся 9 раз в период с 1893 по 1940 г., ярд — два раза. Для международного ангстрема (Å) было установлено в 1907 г. соотношение $\lambda_R = 6438,4696 \text{ Å}$. В 1927 г. седьмая Генеральная Конференция Весов и Мер временно санкционировала определение длины световой волны как альтернативу в ее непосредственном соотношении с метром, приняв, что $\lambda_R = 6438,4696 \times 10^{-10} \text{ м}$.

На девятой Генеральной Конференции Мер и Весов в 1948 г. было принято решение, допускающее в конечном счете возможность определения метра в длинах волн линий в спектрах чистых изотопов с четными массовыми числами, таких как ртуть-198 и криптон-86. В 1953 г. консультативный совет Международного Комитета Мер и Весов высказался в пользу разработки нового определения метра путем сравнения с длиной световых волн в пустоте при условии, что прежде полученное значение $6438,4696 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ для красной линии кадмия в воздухе продолжает сохранять свою силу. В соответствии с этой рекомендацией в 1957 г. Консультативный комитет принял решение рекомендовать Международному Комитету Мер и Весов в 1958 г. считать метр равным 1 650 763, 73 длинам волн в вакууме оранжевой линии криптона-86.

Отношения между единицами длины. Эквиваленты английского ярда, приводимые ниже, являются наиболее удобными в научных расчетах; они основываются на переходном уравнении $1 \text{ м} = 39,370 147 \text{ дм}$ (или $1 \text{ дм} = 25,399 956 \text{ мм}$), установленном Национальной физической лабораторией в 1922 г. на основании работ Сирса, Джонсона и Джолли [2]. Переходный коэффициент, официально принятый в области торговли (Постановление Королевского Совета 1898 г.), $1 \text{ м} = 39,370 113 \text{ дм}$ (или $1 \text{ дм} = 25,399 978 \text{ мм}$); он был установлен в 1895 г. Бенуа и Шани. Для американского дюйма принято: $1 \text{ дм США} = 25,400051 \text{ мм}^1$.

Единица	Эквиваленты в отношении к:				
	метру	дюйму (Брит.)	дюйму (Канада)	дюйму (США)	длине волны (λ_R)
Метр	1	39,370147	39,370079	39,37	1 553 164,13
Ярд (Брит.)	0,91439841	36	35,999937	35,999866	1 420 210,81
Ярд (Канада)	0,9144	36,000063	36	35,999928	1 420 216,12
Ярд (США)	0,91440183	36,000134	36,000072	36	1 420 216,12
Длина волны λ_R	$0,64384696 \times 10^{-6}$	$25,348349 \times 10^{-6}$	$25,348306 \times 10^{-6}$	$25,348255 \times 10^{-6}$	1

Примечание. Дискуссию об единицах и эталонах см. [3, 4].

Масса

Международный прототип килограмма, установленный в 1889 г., представляет собой сплошной цилиндр, диаметр которого равен его высоте. Цилиндр изготовлен из такого же платино-иридиевого сплава, как и эталон метра. Хранение его, а также хранение и распределение между странами его копий проводится на основе тех же принципов, что и международного эталона метра.

Английский стандартный фунт, установленный законом о Весах и Мерах в 1856 г. и утвержденный законом 1878 г., представляет собой платиновый цилиндр, диаметр которого немного меньше его высоты. Эталон фунта определяет государственный торговый фунт, который равен 7 000 гран (gr).

Американский фунт определяется на основе установленного отношения его к килограмму, при этом признанной величиной считается $1 \text{ фунт} = 0,453 592 427 7 \text{ кг}$; это соотношение выведено в 1883 г. Брочем из английского стандартного фунта.

Соотношения между единицами массы. Эквиваленты английского фунта, приводимые ниже, являются наиболее удобными при научных расчетах. Они основываются на переходном уравнении $1 \text{ фунт} = 0,453 592 338 \text{ кг}$ ($1 \text{ кг} = 2,204 622 777 \text{ фунта}$), установленном Национальной физической лабораторией в 1933 г. Соотношение, официально принятое

¹⁾ В 1960 г. в США было принято решение отбросить в этом числе два последних десятичных знака и считать дюйм точно равным 25,4000 мм. (Прим. ред.)

при торговых операциях (Постановление Королевского Совета 1898 г.), было выведено Брочем в 1883 г. Оно имеет такой вид: 1 фунт = 0,453 592 43 кг (1 кг = 2,204 622 3 фунта).

Единица	Эквиваленты в отношении к:		
	килограмму	фунту (англ.)	фунту (США)
Килограммы	1	2, 204 622 777	2, 204 622 341
Фунты (англ.)	0, 453 592 338	1	0, 999 999 802
Фунты (США)	0, 453 592 427 7	1, 000 000 198	1

Примечание. См. [3, 4] Н. В.

Время

Благодаря успехам физики время определяется (и периодически проверяется) посредством точных сигналов, передаваемых по радио главными национальными обсерваториями.

Промежуточные моменты времени могут быть определены отсюда с помощью простой линейной интерполяции при помощи часов с равномерным ходом, для которых удобно вести непрерывную регистрацию ошибок. Последующая корректировка сигналов (и ошибок астрономических часов) совершенно необходима, так как сигнал основывается только на прошедших наблюдениях и экстраполируется по часам; их медленные, но неизбежные изменения скорости обнаруживаются лишь позднее; такие наблюдения в последующие недели позволяют заменить экстраполяцию интерполяцией. Королевская обсерватория в Гринвиче публикует окончательные результаты своих наблюдений через каждые три месяца в форме бюллетеней «Время приема прошлых сигналов».

Идеальная система отметок времени должна была бы неограниченно долго совпадать со средней длиной суток, и ход времени в такой системе должен был бы быть строго равномерным. В действительности же положение таково. Очень точные астрономические определения времени можно сделать лишь по звездам; если при этом внесены поправки на аберрацию и на нутацию (см. стр. 26), то они дают звездное время, а если учтена также и нутация точки весеннего равноденствия, то результат наблюдений представляет собой среднее звездное время. Тропический год содержит в себе средних звездных суток ровно на одни сутки больше, нежели средних солнечных суток, и точный перевод среднего звездного времени в среднее солнечное время возможен, следовательно, если известно точное число суток в тропическом году. Принятое в настоящее время значение (Ньюкомб) равно $365,242\,198\,78 - 6,14 \cdot 10^{-6} T$ средних солнечных суток (86 400 сек в каждых сутках); T означает число столетий (юлианских), начиная с 1900 г. (Малый член, содержащий T , появляется в основном благодаря вековым изменениям прецессии и в значительно меньшей степени — в результате других возмущений вращения Земли.) Указанное выше значение основано на усреднении результатов измерений приблизительно в течение двух столетий, но оно в действительности не является абсолютно точным, так как вращение Земли вокруг ее оси, как это теперь установлено, является неравномерным; последнее вызвано общим замедлением вращения, влияниями, которые невозможно предсказать, и так называемыми годовыми флуктуациями с амплитудой (включая вторую гармонику) порядка ± 30 миллисекунд. Наличие годовых флуктуаций доказано с помощью хороших кварцевых часов и атомных стандартов частоты, но их невозможно точно предсказать и поэтому невозможно однозначно отделить от более медленных изменений скорости вращения Земли. На измерение времени влияет также тот факт, что полюсы Земли не остаются неподвижными; они совершают колебания в ограниченной области с периодом в 12 или приблизительно 14 месяцев, и амплитуда этих колебаний опять-таки не может быть точно предсказана. Влияние вариации полюсов на время пропорционально тангенсу широтного угла и изменяется с долготой. В средних широтах оно сравнимо с годовыми флуктуациями. По международному соглашению служба времени должна указывать как ожидаемые значения годовых флуктуаций, так и соответствующие им значения мгновенных координат полюсов; там, где эти величины не учитываются, отсчеты времени должны медленно колебаться в течение года по отношению к моментам, указанным в бюллетенях.

Всемирное время было первоначально определено на основании звездных наблюдений и указанной выше продолжительности 1900 г. так, чтобы оно совпадало со средним солнечным временем для Гринвичского меридиана в 1900 г. В дальнейшем оно было определено как время, которое соответствовало бы случаю равномерного вращения Земли вокруг своей оси. Это значит, что время сохраняет в себе лишь вековую прецессию, а другие виды возмущений не принимаются во внимание. Такое время, следовательно, очень медленно отклоняется от точного среднего солнечного времени лишь за счет солнечных возмущений. Если в него внесены поправки на вариации полюсов и на годовые флуктуации, то оно должно быть идеально равномерным в продолжение каждого года. Однако оно не может быть равномерным в течение длительных периодов времени, если имеются изменения во вращении Земли, обладающие большими периодами. «Время приема» представляет собой поправки к сигналам всемирного времени, даваемым Гринвичской обсерваторией.

Во всемирное время может быть внесена поправка на очень медленные изменения движения Земли путем сравнения наблюдаемых положений быстро движущихся планет солнечной системы с их табличными положениями. Таблицы содержат в себе эфемеридное время, которое является строго равномерным, тогда как наблюдение проведено при известном всемирном времени; если таблицы правильны, то разность между табличным и наблюдаемым положениями является мерой неточности наблюдения для данной эпохи. В общем все значения, которые можно получить таким путем, являются средними годовыми. По международному соглашению, в тех случаях, когда всемирное время не обладает достаточным постоянством, *секунда* определяется как $1/31\,556\,925,9747$ часть продолжительности тропического года в 1900 г.; это значение получается путем введения во всемирное время поправки на расхождение между наблюдаемым средним положением Солнца и его табличным значением; на практике это наблюдаемое положение обычно выводится из наблюдения положения Луны (так как она движется в 13 раз быстрее) и применяется соответствующая формула, устанавливающая соотношение между лунными таблицами и солнечными. Например, в 1952,5 г. разность эфемеридного и всемирного времени (которая была равна тогда $+30,2$ сек) имела скорость изменения порядка $+0,43$ сек/год; в эту эпоху, следовательно, секунда, определенная из текущего всемирного времени, была длиннее приблизительно на $1,3 + 1,4 \cdot 10^{-8}$, чем постоянная секунда эпохи 1900 г.

Регистрация прошлых затмений указывает, что вращение Земли вокруг своей оси в среднем постепенно замедляется, именно в течение последних 2500 с лишним лет оно замедлялось приблизительно на $1/10^8$ часть в столетие; это явление обусловлено приливо-отливным трением. Однако вполне возможно, что приливо-отливное трение может компенсироваться эффектом «тепловой машины», на который впервые указал Кельвин, так что векового замедления движения Земли может в действительности и не существовать; наблюдаемые изменения должны быть тогда отнесены лишь за счет (случайных) флуктуаций.

Уравнение времени. Уравнение времени (указываемое в таблицах) представляет собой разность между табличным значением часового угла истинного Солнца и значением часового угла среднего Солнца. Эта разность возникает, главным образом, в результате переменной скорости видимого движения Солнца по эклиптике, что обусловлено в основном эксцентricностью эклиптики и наклоном ее плоскости к плоскости экватора. Кроме того, играют роль также и другие незначительные колебания (именно те, что обусловлены нутацией и «лунным неравенством»). Если пренебречь этими колебаниями, то уравнение времени почти одинаково из года в год, но фазы совпадения меняются, поскольку год содержит нецелое число суток.

Точное уравнение на каждые сутки заносится в таблицы в Морской Альманах; приведенные ниже величины являются средними за четыре года. Они применяются с достаточной точностью к часам 0300, 0900, 1500 и 2100 (среднее время по Гринвичу) по точно установленным датам, когда год выражается в форме $4n, 4n+1, 4n+2$ и $4n+3$ соответственно. Даты в скобках относятся к високосным годам. Числа показывают разность «видимое время минус среднее время», т. е. эти числа нужно вычесть из показаний солнечных часов, чтобы получить среднее местное время. (В некоторых Альманахах приводится противоположное соотношение.)

			мин	сек			мин	сек
Январь	1	(2)	—	3 33	Июль	15	—	5 49
Январь	16	(17)	—	9 47	Июль	30	—	6 20
Январь	31	(1 ф.)	—	13 31	Август	14	—	4 39
Февраль	15	(16)	—	14 14	Август	29	—	0 58
Март	2	—	—	12 17	Сентябрь	13	+	4 01
Март	17	—	—	8 30	Сентябрь	28	+	9 16
Апрель	1	—	—	4 00	Октябрь	13	+	13 40
Апрель	16	—	+	0 08	Октябрь	28	+	16 09
Май	1	—	+	2 55	Ноябрь	12	+	15 50
Май	16	—	+	3 44	Ноябрь	27	+	12 24
Май	31	—	+	2 29	Декабрь	12	+	6 21
Июнь	15	—	—	0 17	Декабрь	27	—	1 01
Июнь	30	—	—	3 28	Январь	11 (12)	—	7 56

Эти цифры, будучи просто разностями табличных цифр, не учитывают разности эфемеридного и всемирного времени, но если принять во внимание эту разность, то ее влияние дало бы поправку всего лишь в $1/12$ сек, а не в 30 сек.

Поясное время. Для простоты счета времени Земля разделена на часовые пояса, середины которых расположены на меридианах, отличающихся приблизительно на 15° по долготе, и поясным временем для каждого пояса является местное время соответствующего меридиана; время в соседних поясах отличается, таким образом, друг от друга ровно на 1 час. Действительные границы часовых поясов проходят, как правило, вдоль административных границ; в некоторых странах установлено так называемое декретное время, т. е. время смежного пояса. Частные особенности счета времени указывают ежегодно в соответствующих Альманахах.

Календарь. Каждый гражданский календарь должен придерживаться тропического года, поскольку тропический год соответствует временам года. Юлианский календарь соответствует году в 365,25 дня. С 1583 г. его вытеснил Грегорианский календарь. (В разных странах замена была произведена независимо друг от друга, но была приурочена к этому времени.) Грегорианский календарь имеет 365 дней в любом году, номер которого не делится на 4, а также в любом году, номер которого делится на 100 (но не на 400), остальные годы (високосные) имеют 366 дней. Таким образом, средняя продолжительность года по этому календарю равняется 365,2425 дня. Эта величина настолько близка к действительной величине, что точно установить дату, когда будущим поколениям придется заменить високосный год на простой, невозможно.

R. d'E. A.

АТОМНЫЕ СТАНДАРТЫ ЧАСТОТЫ И ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ

Переход между двумя энергетическими состояниями атома E_1 и E_2 сопровождается испусканием или поглощением кванта излучения, частота которого определяется соотношением $h\nu = E_2 - E_1$, где h — постоянная Планка. Каждая спектральная линия, таким образом, характеризуется определенной частотой ν , которая является физической константой; однако частота ν , чтобы быть полезной в качестве эталона для измерений, должна находиться в интервале частот, которые могут быть связаны с лабораторными излучателями и часами, и, кроме того, надо иметь возможность точно измерять эту частоту и дать ей точное определение.

Кварцевые часы в Национальной физической лаборатории Англии (НФЛ), начиная с 1955 г., калибровались частотой перехода $F, m(4,0) \rightarrow F, m(3,0)$ атома цезия с точностью до $\pm 2 \cdot 10^{-10}$; эталон, в котором используется тот же переход, был сконструирован в США. Для контрольного приема применяются как несущая частота передачи стандартных сигналов, так и односекундные импульсы, наложенные на несущую волну [5]. Таким образом, обеспечивается шкала времени, которая заведомо имеет точность до $\pm 2 \cdot 10^{-10}$. Эта шкала применялась для измерения сезонных и нерегулярных вариаций скорости вращения Земли и для определения, таким образом, поправки на годовые флуктуации, применяемой к всемирному времени.

Частота указанного выше перехода атома цезия, выраженная через среднее значение секунды всемирного времени за период с 1955, 50 по 1958, 25 г., равна $9\,192\,631\,882\, \text{гц}$ (если пользоваться секундой эфемеридного времени, то частота оказывается равной $9\,192\,631\,770 \pm 20\, \text{гц}$) [6].

L. E.

СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ

Второй закон движения в механике Ньютона, связывающий длину, массу, время и силу, служит логической основой для создания различных систем единиц измерения. Если единицы любых трех из этих четырех величин взять за основные, то можно вывести единицу четвертой величины, а затем и единицы других динамических величин. В системе СГС основными единицами являются: длины — сантиметр (см), массы — грамм (г) и времени — секунда (сек); единицы других величин, включая силу, выводятся из них. В аналогичной системе МКС выбраны основными единицами — метр (м), килограмм (кг) и секунда (сек).

Более полная система, в которой кроме этих трех основных единиц приняты еще за основные единицы градус по шкале Кельвина ($^{\circ}\text{K}$), ампер (а) и единица силы света — свеча (св), была предложена в 1954 г. десятой Международной Конференцией по мерам и измерениям и принята в настоящее время как Международная система Единиц (СИ (SI)).

В технических системах единиц, широко применяемых при практических измерениях, основными единицами являются длина, сила и время; из них выводится единица массы. Таким образом, основными единицами метрической технической системы являются метр (м), вес килограмма при нормальном ускорении силы тяжести $980,665\, \text{см/сек}^2$, т. е. килограмм-сила (кгс) и секунда (сек); фут, вес фунта также при нормальном ускорении силы тяжести, т. е. фунт-сила и секунда (s), являются основными единицами аналогичной системы фут-фунт-секунда (ФФС). Неудобство основной единицы силы, представленной весом данной массы, объясняется тем, что ускорение силы тяжести у поверхности Земли изменяется в зависимости от места и высоты, так что эта единица не всегда одна и та же в различных пунктах, и ее всегда необходимо относить к определенной величине нормального ускорения силы тяжести.

ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ И СТАНДАРТЫ

Динамические единицы систем СГС и МКС

В таблице названия, взятые в скобки, обозначают единицы, которые не нашли общего применения. Все символы для обозначения единиц являются общепринятыми как международные (кроме символа S для «стокса»). В целом эти символы рассматриваются как алгебраические величины, а не сокращения названий, поэтому точка после них не ставится. Для удобства квадраты и кубы кратных чисел и десятичные дроби единиц величин,

как, например, квадратные километры и кубические сантиметры, пишутся км² и см³ вместо (км)² и (см)³. В настоящее время в международной практике принято обозначать символ строчными латинскими буквами; если эти символы происходят от имен собственных, то используются заглавные (прописные) буквы [7]..

Величины	СГС		МКС		Отноше- ние еди- ниц МКС/СГС
	единица	сокращенное обозначение	единица	сокращенное обозначение	
Основные					
Длина	сантиметр	см	метр	м	10 ²
Масса	грамм	г	килограмм	кг	10 ³
Время	секунда	сек	секунда	сек	1
Производные					
Площадь	—	см ²	—	м ²	10 ⁴
Объем ¹⁾	—	см ³	—	м ³	10 ⁶
Момент инерции	—	г·см ²	—	кг·м ²	10 ⁷
Плотность ²⁾	—	г/см ³	—	кг/м ³	10 ⁻³
Скорость	—	см/сек	—	м/сек	10 ²
Количество движения	—	г·см/сек	—	кг·м/сек	10 ⁵
Ускорение	гал ³⁾	см/сек ²	—	м/сек ²	10 ²
Сила	дина	дин (г·см/сек ²)	ньютон	н	10 ⁵
Давление, напряжение	бария ⁴⁾	дин/см ²	паскаль	н/м ²	10
Работа, энергия	эрг	дин·см	джоуль	дж (н·м)	10 ⁷
Мощность	—	эрг/сек	ватт	вт (дж/сек)	10 ⁷
Поверхностное натяжение	—	дин/см (эрг/см ²)	—	н/м (дж/м ²)	10 ³
Вязкость	пуаз	пз (г/см·сек)	—	кг/м·сек	10
Вязкость (кинематическая)	стокс	см ² /сек	—	м ² /сек	10 ⁴

¹⁾ См. в следующем разделе определение литра.
²⁾ См. в следующем разделе единицу плотности, отнесенную к миллилитру (мл), и определение удельного веса.
³⁾ Гал — название единицы ускорения (СГС); при измерениях гравитационного поля Земли применяется дольная единица миллигал (1 мгал = 0,001 гал).
⁴⁾ Барю не следует смешивать с баром, равным 10⁶ дин/см².

Десятичные приставки для производных единиц

В следующей таблице приводятся названия десятичных приставок и их символы, употребляемые в метрической системе для обозначения кратных единиц и их дробей.

Название приставки	Символ		Эквивалент	Название приставки	Символ		Эквивалент
	русский	междуна- родный			русский	междуна- родный	
Тера	Т	T	10 ¹²	Деци	д	d	10 ⁻¹
Гига	Г	G	10 ⁹	Санتي	с	c	10 ⁻²
Мега (мег)	М	M	10 ⁶	Милли	м	m	10 ⁻³
Кило	к	k	10 ³	Микро	мк	μ ¹⁾	10 ⁻⁶
Гекто	г	h	10 ²	Нано	н	p	10 ⁻⁹
Дека	дк	dc	10	Пико	п	p	10 ⁻¹²

¹⁾ Символ μ широко применяется также для сокращенного обозначения μм (мик-
рометр, 10⁻⁶ м) и носит в этом случае название «микрон».

Другие производные единицы и стандарты

Угол. Логической единицей измерения углов является радиан (*рад*) — центральный угол, длина дуги которого равна радиусу. В другой системе измерения углов, более часто применяемой, основной единицей служит прямой угол, который определяется или как угол между двумя прямыми линиями, пересекающимися так, что все смежные углы равны между собой, или как центральный угол, длина дуги которого равна одной четверти окружности. Прямой угол содержит 90 градусов (90°); градус равняется 60 минутам ($60'$); минута равняется 60 секундам ($60''$). В метрической системе употребляется другая единица угла, а именно метрический градус, равный 0,01 прямого угла.

Угловая скорость. Единицами являются 1 *рад/сек* и 1 *об/сек*.

Момент количества движения. Единицами являются 1 *г·см²/сек* (СГС) и 1 *кгм²/сек* (МКС).

Телесный угол. Единицей телесного угла является стерadian (*стер*) — телесный угол с вершиной в центре сферы единичного радиуса, вырезающий на ее поверхности площадь, равную единице. Полный телесный угол с вершиной в центре сферы равен 4π стерadiana.

Частота. Единицей является один цикл в секунду (*цикл/сек*); эта единица также называется герцем (*гц*).

Объем. Логическими единицами объема являются кубы единиц длины. Кубические единицы часто применяются при пространственных измерениях. Однако для жидкостей и, до некоторой степени, для твердых тел были отдельно установлены более удобные единицы, основанные на объеме, занимаемом определенным количеством воды, для которого точно были определены масса или вес в воздухе. Первоначально килограмм был определен как масса воды, объем которой при температуре наибольшей плотности воды равен 1 кубическому дециметру (*дм³*); этот объем назывался литром.

Вторично литр (*л*) был определен в 1901 г. как объем, занимаемый массой 1 кг чистой воды при температуре наибольшей плотности и при нормальном атмосферном давлении (см. ниже). Общепринятым отношением между литром и кубическим дециметром является: 1 *л* = 1,000 028 *дм³*; отсюда миллилитр (*мл*) приблизительно на $3 \cdot 10^{-5}$ больше *см³*.

Галлон, определенный актом о Весах и Мерах 1878 г., равняется объему, занимаемому 10 английскими фунтами дистиллированной воды, если она взвешивается в воздухе латунным разновесом при температуре воды и воздуха, равной 62°F, и барометрическом давлении 30 *дм рт. ст.*

Соотношения между единицами объема. Соотношение между английским галлоном и литром было определено при условиях, указанных выше, и оказалось равным: 1 галлон = 4,54596 *л*. Из этого соотношения при помощи величин *л/дм³* и *дм³/дм³* (последняя величина взята из отношения *м/дм, стр. 10*) находим отношение: 1 галлон = 277,420 *дм³*.

Для научных измерений наиболее удобными являются следующие соотношения между единицами объема:

Единицы	Эквиваленты в единицах					
	метрических		английских		американских	
	литры	<i>см³</i>	галлоны	дюймы ³	галлоны	дюймы ³
Литры	1	1000,028 ¹⁾	0,219926	61,926	0,264 178	61,025
Галлоны (английские)	4,54596 ²⁾	4846,09	1	277,420 ²⁾	1,20094	277,417
Галлоны (американские) . . .	3,785 329	3785,44	0,832 680	231,003	1	231

¹⁾ См. [1].

²⁾ См. [3, 4].

Плотность и удельный вес. Плотностью вещества называют массу единицы его объема. Так как обычно употребляемой единицей плотности является грамм на миллилитр (*г/мл*), то ее следует отличать, когда это необходимо, от единицы плотности *г/см³*, которая на $3 \cdot 10^{-5}$ больше. Удельный вес вещества при температуре *t₁* определяется следующим соотношением: (масса данного объема вещества при *t₁*)/(масса равного объема воды при *t₂*)¹⁾, при этом обе массы измеряются в одних и тех же единицах. Температурные условия, при которых определяется величина удельного веса, выражаются отношением *t₁/t₂*, например 20/20° С.

Нормальное ускорение силы тяжести. Для того чтобы определить величину некоторых производных единиц и стандартов в системах СГС и МКС, необходимо установить нормальную величину ускорения силы тяжести на поверхности Земли. До недавнего времени нормальное значение ускорения силы тяжести при барометрических измерениях имело различную величину в зависимости от их назначения. В настоящее время для всех целей

¹⁾ Такое определение удельного веса, который при этом становится безразмерной величиной, зависящей от двух температур, расходится с определением, принятым в СССР: мы называем удельным весом (γ) вес единицы объема вещества; размерность удельного веса в системах ЛМТ такова: $[\gamma] = [L^{-2}MT^{-2}]$. (Прим. ред.)

принята величина $g_n = 980,665 \text{ см/сек}^2 (\equiv 32,1741 \text{ фут/сек}^2)$. Для того чтобы определить поправки, необходимые при точных измерениях, на специальных станциях проводятся измерения величины g (см. сила тяжести, стр. 24).

Барометрические единицы и международные соглашения. Для барометрических целей приняты следующие единицы давления, из которых наиболее рекомендуемой является миллибар:

(I) 1 миллибар (мб) определяется как 1000 дин/см^2 ,

(II) 1 миллиметр ртутного столба (мм Hg, мм рт. ст.) при 0°C и нормальном ускорении силы тяжести $980,665 \text{ см/сек}^2$ ¹⁾,

(III) 1 дюйм ртутного столба (дм Hg) при 0°C и нормальном ускорении силы тяжести $980,665 \text{ см/сек}^2$.

По новым международным соглашениям, 1953 г. о барометрических измерениях на шкалах ртутных барометров должны наноситься деления, непосредственно отвечающие указанным выше единицам при температуре 0°C и нормальном ускорении силы тяжести $980,665 \text{ см/сек}^2$.

Нормальное атмосферное давление. Нормальное атмосферное давление определяется как $1,013\,250 \text{ дин/см}^2$, которое тождественно давлению 760 мм рт. ст. при 0°C и нормальном ускорении силы тяжести $980,665 \text{ см/сек}^2$, если средняя плотность ртути в барометрическом столбе равна $13,5951 \text{ г/см}^3$.

Технические единицы — метрические и системы фут-фунт-секунда (ФФС)

Основными единицами силы в технических системах единиц служат веса определенных масс, а именно килограмма и фунта, при нормальном ускорении силы тяжести, т. е. силы, обусловленной действием на эти массы только нормального ускорения; единицами длины и времени являются основные единицы в системах СГС и МКС. Так как в метрической системе величина нормального ускорения силы тяжести равна $9,806\,65 \text{ м/сек}^2$, что эквивалентно $32,1741 \text{ фут/сек}^2$ в системе ФФС, то соответствующие производные единицы массы равны $9,806\,65 \text{ кг}$ и $32,1741 \text{ фунта}$. Это следует из того, что в гравитационных системах единица массы определяется как масса, которая под действием постоянной силы, равной единице, получает ускорение, равное единице. Основные единицы силы в гравитационных системах удобно отличать от основных единиц массы в других системах, пользуясь символом кгс (или кГ) для веса массы, равной 1 кг (вес в пустоте). В Германии и некоторых других европейских странах вес массы, равной 1 кг , называется «килопонд» (кп).

Система единиц «слэг-фут-секунда», употребляемая в английской аэродинамике, основана на приближенной величине $32,2 \text{ фут/сек}^2$ для значения нормального ускорения силы тяжести, а для производной единицы массы принимается величина $1 \text{ слэг} = 32,174 \text{ фунта}$.

На этих основных единицах строятся другие производные единицы в гравитационных системах аналогично тому, как это имеет место в системах СГС и МКС.

Тепловые единицы

Н. В.

Измерения температуры. Общепринятой размерности для температуры как физической величины, не имеется. Есть тенденция не принимать в расчет соотношение между температурой и энергией и размерность теплоты считать одинаковой с размерностью энергии $[\text{ML}^2\text{T}^{-2}]$. В этом случае размерность температуры пишут просто как $[\theta]$. Из этих отношений можно вывести размерности других тепловых величин, например энтропии $[\text{ML}^2\text{T}^{-2}\theta^{-1}]$.

Здесь и дальше размерности тепловых величин даются в этой системе.

Температура. Точкой плавления чистого льда (точкой замерзания воды в воздухе, насыщенном водяным паром) при давлении в 1 нормальную атмосферу является 0°C , а точкой кипения воды при том же давлении — 100°C . Этот основной интервал делится на 100 частей при помощи определенной термометрической процедуры; каждое деление является градусом шкалы Цельсия ($^\circ\text{C}$). По международному соглашению 1948 г. название «шкала Цельсия» употребляется вместо прежнего названия «стоградусная шкала». Детальное изложение вопроса и термодинамическая шкала температур (предложенная в 1954 г.) представлены на стр. 49.

Теплота. Единицей количества тепла является джоуль (дж), равный 10^7 эрг . Эта единица была установлена в Париже на девятой Генеральной Конференции Весов и Мер в 1948 г. Применение прежних единиц, основанных на калории, должно быть прекращено, но если они продолжают применяться, то необходимо давать эквивалент в джоулях.

Переводные коэффициенты, приведенные ниже, можно рассматривать как механические эквиваленты тепловых единиц:

1. Калория при 15°C , определенная как количество теплоты, необходимое для того, чтобы повысить температуру 1 грамма воды от 14 до 15°C : $1 \text{ кал}_{15^\circ \text{C}} = 4,1855 \text{ дж}$ (Международный Комитет Мер и Весов, Париж, 1950 г.). Соответственно величину калории при других температурах см. в таблице «Удельная теплоемкость воды» на стр. 64.

¹⁾ Эквивалентная единица торричелли (тор) равна $1/760$ нормального атмосферного давления (см. ниже). Ртуть в (II) и (III) условно рассматривается как несжимаемая жидкость, имеющая плотность $13,5951 \text{ г/см}^3$ (при 0°C).