

К. Хорст

Справочник по физике

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
К11

К. Хорст
К11 Справочник по физике / К. Хорст – М.: Книга по Требованию, 2013. – 518 с.

ISBN 978-5-458-30691-1

Содержит формулы с краткими описаниями по всем разделам физики. В приложении содержатся таблицы. Справочник охватывает все разделы физики, содержит определения основных физических величин и понятий и формулировки основных законов. Книга снабжена большим количеством иллюстраций, облегчающих понимание текста, и многочисленными таблицами, содержащими численные значения важнейших физических величин. Можно использовать для подготовки до экзаменов и как краткий конспект на экзамен. А также для изготовления шпаргалок (шпор) по физике.

ISBN 978-5-458-30691-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ПРЕДИСЛОВИЕ

Физика, бесспорно, играет большую роль на всех этапах нашей социалистической системы образования и во всех областях науки и техники. Поэтому необходимо, чтобы любой специалист мог воспользоваться установленными физикой законами и результатами. Предлагаемая книга, выходящая в серии справочников по основным предметам, должна помочь читателю быстро получить полную информацию.

Этот справочник не является учебником, но вместе с тем далеко выходит за рамки простого сборника формул. Так, здесь приводится вывод большинства закономерностей и соотношений и кратко рассматривается их применение. Для каждой формулы поясняются используемые обозначения и приводятся единицы измерения входящих в нее величин. Это позволит читателю сэкономить время, которое потребовалось бы для поисков соответствующих данных по другим источникам. Многочисленные иллюстрации призваны пояснять текст. В таблицах, содержащих применяемые на практике величины, читатель найдет все важнейшие численные значения.

Чтобы обеспечить достаточно высокий уровень книги, решено было не отказываться от высшей математики и векторного способа записи. Однако наряду с дифференциальными уравнениями всегда приводятся соответствующие более простые уравнения, не содержащие производных, поэтому у читателя, менее сведущего в математике, не должно возникать затруднений при работе с книгой.

14-е издание книги было полностью переработано. Все разделы были критически пересмотрены и частично написаны заново. Многочисленные поправки и дополнения существенно увеличили объем информации, содержащейся в книге.

В предлагаемом издании сохранена прошедшая испытание временем форма изложения, но улучшено графическое оформление книг.

Пусть же наш справочник по физике продолжает служить верным помощником в учебе и на практике.

О ПОЛЬЗОВАНИИ КНИГОЙ

- Все формулы представляют собой уравнения для величин, т. е. не зависят от выбора системы единиц. Если в порядке исключения даются приведенные к определенной системе единиц уравнения, то это специально оговаривается.
- Преимущество отдается СИ. При необходимости дополнительно указываются десятичные кратные и дольные единицы, а также другие некогерентные единицы, если они допускаются или допускались к применению. Пояснение сокращений см. в разд. 3.6.
- Физические постоянные в табл. 47 приведены с современной точностью (однако без указания пределов ошибки). Аналогичным образом коэффициенты пересчета некогерентных единиц указываются с точностью, установленной официальными нормативами.
- За этим исключением точность постоянных и коэффициентов пересчета ограничивается тремя значащими цифрами (независимо от положения запятой), поскольку, как правило, экспериментальные и табличные данные не обладают большей точностью. Такая точность соответствует также практике расчетов с помощью логарифмической линейки. При использовании электронных калькуляторов, которые находят все более широкое распространение, в результате следует брать такое же число значащих цифр, сколько их было у исходных величин.
- Производные по времени обозначаются, как обычно, точками над символами, например, $v = ds/dt = \dot{s}$.
- Ссылки на другие разделы книги даются следующим образом: см. разд. 12.4; ссылки на формулы: см. (М 4.13).
- Табличные данные взяты из следующих источников:

Kohlrausch: Praktische Physik, Bd. 3., Stuttgart: B. G. Teubner. Tabellenbuch Chemie. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.

Wissensspeicher für Technologen. Leipzig, VEB Fachbuchverlag.

Ebert: Physikalisches Taschenbuch. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.

Ф ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Физические величины

Физические законы выражаются в виде математических соотношений между физическими величинами. Под последними понимают измеряемые характеристики (свойства) физических объектов (предметов, состояний, процессов).

Каждая физическая величина представляет собой произведение численного значения на единицу измерения.
Физическая величина = Численное значение \times Единица измерения.

Таким образом, выражение

$$\begin{aligned} \text{Время} &= 5 \text{ секунд,} \\ t &= 5 \text{ с} \end{aligned}$$

означает, что измеренное время составляет пятикратное повторение секунды.

Только одного численного значения недостаточно для характеристики физической величины. Поэтому никогда нельзя опускать соответствующую единицу измерения!

1.1. Основные величины

В физике применяются следующие 7 основных величин: длина, время, масса, температура, сила тока, количество вещества, сила света.

1.2. Производные величины

С помощью основных величин можно получить другие величины либо используя выражения для законов природы, либо путем целесообразного определения через умножение или деление основных величин. Например,

$$\begin{aligned} \text{Скорость} &= \text{Путь} / \text{Время}, & \text{Работа} &= \text{Сила} \cdot \text{Путь}, \\ \text{Плотность} &= \text{Масса} / \text{Объем}, & \text{Заряд} &= \text{Сила тока} \cdot \text{Время}, \end{aligned}$$

и т. д.

1.3. Обозначения величин

Для представления физических величин, особенно в формулах, таблицах или на графиках, используются специальные символы — обозначения величин. В согласии с международными соглашениями

введены соответствующие стандарты на обозначения физических величин. То же самое относится и к обозначениям, применяемым не в физике, а, например, в технике.

Принято набирать обозначения физических величин *курсивом (наклонным шрифтом)*. Курсивом обозначаются и индексы, если они представляют собой обозначения, т. е. символы физических величин, а не сокращения.

Квадратные скобки [], содержащие обозначение величины, означают единицу измерения величины ..., например, выражение $\{U\} = В$ читается следующим образом: «Единица измерения напряжения равна вольту».

Неправильно заключать в квадратные скобки единицу измерения (например, $\{В\}$), хотя такая запись встречается весьма часто.

Фигурные скобки { }, содержащие обозначения величины, означают «численное значение величины...», например выражение

$\{U\} = 220$ читается следующим образом: «численное значение напряжения равно 220».

Поскольку каждое значение величины представляет собой произведение численного значения на единицу измерения, для приведенного выше примера получается:

$$\text{Напряжение } U = \{U\} \cdot \{U\} = 220 \text{ В.}$$

Между численным значением и единицей измерения физической величины при написании необходимо оставлять интервал, например:

$$A = 5 \text{ мм}^2, \quad r = 12 \text{ см}, \quad \varphi = 0,2 \text{ рад}, \quad l = 10 \text{ А}, \\ t = -5^\circ\text{С}, \quad T = 300 \text{ К}, \quad \alpha = 22^\circ 30', \quad \beta = 90^\circ.$$

Исключение составляют обозначения единиц: градусов ($^\circ$), минут ($'$) и секунд ($''$).

1.4. Размерность

Размерность физической величины устанавливает ее связь с основными величинами. Она представляет собой произведение степеней размерностей основных величин.

Основная величина	Обозначение	Обозначение размерности
Длина	l	L
Время	t	T
Масса	m	M
Сила электрического тока	I	I
Температура по шкале Кельвина	T	Θ, T
Количество вещества	n	N
Сила света	I	J, I

Таким образом, размерность (\dim) скорости определяется как

$$\frac{\text{Путь}}{\text{Время}} \quad \dim v = LT^{-1}.$$

Обратите внимание:

- Необходимо строго различать понятия размерность и единица измерения. Часто единицу измерения ошибочно называют размерностью.

1.5. Скалярные величины

Необходимо различать скалярные и векторные величины.

Скалярные величины полностью характеризуются численным значением и единицей измерения.

Пример: время t , температура T , электрический заряд Q , масса m .

Для обозначения скалярных величин используются строчные и прописные буквы латинского и греческого алфавитов.

В расчетах скалярные величины выражаются действительными числами и с ними можно производить все без исключения действия, которые выполняются с действительными числами.

Скалярные величины могут иметь положительное или отрицательное численное значение (исключение составляет температура по шкале Кельвина).

1.6. Векторные величины

Векторная величина полностью характеризуется численным значением, единицей измерения и направлением.

Пример: скорость, сила, напряженность электрического поля.

Для обозначения векторной величины также используют строчные и прописные буквы латинского и греческого алфавитов. Для указания на векторный характер физической величины над обычным ее обозначением ставится стрелка: \vec{v} , \vec{F} , \vec{E} и т. д.

Обратите внимание:

- Часто векторы обозначаются также жирным шрифтом: v , F , E и т. д.
- Иногда векторы обозначают готическими буквами \mathfrak{v} , \mathfrak{F} , \mathfrak{E} ...

Если направление векторной величины не существенно, а важны лишь численное значение и единица измерения, называемые величиной вектора \vec{A} , то пишут $|\vec{A}|$ или просто A .

Векторная величина геометрически изображается вектором, т. е. отрезком, имеющим определенные направление и длину.

Свободные векторы можно перемещать параллельно самим себе в плоскости или пространстве. В физике векторы чаще всего связаны с их линией действия и могут перемещаться только вдоль нее (коллинеарные векторы). Векторы, которые исходят из строго определенной точки (например, из начала координат), вообще не могут перемещаться и называются орт-векторами.

Математические операции над векторными величинами подчиняются особым закономерностям.

Часто встречаются следующие величины:

- сумма векторных величин,
- разность векторных величин,
- произведение векторной и скалярной величин,
- скалярное произведение двух векторных величин,
- векторное произведение двух векторных величин.

Соответствующие правила можно найти в учебниках по математике.

2. Уравнения для физических величин

Связь между физическими величинами выражается математическими уравнениями. Следует различать три возможных способа записи уравнений:

- уравнения для величин,
- приведенные уравнения для величин,
- уравнения для численных значений.

2.1. Уравнения для величин

В принципе следует использовать только уравнения для величин. В них каждое обозначение (см. разд. 1.3) представляет символ физической величины и может принимать различные значения (равные произведению численного значения на единицу измерения). Поэтому уравнения для величин не зависят от выбранной системы единиц измерения и принципиально справедливы. Следовательно, уравнение для величин остается справедливым независимо от выбора единиц. В данной книге все уравнения представляют собой уравнения для величин.

2.2. «Приведенные» уравнения для величин

Если при расчетах часто пользуются одним и тем же уравнением и если оно содержит константы и материальные постоянные, то целесообразно, выбрав соответствующие единицы, заранее подсчитать повторяющиеся численные значения. Разумеется, тогда единицы измерения оставшихся величин не могут быть выбраны произвольно. Получают уравнение для величин, которое в данном

конкретном случае является «приведенным». Тогда единицы измерения указываются после формулы, например:

U — напряжение в вольтах,
 v — скорость в километрах в час,
 P — мощность в ваттах и т. д.

В приведенных уравнениях для величин каждое обозначение также представляет физическую величину, значение которой является произведением численного значения и единицы измерения. Однако после подстановки значения единицы измерения можно сократить.

Пример:

Скорость электрона в электрическом поле определяется выражением

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}},$$

где $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл и $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг. Выбрав единицы измерения оставшихся величин и подставив известные постоянные, получим

$$v = \sqrt{0,352 \cdot 10^{12} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}} \cdot U},$$

где v — скорость в метрах в секунду, U — напряжение в вольтах. Подстановка $\text{Кл} = \text{А} \cdot \text{с} = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{В}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{В}}$, $1 \text{ км} = 10^3 \text{ м}$ дает

$$v = \sqrt{0,352 \cdot 10^{12} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{В}}{\text{с}^2 \cdot \text{В} \cdot \text{кг} \cdot 10^6} U}.$$

В результате преобразований получаем приведенное уравнение для величин:

$$v = 594 \sqrt{U},$$

где скорость выражена в километрах в секунду, а напряжение — в вольтах. Подставляя напряжение U в вольтах, с помощью этого приведенного уравнения для величин можно сразу получить скорость v в километрах в секунду.

2.2.1. Таблицы

Численные данные в таблицах вместе с головками таблиц также образуют приведенные уравнения для величин. При этом, конечно, численные значения имеют смысл только при одновременном задании единиц измерения.

Пример:

Скорость звука

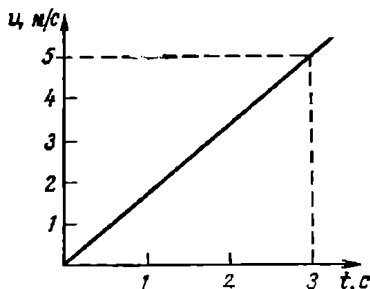
Вещество	c , м/с
Воздух (0 °С)	331
Свинец	1300
Сталь	5100
и т. д.	

2.2.2. Оси координат

Уравнения для величин могут быть представлены графически. Уравнения должны быть приведенными, поскольку численное значение, указываемое на графике, также имеет смысл лишь при одновременном определении единицы измерения.

Пример:

Точка на кривой (см. рисунок) определяется следующей парой значений: $v = 5$ м/с и $t = 3$ с.



2.3. Уравнения для численных значений

Уравнения для численных значений справедливы лишь в том случае, когда используются определенные, строго заданные единицы измерения.

Поскольку уравнения для численных значений находятся в противоречии с представленным, согласно которому

Значение величины = Численное значение \times Единица измерения,

они не используются в физической литературе. Изредка такие уравнения, к сожалению, еще встречаются в устаревшей технической литературе.

3. Международная система единиц (СИ)

Измерение представляет собой важнейшую задачу физики и техники. Для осуществления измерения необходимо не только располагать нужными измерительными приборами, но и установить соответствующие единицы измерения, которые объединяются в некоторую систему.

В настоящее время повсеместно применяется принятая в 1960 г. единая Международная система единиц. На всех языках мира эта система получила сокращенное название СИ, а ее единицы называются единицами СИ.

3.1. Основные единицы

В Международной системе единиц (СИ) в качестве основных используются следующие 7 единиц:

● единица длины	метр	(м).
● единица времени	секунда	(с).
● единица массы	килограмм	(кг).
● единица силы электрического тока	ампер	(А).
● единица температуры	кельвин	(К).
● единица количества вещества	моль	(моль).
● единица силы света	кандела	(кд).

3.2. Производные единицы СИ

Все остальные единицы Международной системы представляют собой произведения степеней основных единиц, не содержащие численных коэффициентов, или, иначе говоря, образуются когерентно из основных единиц. Другие единицы являются некогерентными и потому не входят в СИ.

Пример:

Ватт (Вт) — когерентная единица мощности, поскольку

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^3, \text{ т. е. она выведена без численного коэффициента.}$$

Киловатт (кВт) — некогерентная единица мощности, поскольку

$$1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^3, \text{ т. е. она выведена с помощью численного коэффициента.}$$

3.3. Десятичные кратные и дольные единицы

Единицы Международной системы при практическом использовании часто оказываются слишком большими или слишком малыми, поэтому с помощью особых приставок могут быть образованы десятичные кратные и дольные единицы, если это не запрещено в отдельных случаях. Сводка этих приставок дана в табл. П1.

Существуют некоторые правила использования приставок. Приведем важнейшие из них:

- Единица измерения не может содержать более одной приставки.
- Комбинация сокращенного обозначения приставки и единицы измерения составляет единый символ, который можно возводить

в степень; при этом скобки не применяются. Иными словами, если единица возводится в какую-либо степень, то в ту же степень возводится и десятичная приставка.

- Желательно отдавать предпочтение приставкам, которые соответствуют целочисленным степеням 10^3 (10^{24}): Приставки гекто-, дека-, деци-, санти- следует применять только в тех наименованиях единиц, которые стали традиционными.
- В составных единицах каждая единица может содержать десятичную приставку (если она допустима для этой единицы). Однако необходимо стараться по возможности использовать при расчетах только одну приставку, стоящую в числителе. Приставки единиц измерения следует выбирать таким образом, чтобы численное значение результата лежало в области 0,1 ... 1000.

Единицы с десятичной кратной или дольной приставкой называются некогерентными и не входят в СИ. Однако они также являются законными единицами, например 1 километр (км) = 10^3 м.

3.4. Единицы, не входящие в СИ

Эти единицы выводятся некогерентно. Из-за важной роли, какую играют такие единицы в науке, технике и экономике, их разрешается применять в определенных областях в течение ограниченного, а в ряде случаев и неограниченного времени. Некоторые из них используются только в специальных областях.

3.5. Единицы, допускаемые ГОСТом¹⁾

Согласно постановлению Государственного комитета СССР по стандартам от 25 июня 1979 г. № 2242 с 1 января 1980 г. в СССР в качестве государственного стандарта вводится стандарт Совета Экономической Взаимопомощи СТ СЭВ 1052-78 «Метрология. Единицы физических величин». В соответствии с этим стандартом допускаются к применению следующие единицы:

- основные единицы СИ (см. разд. 3.1),
- производные единицы СИ (см. разд. 3.2),
- десятичные кратные и дольные единицы СИ (см. разд. 3.3).

Кроме того, допускается к применению ряд не входящих в СИ единиц, которые подразделяются следующим образом:

- единицы, допускаемые к применению во всех областях без ограничения срока;

¹⁾ Раздел переработан в соответствии с принятыми в СССР положениями. — *Прим. ред.*