

Л.А.Сена

ЕДИНИЦЫ
ФИЗИЧЕСКИХ
ВЕЛИЧИН
И ИХ
РАЗМЕРНОСТИ



ББК 22.3
С31
УДК 53(083)

Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности: Учебно-справочное руководство. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 432 с., ил. ISBN 5-02-013848-7

Изложены принципы построения систем единиц, а также основы теории размерностей. Наряду с описанием СИ дано представление о других системах единиц, а также о некоторых внесистемных единицах, имеющих практическое применение. Особое внимание уделено методам перевода единиц из одной системы в другую. Новое издание переработано и обновлено по сравнению с предыдущим изданием с учетом действующего ГОСТ 8.417-81 (СТ СЭВ 1052-78) "Единицы физических величин".

Для студентов и аспирантов вузов, а также научных работников, инженеров и преподавателей физики в общеобразовательной и профессиональной школах.

Табл. 12. Ил. 34. Библиогр. 35 назв.

Рецензент

кандидат технических наук П.Н. Селиванов

С $\frac{1704010000 - 113}{053(02) - 88}$ 127-88

ISBN 5-02-013848-7

© Издательство "Наука".
Главная редакция
физико-математической
литературы, 1977;
с дополнениями 1988

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к третьему изданию	7
Из предисловия к первому изданию	10
Глава 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О СИСТЕМАХ ОСНОВНЫХ И ПРОИЗВОДНЫХ ЕДИНИЦ	11
§ 1.1. Физические величины и их единицы	11
§ 1.2. Прямые и косвенные измерения	17
§ 1.3. Основные и производные единицы	20
§ 1.4. Построение систем единиц	29
§ 1.5. Выбор основных единиц	42
§ 1.6. Установление систем единиц	52
§ 1.7. Обзор основных характеристик различных систем единиц	57
§ 1.8. Внесистемные единицы	62
Глава 2. РАЗМЕРНОСТИ	64
§ 2.1. Определение размерностей	64
§ 2.2. Перевод размерностей при разном выборе основных величин	74
§ 2.3. Перевод размерностей при разных определяющих уравнениях	76
§ 2.4. Определение связи между единицами разных систем	80
§ 2.5. Составление переводных таблиц	88
§ 2.6. О физическом смысле размерностей	89
§ 2.7. Краткие выводы	95
Глава 3. ПОНЯТИЕ ОБ АНАЛИЗЕ РАЗМЕРНОСТЕЙ	98
§ 3.1. Определение функциональных связей путем сравнения размерностей	98
§ 3.2. П-теорема и метод подобия	111

Л.А.Сена

ЕДИНИЦЫ
ФИЗИЧЕСКИХ
ВЕЛИЧИН
И ИХ
РАЗМЕРНОСТИ

Учебно-справочное руководство

Издание третье, переработанное и дополненное



МОСКВА "НАУКА"
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1988

ББК 22.3
С31
УДК 53(083)

Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности: Учебно-справочное руководство. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 432 с., ил. ISBN 5-02-013848-7

Изложены принципы построения систем единиц, а также основы теории размерностей. Наряду с описанием СИ дано представление о других системах единиц, а также о некоторых внесистемных единицах, имеющих практическое применение. Особое внимание уделено методам перевода единиц из одной системы в другую. Новое издание переработано и обновлено по сравнению с предыдущим изданием с учетом действующего ГОСТ 8.417-81 (СТ СЭВ 1052-78) "Единицы физических величин".

Для студентов и аспирантов вузов, а также научных работников, инженеров и преподавателей физики в общеобразовательной и профессиональной школах.

Табл. 12. Ил. 34. Библиогр. 35 назв.

Рецензент

кандидат технических наук *П.Н. Селиванов*

С $\frac{1704010000 - 113}{053(02)-88}$ 127-88

ISBN 5-02-013848-7

© Издательство "Наука".
Главная редакция
физико-математической
литературы, 1977;
с дополнениями 1988

Предисловие к третьему изданию	7
Из предисловия к первому изданию.	10
Г л а в а 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О СИСТЕМАХ ОСНОВНЫХ И ПРОИЗВОДНЫХ ЕДИНИЦ	11
§ 1.1. Физические величины и их единицы.	11
§ 1.2. Прямые и косвенные измерения.	17
§ 1.3. Основные и производные единицы	20
§ 1.4. Построение систем единиц	29
§ 1.5. Выбор основных единиц	42
§ 1.6. Установление систем единиц	52
§ 1.7. Обзор основных характеристик различных систем единиц	57
§ 1.8. Внесистемные единицы.	62
Г л а в а 2. РАЗМЕРНОСТИ	64
§ 2.1. Определение размерностей	64
§ 2.2. Перевод размерностей при разном выборе основных величин.	74
§ 2.3. Перевод размерностей при разных определяющих уравнениях	76
§ 2.4. Определение связи между единицами разных систем	80
§ 2.5. Составление переводных таблиц	88
§ 2.6. О физическом смысле размерностей	89
§ 2.7. Краткие выводы.	95
Г л а в а 3. ПОНЯТИЕ ОБ АНАЛИЗЕ РАЗМЕРНОСТЕЙ.	98
§ 3.1. Определение функциональных связей путем сравнения размерностей	98
§ 3.2. П-теорема и метод подобия	111

Г л а в а 4. ЕДИНИЦЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	122
§ 4.1. Введение	122
§ 4.2. Геометрические единицы	123
§ 4.3. Кинематические единицы	137
§ 4.4. Статические и динамические единицы.	144
§ 4.5. Единицы величин, характеризующих механические и молекулярные свойства вещества	162
Г л а в а 5. ЕДИНИЦЫ ТЕПЛОВЫХ ВЕЛИЧИН.	180
§ 5.1. Температура	180
§ 5.2. Температурные шкалы.	190
§ 5.3. Опорные температурные точки.	192
§ 5.4. Прочие тепловые единицы.	194
§ 5.5. Единицы величин, характеризующих тепловые свойства вещества.	199
Г л а в а 6. ЕДИНИЦЫ АКУСТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	208
§ 6.1. Объективные характеристики механических волновых процессов	208
§ 6.2. Субъективные характеристики звука.	214
§ 6.3. Некоторые величины, связанные с акустикой помещений	218
Г л а в а 7. ЕДИНИЦЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН.	222
§ 7.1. Введение	222
§ 7.2. Возможные способы построения систем единиц электрических и магнитных величин.	227
§ 7.3. Электрические и магнитные единицы СГС.	241
§ 7.4. Электрические и магнитные единицы СИ.	257
§ 7.5. О так называемом "волновом сопротивлении вакуума"	275
§ 7.6. Международные единицы	277
Г л а в а 8. ЕДИНИЦЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	282
§ 8.1. Шкала электромагнитных волн.	282
§ 8.2. Энергетические характеристики излучения	283
§ 8.3. Светотехнические единицы	291
§ 8.4. Связь между субъективными и объективными характеристиками света.	298

§ 8.5.	Параметры оптических приборов	302
§ 8.6.	Единицы величин, характеризующих оптические свойства вещества.	304
Глава 9. НЕКОТОРЫЕ ЕДИНИЦЫ АТОМНОЙ ФИЗИКИ.		307
§ 9.1.	Введение	307
§ 9.2.	Основные свойства атомов и элементарных частиц	307
§ 9.3.	Эффективное сечение взаимодействия	314
§ 9.4.	Единицы энергии атомной физики.	316
§ 9.5.	Единицы величин, характеризующих ионизирующее излучение. Единицы дозиметрических величин.	322
§ 9.6.	Единицы радиоактивности	330
§ 9.7.	Коэффициенты ионизации, рекомбинации, подвижности	332
§ 9.8.	Системы единиц, основанные на атомных постоянных	335
Глава 10. ЛОГАРИФМИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ.		339
§ 10.1.	Различные области применения логарифмических единиц	339
§ 10.2.	Децилоги	342
§ 10.3.	Логарифмические единицы в теории информации	343
§ 10.4.	Водородный показатель	345
Приложения		346
I.	Фундаментальные физические постоянные.	346
II.	Наименования, обозначения и размерности единиц физических величин в СИ	352
III.	Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц	370
IV.	Единицы геометрических и механических величин	371
V.	Единицы тепловых величин	383
VI.	Единицы акустических величин	386
VII.	Единицы электрических и магнитных величин	389
VIII.	Уравнения электромагнетизма, записанные в разных системах единиц	396

IX.	Единицы электромагнитного излучения	405
X.	Единицы ионизирующего излучения	407
XI.	Некоторые единицы атомных систем	408
XII.	Некоторые физико-технические характеристики.	413
Список литературы		418
Предметный указатель		420

scankiev.com

Настоящее издание книги заметным образом отличается от предыдущего. Хотя сохранилась структура первых двух изданий, а также основная цель книги — служить учебно-справочным пособием для студентов вузов, тем не менее новое, третье издание потребовало довольно большой работы. Особенно это относится к содержащемуся в книге справочному материалу. Это связано с появлением новых документов, относящихся к единицам физических величин. Первый из них — решение Международного союза чистой и прикладной физики — Symbols, Units and Nomenclature in Physics: Document U.I.P. 20(1978), I.U.P.A.P., S.U.N., Commission, содержащее обширные рекомендации по обозначениям, единицам измерения и терминологии в физике*). В 1978 г. был утвержден стандарт СЭВ (СТ СЭВ 1052–78) "Единицы физических величин". Этот стандарт лег в основу Государственного стандарта СССР — ГОСТ 8.417–81, в котором учтены также рекомендации XVI Генеральной конференции по мерам и весам (1979 г.).

Согласно этим стандартам основной системой единиц, которая должна применяться при проведении практических измерений, в технической документации, договорно-правовых отношениях, учебном процессе, устанавлива-

*) Это решение опубликовано на русском языке: УФН. — 1979. — Т. 129. — С. 290.

ется Международная система единиц (СИ). В научных исследованиях теоретического характера допускается применение других систем, в частности СГС и систем, построенных на фундаментальных физических постоянных (так называемых естественных систем); разрешено также применение и некоторых внесистемных единиц.

В 1983 г. состоялась XVII Генеральная конференция по мерам и весам, важнейшим решением которой явилось новое определение метра, связывающее его со скоростью света и стандартным определением секунды. Указанные документы потребовали тщательного пересмотра соответствующих разделов книги, с тем чтобы привести их в соответствие с новыми определениями, обозначениями и т.п.

Учитывая названные выше документы, в книге в качестве основной принята Международная система единиц (СИ). Однако при изложении единиц электрических и магнитных величин представилось целесообразным, как и в предыдущих изданиях, начинать с СГС. Такой подход позволяет избежать трудностей методического характера и легче воспринимается студентами. Практически полностью исключена система МКГСС (техническая). Она упоминается лишь там, где излагаются возможные способы построения систем единиц и сравниваются характеристики существующих систем. Сокращение числа внесистемных единиц произведено с известной осторожностью, учитывая "живучесть" некоторых из них.

Практически целиком пришлось переписать § 9.5, посвященный единицам ионизирующих излучений, в связи с появлением ГОСТ 15484 – 81 "Ионизирующие излучения и их измерения".

Как и во втором издании, большое внимание уделено размерностям, в частности вопросу о физической сущности размерностей. Приводятся две точки зрения – М. Планка и А. Зоммерфельда – и более основательно аргумен-

тируется точка зрения М. Планка. Замечу, что ее разделяет подавляющее большинство физиков.

Подверглись полному пересмотру содержащиеся в книге таблицы. Добавлены новая таблица наименований, обозначений и размерностей единиц физических величин в СИ, таблицы единиц электромагнитного и ионизирующего излучений.

В процессе подготовки настоящего издания было получено много советов и замечаний от работников вузов, исследовательских и промышленных предприятий и издательств. Всем им выражаю большую благодарность. Особенно я благодарен рецензенту — начальнику отдела международных работ по метрологии НПО "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" П.Н. Селиванову.

Scankiev.com

Тридцать лет назад мною была написана небольшая книжка "Единицы измерения физических величин". В 1948 г. она вышла вновь в полностью переработанном виде и затем с небольшими исправлениями и уточнениями переиздавалась в 1949 и 1951 гг.

Потребность в такого рода учебном пособии (а книга была написана именно как учебное пособие для студентов) была в то время весьма велика.

Предлагаемая книга коренным образом отличается от "Единиц измерения физических величин" и преследует другие цели.

Основная задача книги отражена в ее заглавии, о котором следует сказать особо. Внесение в заглавие книги слова "размерности" подчеркивает то обстоятельство, что наряду с вопросом о системах единиц большое внимание уделено системам размерностей.

Для того чтобы формулы размерности не оставались абстрактными, в книге даются краткие сведения о применении этих формул, в частности в методе анализа размерностей и методе подобия.

Особенно большое внимание в книге уделено общим принципам построения систем единиц и методам перевода единиц из одной системы в другую.

1969 г.

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О СИСТЕМАХ ОСНОВНЫХ И ПРОИЗВОДНЫХ ЕДИНИЦ

§ 1.1. Физические величины и их единицы

В науке, технике и обыденной жизни мы имеем дело с разнообразными свойствами окружающих нас тел. Эти свойства отражают процессы взаимодействия тел между собой и их воздействие на наши органы чувств. Для описания свойств вводятся физические величины, каждая из которых является качественно общей для многих объектов (физических тел, их состояний, процессов, в которых они участвуют), но в количественном отношении различной для разных объектов. Для того чтобы дать меру физической величине, мы устанавливаем ее единицу. **Единица определенной физической величины представляет собой значение данной величины, которое по определению считается равным 1.** Операция, с помощью которой мы узнаем числовое значение той или иной величины для определенного объекта, представляет собой измерение этой величины.

Повседневно нам приходится иметь дело со всевозможными измерениями. Измерения таких величин, как длина, площадь, объем, время, масса, известны человеку с незапамятных времен и встречаются на каждом шагу. Без них невозможны были бы торговля, строительство зданий, раздел земли и т.п.

Особенно велико значение измерений в технике и научных исследованиях. Такие науки, как математика,

механика, физика, стали называться точными именно потому, что благодаря измерениям они получили возможность устанавливать точные количественные отношения, выражающие объективные законы природы.

Нередко результат измерений, произведенных в том или ином научном опыте, давал решающий ответ на принципиальный вопрос, поставленный наукой, позволял сделать выбор между двумя теориями, а подчас даже приводил к возникновению новой теории или даже новой отрасли науки. Так, измерение скорости распространения света в различных средах способствовало утверждению волновой теории света. Измерение отклонения катодных лучей в магнитном и электрическом полях привело к открытию электрона; измерение распределения энергии в спектре излучения абсолютно черного тела послужило причиной зарождения теории квантов.

Немаловажную роль играет точность измерения. Казалось бы, ничтожные отклонения атомных масс от целых чисел (по атомной шкале) определяют энергетический баланс ядерных реакций. Яркая иллюстрация важности точности измерений получена в последние годы. С помощью открытого в 1962 г. так называемого эффекта Джозефсона*) были с весьма большой точностью измерены некоторые атомные постоянные, что позволило разрешить противоречия, существовавшие на протяжении долгого времени в квантовой электродинамике.

Ни одна отрасль техники — от строительной механики и до сложных химических производств, от радиотехники и до ядерной энергетики — не могла бы существовать без развернутой системы измерений, определяющей размеры и свойства выпускаемой продукции, устанавли-

*) Подробнее об эффекте Джозефсона см. § 7.6.

вающей условия контроля над механизмами и процессами. Без измерений, причем точных измерений, была бы невозможна стандартизация.

Особенно возросла роль измерений в связи с развитием автоматического управления, так как автоматические системы и счетно-решающие устройства должны получать в качестве исходных данных информацию о различных величинах, определяющих ход регулируемого процесса: температуре, давлении газа, скорости потока жидкости и т.д. При этом результат измерения не обязательно выдается в виде числа, а преобразуется в команду, управляющую рабочими механизмами.

Огромное разнообразие явлений, с которыми приходится встречаться в технике и научном исследовании, делает соответственно весьма широким и круг величин, подлежащих измерению. Напряжение в электрической сети, вязкость смазочного масла, упругость стали, показатель преломления стекла, мощность двигателя, сила света лампы, длина электромагнитной волны радиостанции — вот лишь некоторые из бесчисленного множества величин, подвергающихся измерению в науке и технике.

Чрезвычайно разнообразны также и методы измерений. Простые измерительные линейки и сложные оптические приборы служат для измерения длины; магнитоэлектрические, электромагнитные и тепловые приборы измеряют напряжение и силу тока; манометры различных типов измеряют давление и т.д. Однако независимо от применяемого способа всякое измерение любой физической величины сводится к экспериментальному определению отношения данной величины к другой подобной, принятой за единицу. Так, например, измеряя длину стола, мы определяем отношение этой длины к длине другого тела, принятой нами за единицу длины (например, метровой линейки); взвешивая кусок хлеба, узнаем, во сколько раз его масса больше или меньше

массы другого тела — определенной единичной гири "килограмма" или "грамма".

Измерить какую-либо величину — это значит найти опытным путем отношение данной величины к соответствующей единице измерения. Это отношение и является мерой интересующей нас величины.

Так как само 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 весом гири, но бессмысленно ставить вопрос о том, превышает ли скорость поезда длину карандаша или объем стакана — массу чернильницы. Столь же нелепо, разумеется, пытаться измерить скорость единицей массы или площадь — единицей силы.

Для того чтобы измерение имело однозначный характер, необходимо, чтобы отношение двух однородных величин не зависело от того, какой единицей измерены эти величины. Подавляющее большинство физических величин удовлетворяет этому условию, которое обычно называют условием *абсолютного значения относительного количества*. Это условие может быть соблюдено при наличии по крайней мере принципиальной возможности такого количественного сравнения двух однородных величин, в результате которого получается число, выражающее отношение этих величин.

Встречаются, однако, подчас такие свойства, которые не удается охарактеризовать величиной, удовлетворяющей указанному требованию. В этих случаях вводят некоторые условные числовые характеристики, которые уже нельзя рассматривать как единицы. С развитием измерительной техники иногда возникает возможность замены таких условных характеристик "настоящими" единицами. Так, например, для определе-