

Л.А. Сена

**Единицы измерения
физических величин**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Л11

Л11 **Л.А. Сена**
Единицы измерения физических величин / Л.А. Сена – М.: Книга по Требова-
нию, 2021. – 129 с.

ISBN 978-5-458-57067-1

ISBN 978-5-458-57067-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

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 первозданном 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

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава первая. Общие понятия о единицах измерения физических величин	
§ 1. Введение	7
§ 2. Основные и производные единицы	9
§ 3. Понятие о размерности	13
§ 4. О разных размерностях единиц одной и той же величины	17
§ 5. Выбор основных единиц	20
Глава вторая. Геометрические и механические единицы	
§ 6. Введение	24
§ 7. Геометрические единицы	24
§ 8. Кинематические единицы	27
§ 9. Статические и динамические единицы	31
§ 10. Связь между единицами разных систем	37
§ 11. Внесистемные единицы	41
§ 12. Составление переводных таблиц	45
Глава третья. Звуковые единицы	
§ 13. Важнейшие звуковые единицы	46
Глава четвертая. Тепловые единицы	
§ 14. Температура	48
§ 15. Понятие об абсолютной термодинамической температурной шкале	51
§ 16. Прочие тепловые единицы	52
Глава пятая. Электрические и электромагнитные единицы	
§ 17. Абсолютная электростатическая система единиц	55
§ 18. Электромагнитные взаимодействия	60
§ 19. Абсолютная электромагнитная система единиц	63
§ 20. Единицы электромагнитных величин в электростатической системе	70
§ 21. Гауссова система единиц	72
§ 22. Соотношения между электростатическими и электромагнит- ными единицами	73

§ 23. Практические единицы	77
§ 24. Международные единицы	81

Глава шестая. Световые единицы

§ 25. Общие величины, характеризующие световой поток	82
§ 26. Величины, характеризующие источник света	85
§ 27. Оптические свойства приборов	88

Глава седьмая. Единицы измерения физических свойств вещества

§ 28. Введение	88
§ 29. Молекулярные и механические свойства вещества	89
§ 30. Звуковые свойства	96
§ 31. Тепловые свойства	96
§ 32. Электрические и магнитные свойства вещества	100
§ 33. Оптические свойства вещества	103

Глава восьмая. Константы, некоторые величины и соотношения

§ 34. Константы	104
§ 35. Некоторые величины и соотношения атомной физики	106
§ 36. Измерение энергии и скорости электрона в вольтах	108
§ 37. Связь между длиной волны и резонансным потенциалом	108
§ 38. О некоторых новых системах единиц	109
Таблицы	112
Предметный указатель	125
Литература	128

— — — — —

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ЕДИНИЦАХ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

§ 1. Введение

Всякое измерение какой-либо физической величины заключается в сравнении данной величины с другой подобной, принятой за единицу. Так, например, измеряя длину стола, мы сравниваем эту длину с длиной другого тела, принятой нами за единицу длины; взвешивая кусок хлеба, мы узнаем во сколько раз его вес больше или меньше веса другого тела — определенной единичной гири, „килограмма“ или „грамма“.

„Измерить какую-либо величину“, означает, следовательно, найти отношение данной величины к соответствующей единице измерения. Это отношение и является, очевидно, мерой интересующей нас величины.

Так как самое понятие „больше — меньше“ применимо лишь к однородным величинам, очевидно, что и сравнивать можно только однородные величины. Можно сравнивать высоту здания с расстоянием между городами, силу натяжения пружины с силой веса гири, но бессмысленно ставить вопрос о том, превышает ли скорость поезда длину карандаша, или объем стакана — вес чернильницы. Столь же нелепо, разумеется, пытаться измерить скорость единицей массы или площадь — единицей веса.

Вопрос о том, как определить единицу измеряемой величины, вообще говоря, может быть решен произвольно. И действительно; история материальной культуры знает громадное число разнообразных единиц, в особенности для измерения длины, площади, объема и веса. Это разнообразие единиц сохранилось в значительной мере и до нашего времени. Так как для одной и той же величины применяется несколько единиц, то необходимо

уметь переходить от одной единицы к другой, т. е. уметь определять число, измеряющее данную величину в одних единицах, если известно число, измеряющее ее в других. Если данная величина A , будучи измерена единицей a_1 , даст число A_1 , то можно написать:

$$\frac{A}{a_1} = A_1.$$

Если при измерении той же величины A единицей a_2 , мы получаем число A_2 , то соответственно

$$\frac{A}{a_2} = A_2.$$

Сравнивая оба выражения, мы получаем:

$$A_1 a_1 = A_2 a_2,$$

или же

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{a_2}{a_1}. \quad (1)$$

Эта формула выражает хорошо известное всем положение, что число, измеряющее данную величину, и единица измерения находятся в обратном отношении, т. е. что во сколько раз крупнее единица, измеряющая данную величину, во столько раз меньше число, которым эта величина выражается. Так, например, если рост человека, измеренный в сантиметрах, выражается числом 175, то тот же рост, измеренный в дециметрах, будет выражаться числом 17,5, так как каждый дециметр равен 10 сантиметрам. Это чрезвычайно простое положение многие забывают, когда дело идет о более сложных и менее знакомых величинах.

Для того чтобы не забывать это обстоятельство, необходимо твердо усвоить, что символы, стоящие обычно в формуле, представляют собой не самые величины, а числа, которыми эти величины выражены при измерении той или иной единицей. Для того чтобы формулы имели более общий смысл, рядом с символом числа, выражающего данную величину, ставят символ единицы, которой эта величина измерена. Так, например, мы пишем: „рост человека равен 17,5 дм“, или же — „рост человека равен 175 см“. Выражения 17,5 дм и 175 см представляют собою равноценное обозначение одной и той же длины. Поэтому можно написать:

$$17,5 \text{ дм} = 175 \text{ см}.$$

§ 2. Основные и производные единицы

Физические законы, выраженные математически, представляют собой обычно зависимость одной какой-либо величины от ряда других. Простейший пример мы имеем в геометрии. Как известно, площади квадратов пропорциональны второй степени их сторон. Так, например, если сторона одного квадрата вдвое больше стороны другого, то площадь первого вчетверо больше площади второго. Эту зависимость можно представить в виде

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{a_1^2}{a_2^2}, \quad (2)$$

где S_1 и S_2 — площади квадратов, а a_1 и a_2 — их стороны. Эту зависимость можно представить и так:

$$S = ka^2, \quad (2a)$$

где k некоторый числовой коэффициент, зависящий от того, что мы примем за единицу длины и что — за единицу площади. Зависимость, подобную только что указанной, обнаруживают и площади кругов, которые относятся как вторые степени диаметров. Ее можно также представить в виде

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2}, \quad (3)$$

где D_1 и D_2 диаметры, или же в виде

$$S = k'D^2. \quad (3a)$$

Здесь k' также некоторый коэффициент, зависящий от выбора единиц длины и площади, и, повидимому, не равный k , если в обоих случаях пользоваться одинаковыми единицами длины и одинаковыми единицами площади.

Возьмем какую-либо определенную единицу длины, например метр, и примем за единицу площади — площадь квадрата, сторона которого равна одному метру. Эта единица площади, как известно, называется „квadraticный метр“ (*кв. м.*). Так как формула справедлива для любых квадратов, то для квадрата, сторона которого равна одному метру, можно написать:

$$1 \text{ кв. м.} = k(1 \text{ м})^2.$$

Отсюда вытекает, что численное значение k равно единице. В этом случае для k' , как известно из геометрии,

получается численное значение, равное $\frac{\pi}{4}$, и для площади круга справедливо будет выражение

$$S = \frac{\pi}{4} D^2. \quad (4)$$

Однако, принимая за единицу длины метр, мы вовсе не обязаны выбрать квадратный метр в качестве единицы площади. Можно принять за единицу площади площадь круга, диаметр которого равен одному метру. Назовем эту единицу площади „круглый метр“ (кр. м.). В этом случае мы, очевидно, будем иметь $k' = 1$ и соответственно $k = \frac{4}{\pi}$. Формула (3а) при этом примет вид

$$S = D^2, \quad (5)$$

а формула (2а)

$$S = \frac{4}{\pi} a^2. \quad (6)$$

Разумеется, здесь площади S выражены во взятых нами „круглых метрах“, а D и a в метрах.

Надо заметить, что измерение площади не в квадратных метрах, а в „круглых метрах“ не является чем-то неестественным, или тем более, противозаконным. Речь здесь может идти только о преимуществах той или иной единицы¹. Разумеется, если бы „круглый метр“ был принят в качестве единицы площади, все геометрические формулы, относящиеся к измерению площадей, выглядели бы совершенно иначе. Так, например, поверхность шара в зависимости от диаметра выражалась бы формулой

$$S = 4D^2. \quad (7)$$

Разобранный выше пример имеет целью показать полную произвольность выбора единицы для измерения данной величины. Можно было бы, конечно, единицу площади вообще не связывать с единицей длины и сделать ее совершенно самостоятельной. В этом случае мы имели бы другие значения k и k' , причем, однако, зависимость между площадью квадрата и его стороной и площадью круга и его диаметром осталась бы неизменной. Эта зависимость дается теоремой, согласно которой площади геометрически подобных фигур относятся как вторые степени их линейных размеров.

¹ Заметим, что в Америке „круглые“ единицы площади приняты для измерения сечения проводов и труб.

Введение в широкий обиход квадратных единиц площади и кубических единиц объема обусловило и обычное название для второй и третьей степени какого-либо числа — „квадрат числа“ и „куб числа“.

По этой же причине обычно говорят, что площадь прямоугольника равна произведению его сторон; на самом же деле речь идет о равенстве числа, измеряющего площадь прямоугольника, произведению чисел, измеряющих его стороны, и то лишь в том случае, если за единицу площади принят квадрат, сторона которого равна единице длины. Это замечание имеет более общий характер. Все привычные формулировки — „скорость равна отношению пути ко времени“¹, „сила тока равна отношению разности потенциалов к сопротивлению“ и т. п. — говорят, по существу, лишь о численном равенстве, справедливом только при определенном выборе единиц. Поэтому строгие формулировки должны включать в себя указание на численное равенство („скорость *численно* равна отношению пути ко времени“ и т. д.).

Большинство старых единиц длины, площади, веса и т. д., как правило, устанавливались совершенно независимо друг от друга (исключение в отдельных случаях составляют единицы длины, площади и объема).

Наоборот, основной особенностью современных, принятых в науке (так называемых абсолютных), систем единиц является то, что между ними существуют зависимости, определенные теми законами, которыми устанавливается связь между данными измеряемыми величинами. Таким образом из нескольких основных единиц строятся другие, производные единицы. Так, в нашем примере связь между площадью некоторой фигуры и ее линейными размерами привела к образованию из линейной единицы (метр) единицы площади (*кв. м.* и *кр. м.*).

Разобранный выше пример интересен для нас тем, что обнаруживает произвол в выборе закономерности, служащей для установления новой, производной единицы. И действительно, так как обе закономерности (квадрат и сторона, круг и диаметр) являются в этом отношении совершенно равноправными, то единственным реальным критерием может быть лишь удобство оперирования той или иной единицей. В дальнейшем мы действительно увидим, что разные закономерности привели к образованию разных систем единиц.

¹ Здесь, разумеется, речь идет о скорости равномерного движения

Пользуясь известными физическими соотношениями между величинами, мы будем постепенно вводить новые единицы, определяя их через старые, уже известные, более простые единицы. Встает, естественно, вопрос: сколько таких простейших единиц необходимо взять в качестве основы для образования с их помощью всех остальных? Нередко можно встретить утверждение, что для построения системы единиц необходимо иметь по крайней мере три независимые единицы. Однако это утверждение не соответствует действительности. Вполне возможно осуществить систему единиц, имеющую в основе две независимые единицы, а принципиально даже представляется возможным, — правда, с некоторыми оговорками, — ограничиться и одной единицей¹.

В действительности, в силу ряда исторических причин и практических соображений, в основу построения существующих систем были положены три независимые единицы. В качестве двух из них были взяты, естественно, единицы длины и времени. Что касается третьей основной единицы, то в одних системах ею служила единица силы, в других — единица массы. Приняв в качестве основной одну из двух последних, мы можем получить вторую как производную, определив ее из математического выражения второго закона Ньютона.

Заметим, что наиболее широкое распространение получили системы, пользующиеся в качестве основной единицы единицей массы. Обычно абсолютными называются именно эти системы. Их иногда также называют динамическими, в отличие от статических систем, имеющих в качестве третьей основной единицы единицу силы. Выбранная нами комбинация трех основных единиц — длины, времени и массы, или длины, времени и силы — позволяет нам построить единицы остальных физических величин.

В последнее время, впрочем, получила распространение точка зрения, согласно которой для полного описания физических явлений желательно, кроме трех основных единиц, вводить для каждой области физики дополнительную четвертую единицу специфической для данной области величины. Так, например, в учении о теплоте такой величиной является температура.

Для построения производной единицы необходимо иметь какую-либо закономерность, связывающую измеряемую ею величину с другими уже известными величинами.

¹ Более подробно см. § 38.

При этом мы, для упрощения, подобно тому как это было при установлении единицы площади, обычно полагаем равными единице коэффициенты пропорциональности, стоящие в выражениях выбранных нами закономерностей.

Так, например, для определения единицы скорости мы можем взять закон равномерного прямолинейного движения

$$v = k \frac{l}{t}, \quad (8)$$

где v — скорость, l — путь, t — время, и, положив $k = 1$, определить в зависимости от единиц пути и времени соответствующую единицу скорости.

Так, измеряя путь в метрах и время в секундах, мы можем определить единицу скорости как скорость такого равномерного прямолинейного движения, при котором в каждую секунду проходится один метр. Эта единица скорости называется „метр в секунду“.

§ 3. Понятие о размерности

Если, не изменяя закономерности, определяющей производную единицу через основные, изменять эти основные единицы, то соответствующим образом будет меняться и производная единица. Так, например, если вместо метра за единицу пути возьмем километр, то получим единицу скорости „километр в секунду“, скорость в 1000 раз большую, чем метр в секунду. Взяв в качестве единицы времени час и сохранив в качестве единицы пути метр, получим единицу скорости „метр в час“, скорость в 3600 раз меньшую, чем метр в секунду. Наконец, можно получить единицу скорости „километр в час“, равную $\frac{1000}{3600} \approx 0,278$ метра в секунду, если в качестве единицы длины взять километр, а в качестве единицы времени — час. Мы видим, что всякое изменение основных единиц изменяет соответственно производную единицу.

Очевидно, желательно найти такое соотношение, которое позволило бы определить, как с изменением каждой из основных единиц изменится единица интересующей нас величины. Такое соотношение носит название формулы размерности единицы данной величины.

Если мы будем пользоваться одной из тех систем, в основу которых положены единицы длины, времени и массы, и обозначим соответственно единицу длины

через L , времени — через T и массы — M , то, очевидно, всякая производная единица будет являться некоторой функцией L , T и M . Если с изменением одной из основных единиц в n раз, производная единица изменяется в n^p раз, то говорят, что эта производная единица обладает размерностью p относительно данной основной единицы. Если производная единица A обладает размерностью p относительно L , q относительно M и r относительно T , то это символически записывают в виде

$$[A] = L^p M^q T^r. \quad (9)$$

Квадратные скобки здесь означают, что речь идет о размерности A . Входящие в это выражение показатели размерности p , q и r могут быть как целыми, так и дробными, как положительными, так и отрицательными и, частном случае, равняться нулю.

Надо твердо запомнить, что формула размерности единицы измеряемой величины или, как часто, для краткости, говорят, — размерность данной величины имеет единственный смысл: она отвечает на поставленный нами вопрос о том, как с изменением основных единиц изменяется данная производная единица.

При образовании размерности сложных величин мы будем пользоваться следующими достаточно очевидными теоремами, доказательства которых мы опускаем, так как они весьма просты.

I. Если численное значение величины C равно произведению численных значений величин A и B , то размерность C равна произведению размерностей A и B

$$[C] = [A \cdot B] = [A] [B]; \quad (10)$$

иначе говоря, если

$$[A] = L^{p_1} M^{q_1} T^{r_1}$$

и

$$[B] = L^{p_2} M^{q_2} T^{r_2},$$

то

$$[C] = L^{p_1+p_2} M^{q_1+q_2} T^{r_1+r_2}. \quad (11)$$

II. Если численное значение величины C равно отношению численных значений величин A и B , то размерность C равна отношению размерностей A и B

$$[C] = \left[\frac{A}{B} \right] = \frac{[A]}{[B]}, \quad (12)$$